



การหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

**MICROCONTROLLER-BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKING  
FOR PV MODULES**



นายบัญชา สแตนทรัพย์ รหัส 49361010  
นายพลวัฒน์ ทองบัวบาน รหัส 49361256  
นายสิวัรักษ์ นิลสุ่ม รหัส 49362048

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
รับที่รับ..... 1.1/21.1. 2555.....
เลขทะเบียน..... 16729129.....
เลขเรียกหนังสือ..... No. ....
มหาวิทยาลัยนเรศวร ม 2631

2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้  
ไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้ดำเนินโครงการ นายบัญชา สदानทรัพย์ รหัส 49361010  
นายพลวัฒน์ ทองบัวบาน รหัส 49361256  
นายศิวรักษ์ นิลคุ้ม รหัส 49362048


ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์

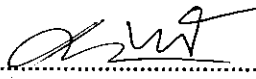
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

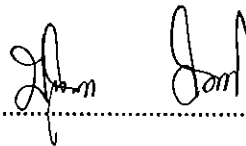
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรัม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

  
..... ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

  
..... กรรมการ  
(ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

  
..... กรรมการ  
(ดร. มุขิตา สงษ์จันทร์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายบัญชา สถานทรัพย์	รหัส	49361010
	นายพลวัฒน์ ทองบัวบาน	รหัส	49361256
	นายศิวรักษ์ นิลสุ่ม	รหัส	49362048
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2552		

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้กำลังด้านออกมีค่าสูงสุดสำหรับแต่ละสภาพอากาศ (ความเข้มแสงและอุณหภูมิ) กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า “การหาจุดกำลังสูงสุด” (Maximum Power Point Tracking: MPPT) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความจำเป็นต่อการใช้งานระบบจ่ายไฟที่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือที่เรียกว่า ระบบโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic systems) ผลจากความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้นทุกปีทำให้ปริมาณพลังงานสำรองลดลง รวมทั้งภาวะโลกร้อนอันเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนได้รับความนิยมมากขึ้น การแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงนั้นเป็นจริงได้โดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ค่ากำลังด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ตกกระทบและอุณหภูมิของแผง ส่งผลให้จุดทำงานของแผงมักไม่อยู่ที่จุดกำลังสูงสุด โครงการนี้ใช้วิธีหาจุดกำลังสูงสุดที่ชื่อว่า “วิธีปีนเนิน (Hill climbing technique) หรือ “วิธีพีแอนด์โอ” (P&O technique) ด้วยการนำอัลกอริทึมดังกล่าวไปใช้งานจริงโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ของตัวแปลงกำลัง ซึ่งในโครงการนี้ใช้วงจรทอนระดับแรงดัน เพื่อปรับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนกระทั่งมีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด

**Project title**            Microcontroller-Based Maximum Power Point Tracking for  
PV Modules

**Name**                    Mr. Bancha   Stansap            ID. 49361010  
                                 Mr. Ponlawat Thongbuaban ID. 49361256  
                                 Mr. Siwarak   Nilsum            ID. 49362048

**Project advisor**        Mr. Niphat   Jantharamin, Ph.D.

**Major**                    Electrical Engineering

**Department**            Electrical and Computer Engineering

**Academic year**        2009

---

### Abstract

This thesis presents a project that uses microcontroller to regulate operating points of a PV module in order to obtain maximum output power corresponding to weather conditions, i.e. irradiance and temperature. The aforementioned process is called Maximum Power Point Tracking, MPPT, which is basically vital to photovoltaic (PV) systems. The rapid increase in annual energy demand could result in depletion of energy reserves in the near future as well as the rise in carbon dioxide emission, which causes the global warming issue. In recent years, more attention has been paid to solar energy as one of renewable energy sources. Direct conversion of solar energy into electricity is possible by means of solar cells. Since output power of PV modules depends strongly on irradiance and module temperature, the module does not always operate at the maximum power point. Hereby, this project uses an MPPT approach, namely Hill-climbing technique (aka P&O technique), to ensure that the output power of the module is always maximised corresponding to the weather conditions. The algorithm is implemented via the microcontroller, which generates switch control signals for a power converter. In this project, a step-down converter is used for regulating the module voltage until the maximum power point is met.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรินทร์ ที่สละเวลาอันมีค่ารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และดร. มุขिता สงฆ์จันทร์ที่ได้สละเวลารับเป็นกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ และให้คำชี้แนะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปรับปรุงโครงการนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวของคณะผู้จัดทำที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

หากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จะก่อให้เกิดคุณประโยชน์อยู่บ้าง คุณงามความดีทั้งหมด คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น แต่หากมีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

นายบัญชา สถานทรัพย์

นายพลวัฒน์ ทองบัวบาน

นายศิวรักษ์ นิลสุ่ม

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	6
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน.....	7
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.6 งบประมาณที่ใช้.....	7
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>8</b>
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.1 ความเป็นมาและหลักการทำงาน.....	8
2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.3 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะในซิลิกอนที่ถูกเจือ.....	9
2.1.4 ผลของรอยต่อพีเอ็น.....	10
2.1.5 กระบวนการทางฟิสิกส์ในเซลล์แสงอาทิตย์.....	12
2.1.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ.....	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จริง.....	15
2.1.8 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์.....	16
2.1.9 ผลของความเข้มแสงต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.1.10 ผลของอุณหภูมิต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	20
2.1.11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ.....	21
2.2 วงจรทอนระดับแรงดัน.....	22
2.2.1 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	24
2.2.2 การหาอัตราขยายของแรงดัน.....	26
2.2.3 ค่าความพลีวของแรงดันด้านออก.....	27
2.2.4 การหาค่าความเหนียวหน้าที่เล็กที่สุดในวงจรทอนระดับแรงดัน.....	29
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	32
2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข AT89C51AC3.....	32
2.4 การหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	34
2.4.1 วิธีการหาจุดกำลังสูงสุด.....	34
<b>บทที่ 3 การสร้างวงจรการทำงาน.....</b>	<b>41</b>
3.1 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน.....	41
3.1.1 ขั้นตอนการสร้างวงจร.....	41
3.1.2 การทดสอบการทำงานของวงจร.....	41
3.2 การออกแบบวงจรควบคุม.....	45
3.2.1 การเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	46
3.2.2 ชุดวงจรทอนระดับแรงดัน.....	47
3.2.3 ชุดวงจรขับมอเตอร์.....	48
3.2.4 ชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้า.....	48
3.2.5 ชุดตรวจจับกระแสไฟฟ้า.....	49
3.2.6 ชุดแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดี.....	50

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	52
4.1 การทดสอบแสงเซลล์แสงอาทิตย์.....	52
4.2 การทดสอบวงจรควบคุมเพื่อหาจุดกำลังสูงสุด.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	58
5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข.....	58
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อยอด โครงการ.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก ก.....	61
ภาคผนวก ข.....	79
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการ.....	97



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางสรุปอัลกอริทึมของวิธีป็นเนิน และวิธีพีแอนด์ไอ.....	35
3.1 แรงดันด้านออกของวงจรถอนระดับแรงดันในการทดลองตอนที่ 1.....	42
3.2 แรงดันด้านออกของวงจรถอนระดับแรงดันในการทดลองตอนที่ 2.....	43



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	1
1.2	2
1.3	3
1.4	4
1.5	4
1.6	5
1.7	5
2.1	9
2.2	10
2.3	11
2.4	14
2.5	15
2.6	16
2.7	17
2.8	18
2.9	19
2.10	19
2.11	20
2.12	21
2.13	22
2.14	23
2.15	24
2.16	25
2.17	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

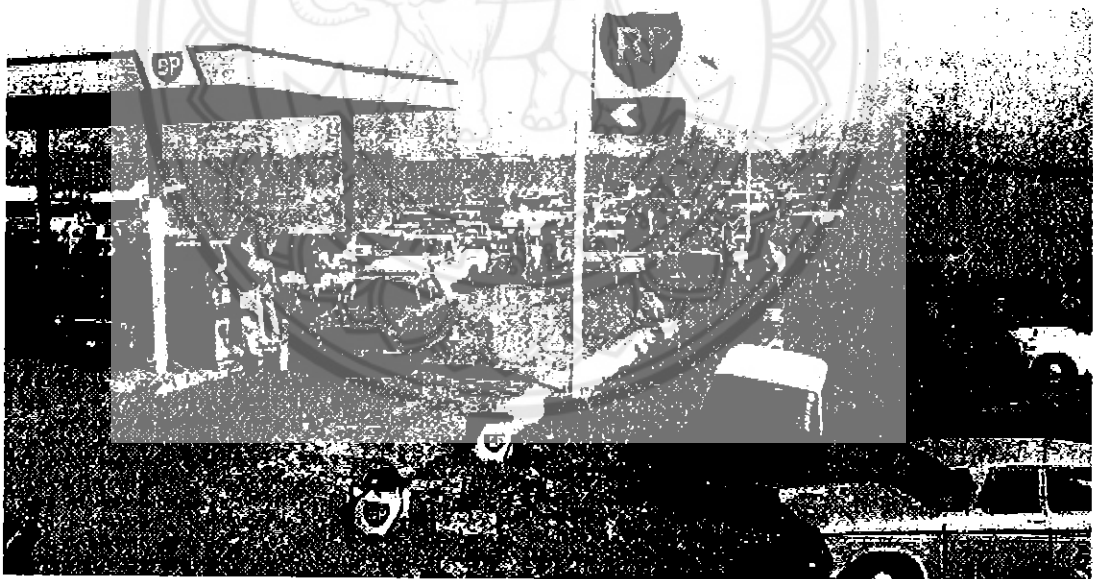
รูปที่	หน้า
2.18 รูปคลื่นการทำงานของวงจร.....	28
2.19 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	30
2.20 ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89C51AC3.....	33
2.21 เส้นโค้งคุณลักษณะกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป.....	35
2.22 การเข้าสู่จุดกำลังสูงสุดของวิธีป็นเนิน และวิธีพีแอนด์โอ.....	36
2.23 อัลกอริทึมของการหาจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีความนำเพิ่มขึ้น.....	38
3.1 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 15 V.....	42
3.2 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V.....	43
3.3 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่ค่าดีวีดีไอเกิด 70%.....	44
3.4 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่ค่าดีวีดีไอเกิด 80%.....	44
3.5 แผนภาพการเชื่อมต่อภายในวงจรควบคุม.....	46
3.6 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมตามหลักการของวิธีพีแอนด์โอ.....	47
3.7 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า.....	49
3.8 ชุดตรวจจับกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	50
3.9 ชุดแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดี.....	50
3.10 แผงวงจรควบคุมเพื่อหาจุดกำลังสูงสุด (ด้านหน้า).....	51
3.11 แผงวงจรควบคุมเพื่อหาจุดกำลังสูงสุด (ด้านหลัง).....	51
4.1 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแสจากการทดลอง.....	52
4.2 กราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดันจากการทดลอง.....	53
4.3 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแสจากการทดลองกับกราฟของผู้ผลิต.....	53
4.4 กราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดันจากการทดลองกับกราฟของผู้ผลิต.....	54
4.5 กราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดันจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่ 1000 W/m <sup>2</sup> .....	55
4.6 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่ 900 W/m <sup>2</sup> .....	55
4.7 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่ 800 W/m <sup>2</sup> .....	56
4.8 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่ 700 W/m <sup>2</sup> .....	56
4.9 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่ 600 W/m <sup>2</sup> .....	57

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปี พ.ศ. 2516 (ค.ศ. 1973) ประเทศผู้ส่งออกน้ำมันในกลุ่ม โอเปค (Organization of the Petroleum Exporting Countries; OPEC) ได้ปล่อยให้ราคาน้ำมันในซีกโลกตะวันตกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการคว่ำบาตรการส่งออกน้ำมัน ทำให้เศรษฐกิจของหลายประเทศตกต่ำลงอันเนื่องมาจากการขาดแคลนพลังงาน และพลังงานมีราคาสูงขึ้น (รูปที่ 1.1) เหตุการณ์ในครั้งนั้นทำให้หลายคนตระหนักถึงความรุนแรงของผลที่เกิดจากการพึ่งพาแหล่งพลังงานและประเทศผู้ส่งออกอย่างไม่ระมัดระวัง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพถูกให้ความสำคัญในลำดับต้น ๆ ของหลายประเทศ

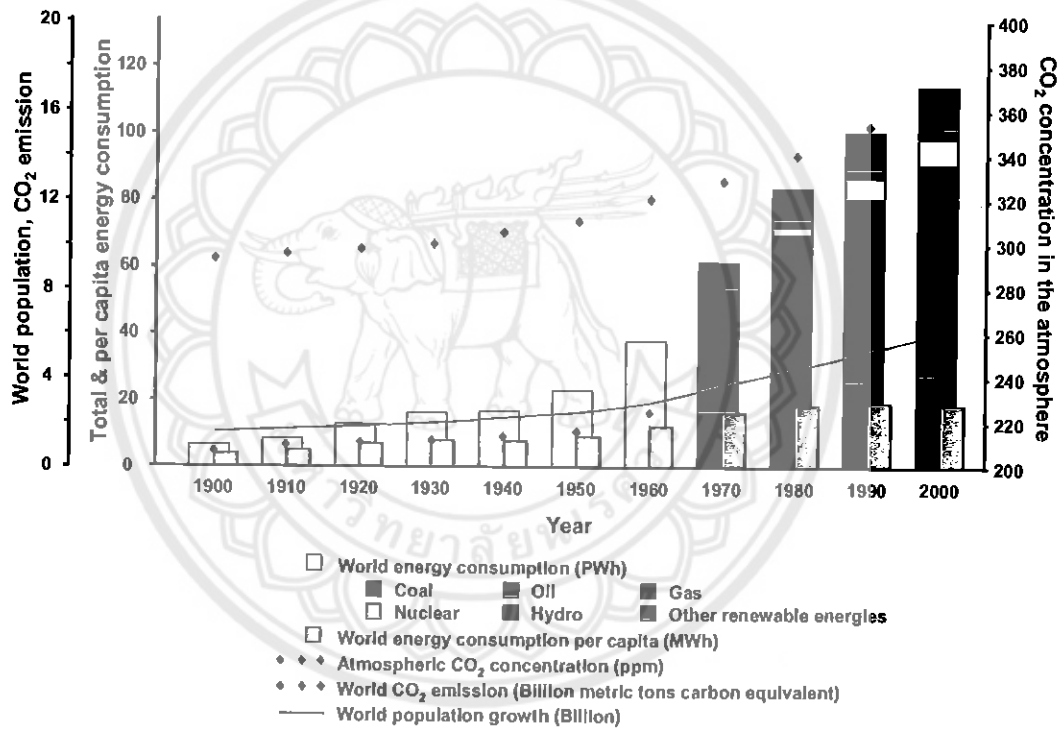


รูปที่ 1.1 วิกฤตการณ์น้ำมันในปี พ.ศ. 2516 (ค.ศ. 1973)

เศรษฐกิจของหลายประเทศตกต่ำลงอันเนื่องมาจากการขาดแคลนพลังงาน และพลังงานมีราคาสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพถูกให้ความสำคัญในลำดับต้น ๆ ของหลายประเทศ ผู้เชี่ยวชาญหลายคนเกรงว่าวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานอาจเกิดขึ้นในอนาคต เพราะการขาดแคลนเชื้อเพลิง อาทิ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ได้เคยเกิดขึ้นมาแล้ว แม้จนกระทั่งบัดนี้ก็ยัง ไม่เกิดการขาดแคลนพลังงานจนถึงขั้นวิกฤตก็ตามอันเนื่องมาจากสาเหตุ

ดังต่อไปนี้ ประการแรก แหล่งเชื้อเพลิงดังกล่าวถูกค้นพบเพิ่มเติมอยู่เสมอ ประการที่สอง ในช่วงที่ผ่านมา มีการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการนำเชื้อเพลิงมาใช้ และประการที่สาม ในภาคอุตสาหกรรมรวมถึงภาคประชาชนมีการใช้พลังงานอย่างคึกคักมากขึ้น

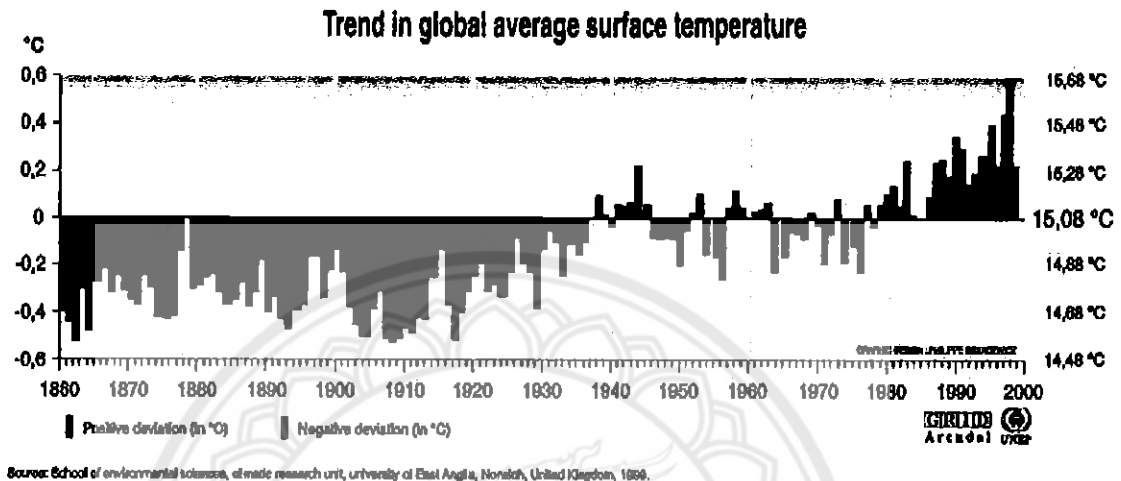
การใช้พลังงานของโลกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 1.2) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มประเทศโลกที่สาม และกลุ่มประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (New Industrialized Countries; NICs) อันเนื่องมาจากเหตุผลที่ว่า เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นก็ย่อมส่งผลให้เกิดความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจำนวนประชากรโลกยังคงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง [1-3]



รูปที่ 1.2 สถานการณ์การใช้พลังงานของโลก [1-3]

นอกจากนี้ยังมีการระบุว่าภายใน 20 ปีข้างหน้าความต้องการพลังงานปฐมภูมิน่าจะเพิ่มขึ้นเป็น  $154 \times 10^{12}$  kWh และความต้องการจะเพิ่มขึ้นเป็น  $228 \times 10^{12}$  kWh ในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ.2050) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีอัตราส่วนของการใช้พลังงานทดแทน (Renewable energies) เพิ่มขึ้นแต่บทบาทของเชื้อเพลิงฟอสซิลจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนักในอนาคตอันใกล้นี้ [2] แต่ส่วนสำคัญหลักในการผลิตไฟฟ้าใช้ในประเทศก็ยังคงมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ในกระบวนการสันดาปเชื้อเพลิงฟอสซิลจะเกิดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ซึ่งจัดเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิง

เพิ่มขึ้น นั่นคือทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว รังสีความร้อนที่แผ่จากพื้นผิวโลกถูกดูดซับด้วยชั้นบรรยากาศมากยิ่งขึ้น และมีรังสีความร้อนบางส่วนถูกแผ่กลับลงมา ทำให้ชั้นบรรยากาศส่วนล่างและพื้นผิวโลกอุณหภูมิสูงขึ้น (รูปที่ 1.3)

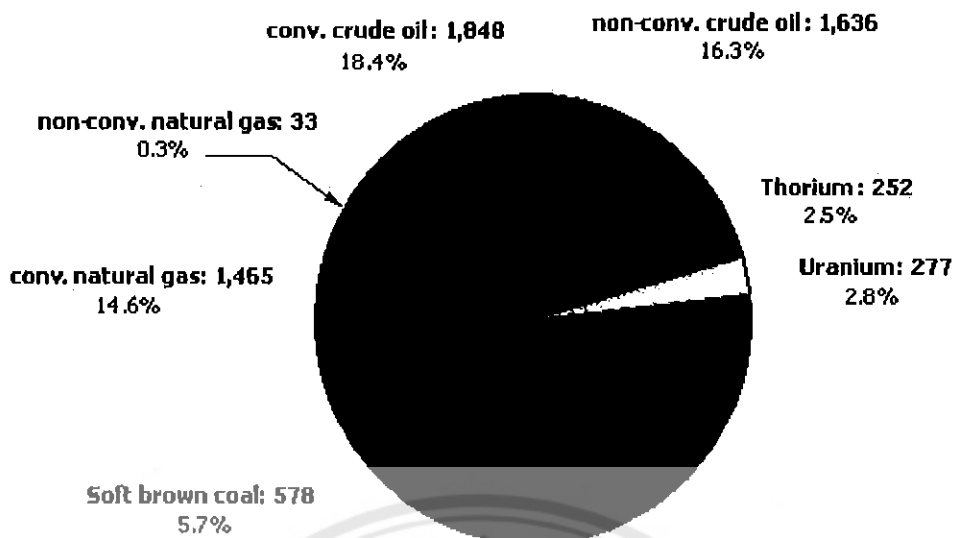


รูปที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลก  
(ที่มา: School of environment sciences, 1999)

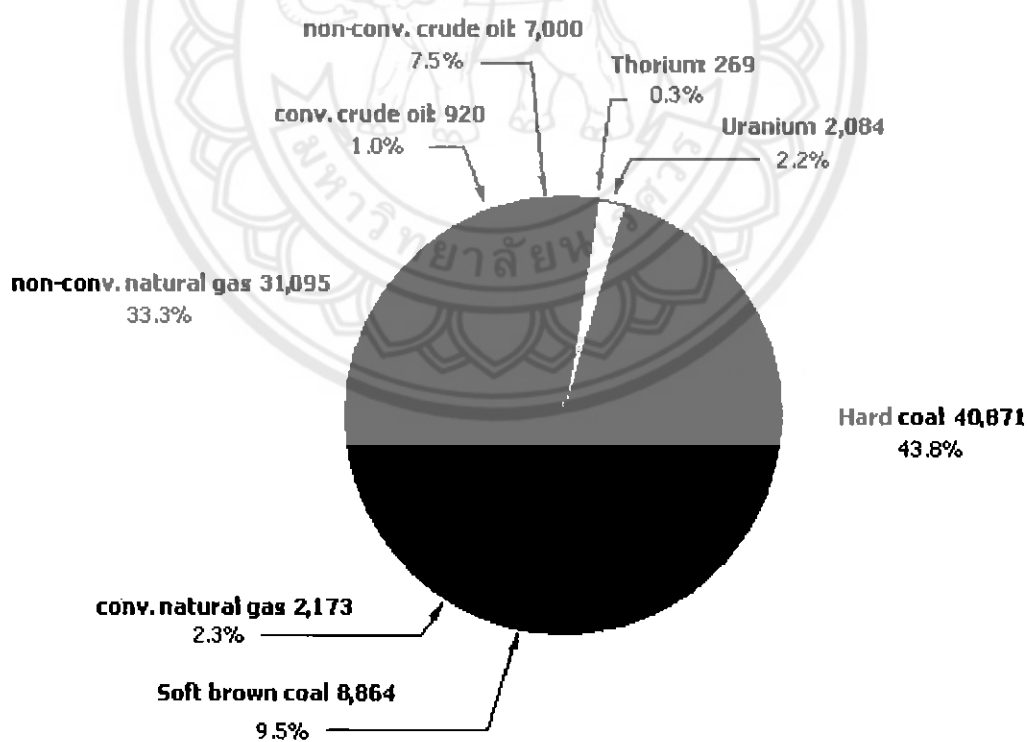
จากรูปที่ 1.4 และรูปที่ 1.5 แหล่งพลังงานสำรองของถ่านหินนับเป็นประมาณ 45% ของแหล่งพลังงานทั้งหมด น้ำมันดิบทั้งที่แปรรูปและที่ยังไม่ได้แปรรูปประมาณ 33% ของแหล่งพลังงานทั้งหมด ก๊าซธรรมชาติ ประมาณ 15% เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ประมาณ 5%

ถ้าปริมาณการใช้พลังงานที่จะไม่เพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษหน้า เชื้อเพลิงฟอสซิลน่าจะเหลือเพียงพอให้ใช้ได้อีกสักระยะ นั่นคือน้ำมันและก๊าซธรรมชาติประมาณ 40-60 ปี ถ่านหินสั้นกว่า 200 ปี (รูปที่ 1.6) แต่ในความเป็นจริง ด้วยความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรโลก และการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วของประเทศอุตสาหกรรมใหม่ ช่วงระยะเวลาข้างต้นย่อมถูกทำให้สั้นลงกว่า [4]

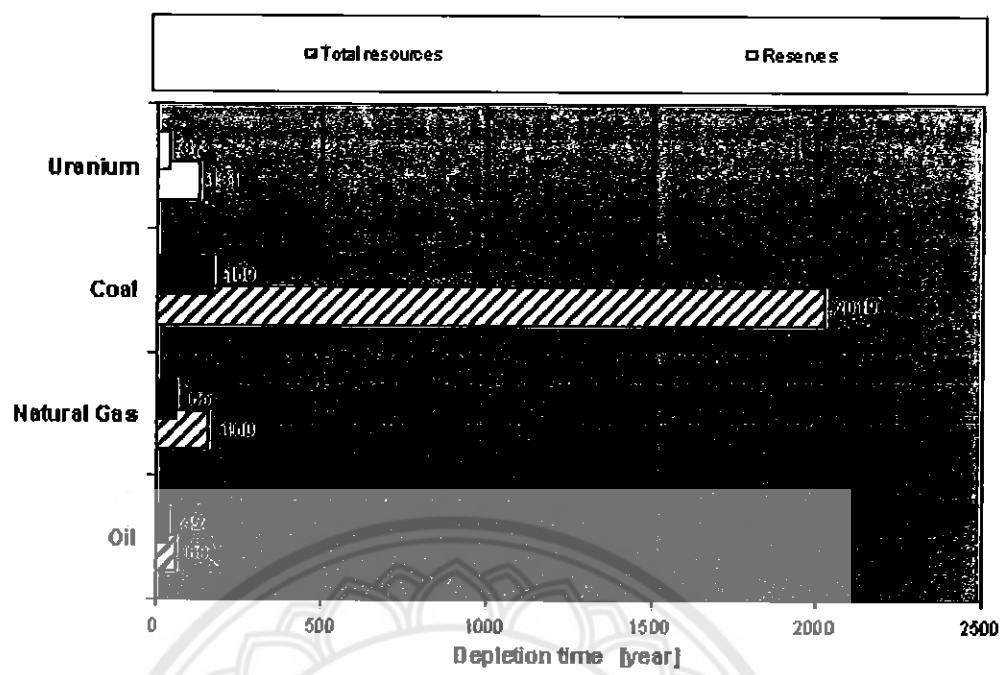
อัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของความต้องการใช้พลังงานเป็นตัวกำหนดระยะเวลาหมดสิ้นของแหล่งพลังงาน จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการหนีจากการพึ่งพาแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้นเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และต้องถูกกระทำให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ รูปที่ 1.7 แสดงการคาดการณ์หนึ่งซึ่งชี้ให้เห็นถึงการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการใช้พลังงานของโลกในอนาคต



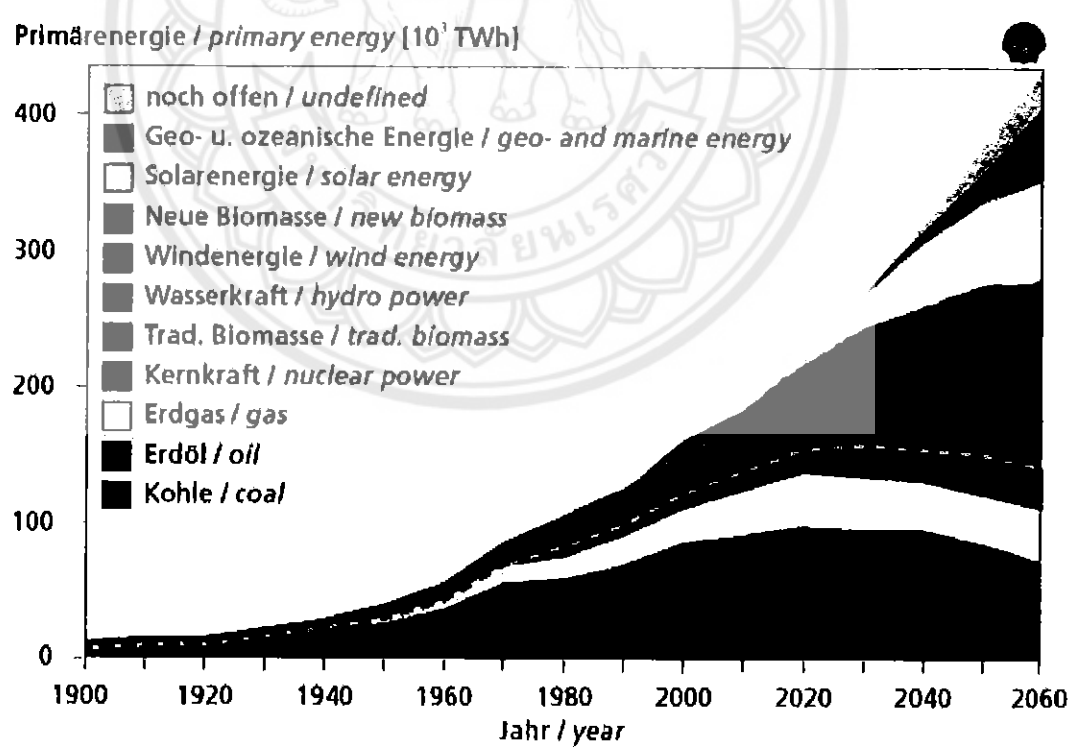
รูปที่ 1.4 ปริมาณแหล่งพลังงานสำรอง ปลายปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1997) ในหน่วย PWh [4]



รูปที่ 1.5 ปริมาณแหล่งพลังงานสนับสนุน ปลายปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1997) ในหน่วย PWh [4]



รูปที่ 1.6 ระยะเวลาหมดสิ้นของแหล่งพลังงานสำรอง [4]



รูปที่ 1.7 การปรับเปลี่ยนสัดส่วนการใช้พลังงานของโลก (ที่มา: Shell)



โครงการนี้ให้ความสนใจพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง และไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ นอกจากนี้เรายังสามารถกล่าวได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด เราสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงได้โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) ระบบจ่ายไฟด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย สามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ชนบทห่างไกล แต่เนื่องจากค่ากำลังด้านออกของแผงเซลล์อาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของแผง ส่งผลให้จุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่อยู่ที่จุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) ซึ่งเป็นจุดทำงานที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังด้านออกได้สูงสุดสำหรับสภาพอากาศนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้โครงการนี้จึงมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อควบคุมให้จุดทำงานของแผงอยู่ที่จุดกำลังสูงสุด ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า “การหาจุดกำลังสูงสุด” (Maximum Power point tracking: MPPT) โดยจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบและสร้างวงจรเพื่อควบคุมให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุด โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) สร้างวงจรทอนระดับแรงดัน (Step-down converter) ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- 2) เชื่อมต่อวงจรเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อควบคุมให้เกิดค่ากำลังสูงสุด

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2552							ปี 2553		
	มี.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1) ศึกษาการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วงจรทอนระดับแรงดันและไมโครคอนโทรลเลอร์										
2) จัดทำชิ้นงาน										
3) เขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์										
4) ทดสอบการใช้งานจริง										
5) สรุปผลการทำงาน										
6) รวบรวมข้อมูลและจัดทำปริญญานิพนธ์										

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมจุดการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดโดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### 1.6 งบประมาณที่ใช้

1) ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1500 บาท
2) ค่าถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่ม	1000 บาท
3) ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการดำเนินโครงการ	500 บาท
รวมเป็นเงิน (สามพันบาทถ้วน)	<u>3000 บาท</u>
หมายเหตุ: ตัวเฉลี่ยทุกรายการ	

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในโครงการนี้จุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้อยู่ที่จุดกำลังสูงสุด โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ของตัวแปลงกำลัง (Power converter) ซึ่งในที่นี้ใช้วงจรทอนระดับแรงดันเพื่อควบคุมให้แรงดันด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด ดังนั้นในส่วนนี้จะขอก้าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ วงจรทอนระดับแรงดัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการหาจุดกำลังสูงสุด

#### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

##### 2.1.1 ความเป็นมาและหลักการทำงาน

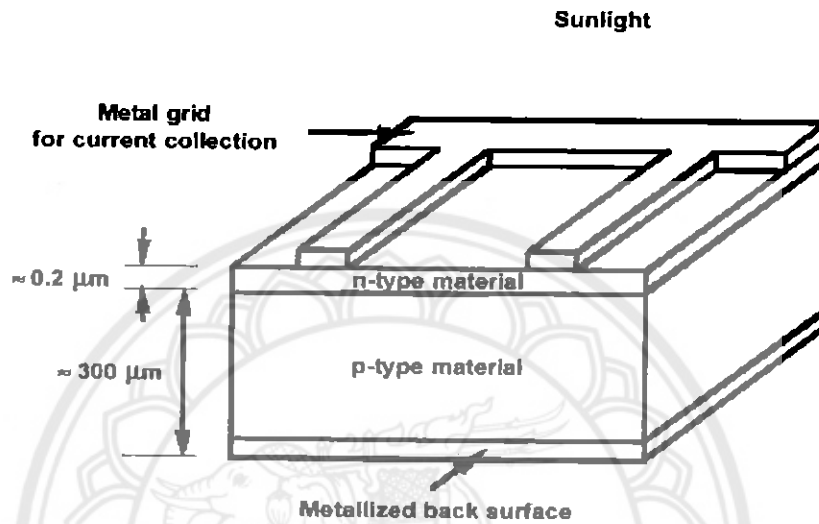
เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี พ.ศ. 2497 (ค.ศ. 1954) โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) ซึ่งค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์ชิ้นแรกของโลกซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียม โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า แต่หลังจากเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี พ.ศ. 2516 (ค.ศ. 1973) จึงได้มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้กับงานบนพื้นโลกมากขึ้นตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

##### 2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

การเปลี่ยนพลังงานการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง สามารถเป็นจริงได้ด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic effect) โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) คำว่า "Photovoltaic" มักจะถูกเขียนย่อด้วย "PV" พลังงานการแผ่รังสีถูกส่งผ่านโดยตรงไปยังอิเล็กตรอนในเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการโฟโตเอฟเฟกต์ (Photoeffect) ด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นอันเป็นผลมาจากการดูดกลืนพลังงานที่มากกระตุ้น

วัตถุดิบพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์เกือบทั้งหมดที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันคือ ซิลิกอน โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนถูกแสดงอย่างคร่าว ๆ ได้ดังรูปที่ 2.1 เวเฟอร์ซิลิกอนหนาประมาณ 300  $\mu\text{m}$  ประกอบด้วย 2 ชั้นที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกัน ซึ่งส่วนมาก

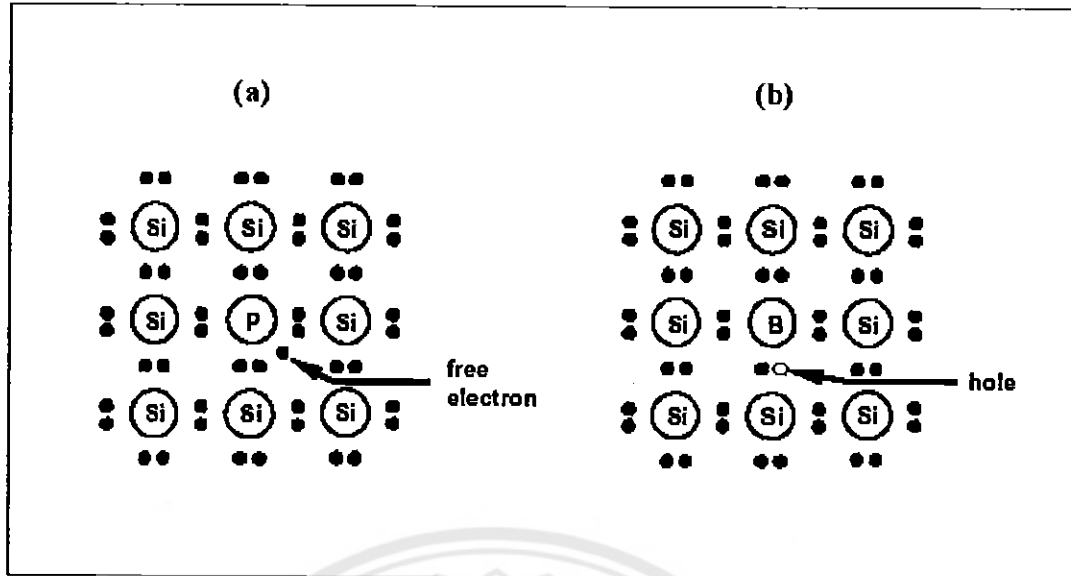
ถูกเจือด้วยโบรอนและฟอสฟอรัส ผิวด้านหลังของเซลล์ทำจากโลหะทั้งหมดเพื่อรวบรวมประจุ ในขณะที่ด้านหน้าซึ่งเป็นส่วนรับแสงที่จะมาตกกระทบ จะใช้เพียงกริดโลหะ 1 ชั้น เพื่อให้แสงผ่านเข้าสู่เซลล์ได้มากที่สุด โดยปกติผิวของเซลล์จะถูกเคลือบด้วยสารด้านการสะท้อน (Antireflection Coating) เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดจากการสะท้อนให้เหลือน้อยที่สุด



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน [5]

### 2.1.3 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะในซิลิกอนที่ถูกเจือ

ถ้าพิจารณาการเจือซิลิกอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 4 ตัว (Tetravalent Element) และเป็นสารกึ่งตัวนำที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุดรวมถึงการนำไปใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ การแทนที่อะตอมของซิลิกอน 1 อะตอมด้วยอะตอมที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัว (Pentavalent Element) ดังรูปที่ 2.2a เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus: P) หรือ สารหนู (Arsenic: As) 1 อะตอมทำให้เหลืออิเล็กตรอน 1 ตัว ที่ยึดติดอย่างหลวม ๆ ด้วยแรงคูลอมบ์ (Coulomb Force) ซึ่งสามารถถูกทำลายด้วยพลังงานประมาณ  $0.002 \text{ eV}$  ปริมาณอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) คือหน่วยของพลังงานซึ่งสอดคล้องกับค่าพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับเมื่อมีศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 V เนื่องจากธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัวให้อิเล็กตรอนอย่างง่ายดาย จึงถูกเรียกว่า “สารเจือผู้ให้ (Donor)” หลังจากให้อิเล็กตรอนแล้วอะตอมของสารเจือผู้ให้จะมีประจุบวก และเนื่องจากโดยปกติแล้วกระแสที่เกิดขึ้นจะเกิดจากอิเล็กตรอนเท่านั้น จึงเรียกลักษณะนี้ว่า “สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type material)”



รูปที่ 2.2 การใส่สารเจือลงในซิลิกอน

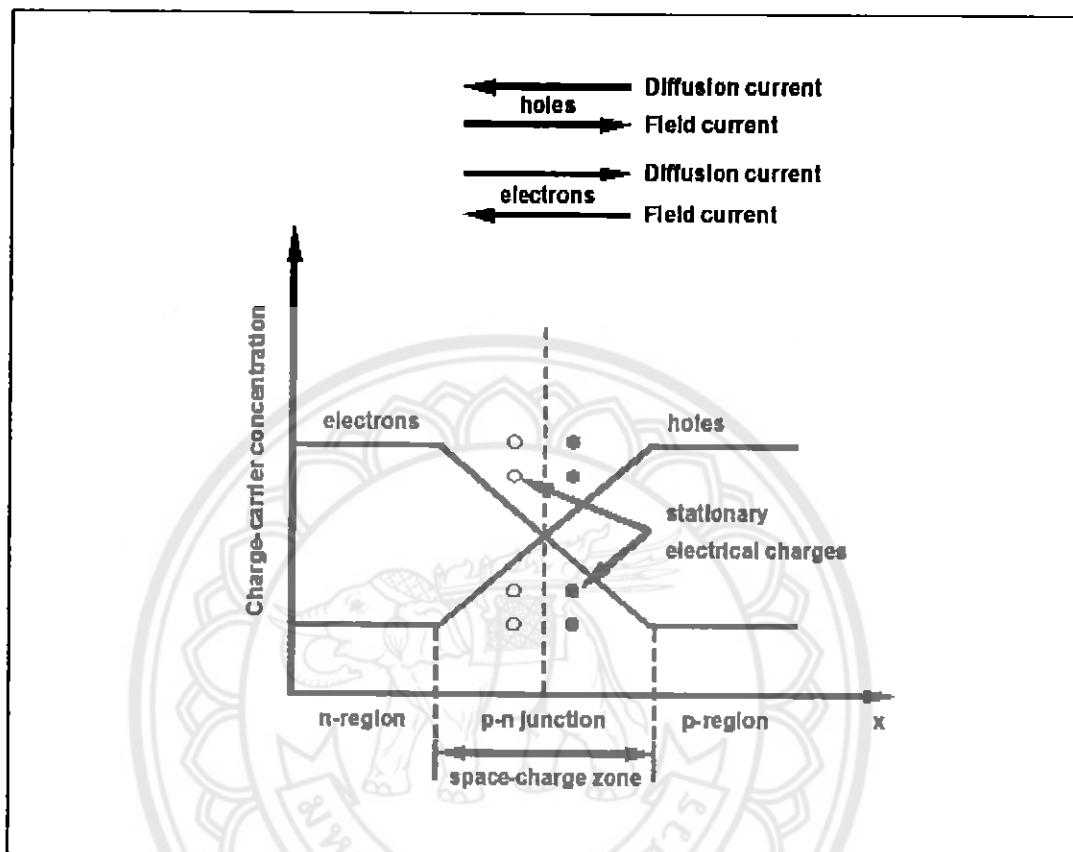
(รูปซ้าย) ด้วยอะตอมที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัว และ (รูปขวา) ด้วยอะตอมที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว [5]

ในทางกลับกัน การแทนที่อะตอมของซิลิกอน 1 อะตอมด้วยอะตอมที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว (Trivalent Element) ดังรูปที่ 2.2b เช่น โบรอน (Boron: B) หรือ อลูมิเนียม (Aluminium: Al) หรือ แกลเลียม (Gallium: Ga) 1 อะตอมทำให้ขาดอิเล็กตรอน 1 ตัว หรือพูดได้ว่าเกิดโฮล (Hole) ขึ้น ในขณะที่อิเล็กตรอนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับโฮลสามารถเข้าไปเติมในช่องว่างดังกล่าวนี้ได้ และทำให้เกิดโฮลที่ตำแหน่งเดิมของมันเป็นลำดับ กระบวนการนี้ก่อให้เกิดการนำกระแสโดยที่โฮลซึ่งมีประจุบวก ดังนั้นสารนี้จึงถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type material) และเนื่องจากอะตอมของสารเจือในกรณีนี้รับอิเล็กตรอนอย่างง่ายดาย จึงถูกเรียกว่า “สารเจือผู้รับ (Acceptor)” อะตอมของสารเจือผู้รับจะถูกไอออไนซ์ (Ionized) เป็นประจุลบด้วยการรับอิเล็กตรอน โดยทั่วไปอะตอมของสารเจือผู้ให้ และของสารเจือผู้รับจะถูกไอออไนซ์แล้วที่อุณหภูมิห้อง

#### 2.1.4 ผลของรอยต่อพีเอ็น

โดยปกติรอยต่อพีเอ็น ถูกสร้างจากความจริงที่ว่าชั้นชนิดเอ็นเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำชนิดพีด้วยการแพร่เข้าไปของสารเจือผู้ให้ที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ  $850^{\circ}\text{C}$ ) ในทำนองเดียวกันกับกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น รอยต่อพีเอ็นสามารถถูกสร้างได้ด้วยการแพร่เข้าไปของสารเจือชนิดผู้รับ แม้ว่าจะเป็นที่นิยมน้อยกว่าก็ตาม ในบริเวณใกล้ ๆ กับผิวขอบของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นหรือพี จะเกิดปรากฏการณ์ดังต่อไปนี้ ในด้านเอ็น มีอิเล็กตรอนจำนวนมาก ในด้านพีมีโฮลจำนวนมากความแตกต่างในด้านปริมาณดังกล่าวนี้ ก่อให้เกิดผลที่ตามมาคือ อิเล็กตรอนจากด้านเอ็นแพร่เข้าไปยัง

ด้านพี และ โฮลแพร่จากด้านพีเข้าไปในด้านเอ็น ผลที่ตามมาคือ เกิดกระแสของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการแพร่เข้าไปในด้านพี และกระแสจากการแพร่ของโฮลเข้าไปในด้านเอ็น จากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกระจายประจุพาหะที่รอยต่อพีเอ็น และกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ [5]

การไหลของพาหะประจุลบและบวก ทำให้เกิดการขาดประจุพาหะภายในบริเวณที่เคยเป็นกลางทางไฟฟ้า นั่นคือ เกิดประจุบวกภายในบริเวณสารเจือผู้ให้ และเกิดประจุลบภายในบริเวณสารเจือผู้รับ ดังนั้นจึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นตรงผิวขอบและก่อให้เกิดกระแสจากประจุพาหะทั้งสองชนิด ซึ่งไหลต้านกระแสที่เกิดจากการแพร่ในสภาวะสมดุล ค่าของกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านผิวรอยต่อมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้าชดเชยกระแสที่เกิดจากการแพร่อย่างสมบูรณ์ นั่นคือกระแสโฮลชนิดชดเชยระหว่างกันอย่างสมบูรณ์ และกระแสอิเล็กตรอนก็เช่นกัน ดังรูปที่ 2.3

สนามไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อนี้ สอดคล้องกับค่าความต่างศักย์  $V_D$  ซึ่งถูกเรียกว่า “กำแพงศักย์ (Potential Barrier)” โดยมีค่าประมาณ 0.8 eV สนามไฟฟ้านี้ทำให้ประจุพาหะที่เป็นผลมาจากแสงที่ตกกระทบเซลล์นั้นแยกออกจากกัน ภายในบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region หรือ Space-Charge Zone) จะไม่มีประจุพาหะอิสระ ซึ่งบริเวณนี้มีค่าความต้านทานสูงมาก

การป้อนแรงดันลบที่ด้านเอ็น ซึ่งเรียกว่า ไบอัสตรง (Forward Bias) ทำให้กำแพงศักย์มีค่าลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นพาหุไฟฟ้าและกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย ทำให้ขณะไม่สามารถชดเชยกับกระแสที่เกิดจากการแพร่ของอิเล็กตรอนและ โฮลคั้งเช่นขณะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกได้อีกต่อไป ผลที่ตามมาคือ มีกระแสสุทธิที่เกิดจากการแพร่ของอิเล็กตรอนและ โฮลไหลผ่านรอยต่อพีเอ็น ถ้าแรงดันจากภายนอกที่ป้อนเข้าไปมีค่าเท่ากับค่ากำแพงศักย์ จะไม่มีกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้า และค่ากระแสจะถูกจำกัดด้วยค่าความต้านทานของสารเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม การป้อนแรงดันลบจากภายนอกเข้าที่ด้านลบ ซึ่งเรียกว่า ไบอัสย้อนกลับ (Reverse Bias) จะเพิ่มค่าแรงดันของกำแพงศักย์ ทำให้บริเวณปลอดพาหุมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้กระแสจากสนามไฟฟ้ามีค่ามากกว่ากระแสสุทธิที่มีทิศทางไบอัสย้อนกลับจึงมีค่าน้อยมาก กระบวนการที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อพีเอ็นนำไปสู่สมการไดโอด นั่นคือ

$$I_D = I_0 \cdot \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ  $I_D$  คือ กระแสของไดโอด [A]

$q$  คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน [ $1.6 \times 10^{-19}$  A.s]

$V$  คือ แรงดันจากภายนอกที่ป้อนเข้าไป [V] มีค่าเป็นบวก ในกรณีไบอัสตรง และมีค่าเป็นลบในกรณีไบอัสย้อนกลับ

$k$  คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์มันน์ [ $8.65 \times 10^{-5}$  eV/K]

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ [K]

ปริมาณ  $I_0$  เรียกว่า “กระแสมืด (Dark Current หรือ Saturated Current)” ของไดโอด ซึ่งมีความสำคัญสำหรับไดโอดแต่ละตัว และมีความสำคัญอย่างมากในเรื่องของเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.1.5 กระบวนการทางฟิสิกส์ในเซลล์แสงอาทิตย์

#### 1) การดูดกลืนแสง (Optical Absorption)

ในขณะที่แสงตกลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ แสงบางส่วนถูกสะท้อน บางส่วนถูกดูดกลืน ส่วนที่เหลือสามารถผ่านเซลล์ไปได้ เนื่องจากซิลิกอนมีดัชนีการหักเห (Refractive Index) สูง (มากกว่า 3.5) ทำให้กว่า 30% ของแสงที่ตกกระทบถูกสะท้อน ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมักถูกเคลือบด้วยสารด้านการสะท้อน ซึ่งโดยปกตินิยมเคลือบเป็นชั้นบาง ๆ ด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ ทำให้ลดความสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนเหลือประมาณ 10% โดยปกติโฟตอน หรือควอนต้าของแสงทำปฏิกิริยากับสารด้วยการกระตุ้นอิเล็กตรอน กระบวนการที่สำคัญทางด้านพลังงานที่ใช้กับ

เซลล์แสงอาทิตย์ เรียกว่า “การดูด-กลืนทางโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Absorption)” ด้วยเหตุนี้ โฟตอนจึงถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์แบบด้วยอิเล็กตรอนวงนอก อิเล็กตรอนได้รับพลังงานทั้งหมดจากโฟตอนแล้วกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ตามในสารกึ่งตัวนำ โฟตอนจะสามารถถูกดูดกลืนก็ต่อเมื่อพลังงานของมันมีค่าสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (Bandgap) โฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงานจะผ่านทะลุสารกึ่งตัวนำและไม่สามารถก่อให้เกิดการแปลงพลังงาน อย่างไรก็ตาม โฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงานก็จัดเป็นความสูญเสียในด้านการแปลงพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนในผลึกอย่างรวดเร็ว ในช่วงการทำปฏิกิริยาระหว่างสเปกตรัมโดยทั่วไปของรังสีแสงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน ในกระบวนการแปลงพลังงาน พลังงานจะสูญเสียประมาณ 60% เพราะมีโฟตอนจำนวนมากมีพลังงานทั้งที่ต่ำกว่าและสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงาน

### 2) การรวมตัวของประจุพาหะ (Recombination of Charge Carriers)

การดูดกลืนแสงก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน ดังนั้นในช่วงที่มีแสงปริมาณของประจุพาหะจึงมีค่ามากกว่าในช่วงเวลาที่มืด นั่นคือในขณะที่ไม่มีแสงปริมาณประจุพาหะจะมีค่าเท่ากับในช่วงเวลาที่มืด กระบวนการย้อนกลับนี้เรียกว่า “การรวมตัวของประจุพาหะ (Recombination)” และเป็นกระบวนการย้อนกลับจากกระบวนการสร้างประจุพาหะด้วยการดูดกลืนแสง การรวมตัวของประจุพาหะเกิดตามธรรมชาติแม้กระทั่งในกระบวนการสร้างประจุพาหะ ปริมาณของประจุพาหะสุทธิในขณะที่มีแสงจึงเป็นผลที่เกิดจากทั้งสองกระบวนการดังกล่าว

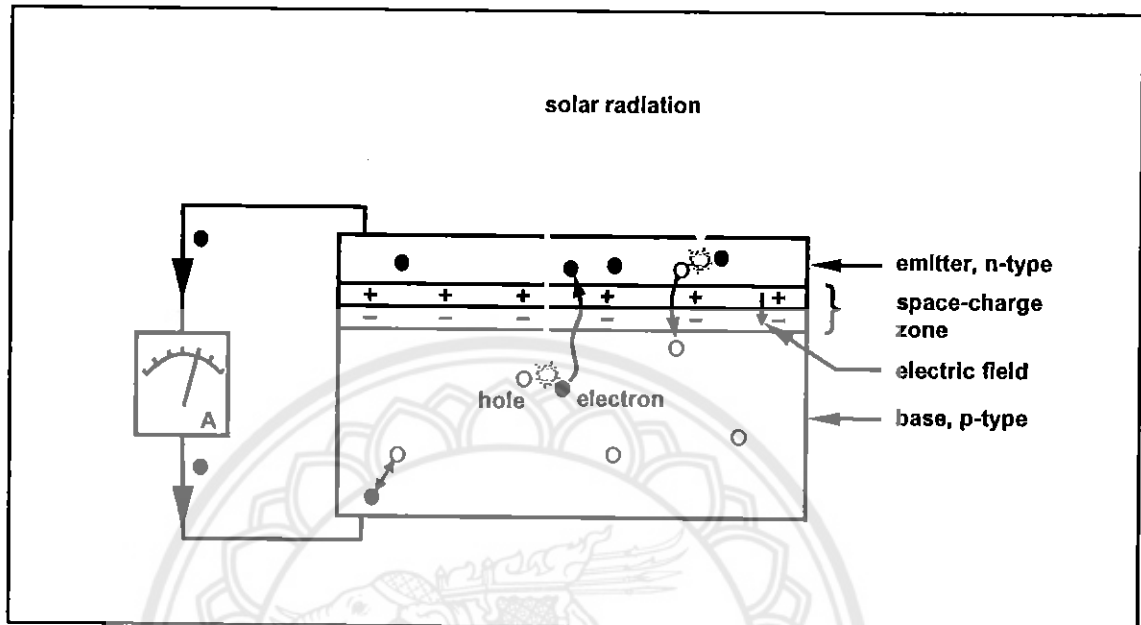
ในช่วงอายุขัย (Lifetime) ของประจุพาหะ ประจุพาหะสามารถเคลื่อนที่ในผลึกได้ในระยะทางที่แน่นอนก่อนที่จะเกิดการรวมตัว ระยะทางเฉลี่ยที่ประจุพาหะจะสามารถเดินทางได้ระหว่างจุดกำเนิดของประจุกับจุดที่เกิดการรวมตัว เรียกว่า “ระยะทางการแพร่ (Diffusion Length)” ปริมาณนี้มีบทบาทสำคัญในการอธิบายพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ และมีค่าขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของสาร และอายุขัยของประจุพาหะ (ระยะเวลาที่ใช้จนกระทั่งประจุพาหะเกิดการรวมตัว)

### 3) เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงตกกระทบ

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแสดงไว้โดยสังเขปดังรูปที่ 2.4 อันได้แก่ อิมิตเตอร์ชนิดเอ็น (n-doped emitter) บริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) และ เบสชนิดพี (p-doped base) โฟตอนที่มีพลังงานเพียงพอตกลงบนผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านทะลุอิมิตเตอร์และบริเวณปลอดพาหะ แล้วถูกดูดกลืนในเบสชนิดพี ก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เนื่องจากอิเล็กตรอนเป็นพาหะส่วนน้อยภายในเบสชนิดพี จึงถูกเรียกว่า “ประจุพาหะส่วนน้อย” ซึ่งตรงกันข้ามกับโฮลที่เป็นประจุพาหะส่วนใหญ่ในบริเวณนี้ อิเล็กตรอนนี้แพร่เข้าไปในเบสชนิดพีจนกระทั่ง



ถึงขอบของบริเวณปลอดพาหะ สนามไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณเขตปลอดพาหะจะเร่งอิเล็กตรอนและพาหะอิเล็กตรอนไปยังด้านอิมิตเตอร์



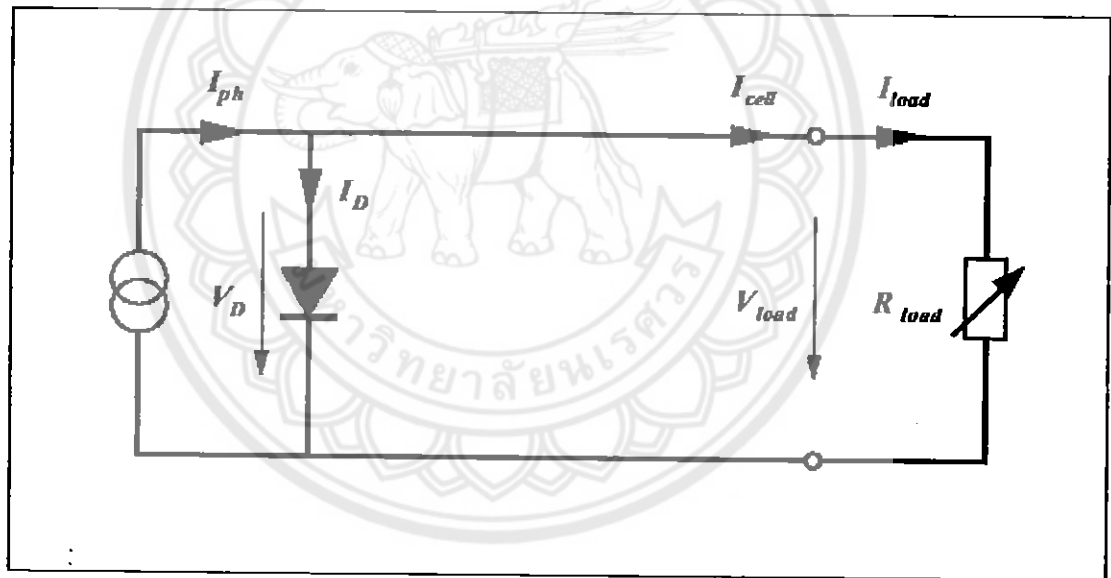
รูปที่ 2.4 หลักการทำงาน โดยสังเขปของเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การแยกออกจากกันของประจุพาหะจึงเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้สนามไฟฟ้าจึงทำงานคล้ายกับเป็นตัวกลางในการแยก แต่ข้อแม้คือ ระยะทางการแพร่ของอิเล็กตรอนจะต้องมากเพียงพอให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณปลอดพาหะ ในกรณีที่ระยะทางการแพร่สั้นเกินไป การรวมตัวของประจุพาหะจะเกิดขึ้นก่อนถึงบริเวณปลอดพาหะ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานการดูดกลืนควอนตัมของแสงในอิมิตเตอร์ก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลเช่นกัน แต่เนื่องจากโฮลเป็นประจุพาหะส่วนน้อยในบริเวณอิมิตเตอร์ชนิดอื่น ด้วยระยะทางการแพร่ที่มากเพียงพอ ทำให้โฮลเคลื่อนที่ไปจนถึงบริเวณปลอดพาหะ และถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า และถูกพาไปยังด้านเบสชนิดพี ถ้าการดูดกลืน ควอนตัมของแสงเกิดขึ้นในบริเวณปลอดพาหะ อิเล็กตรอนและโฮลจะถูกแยกออกจากกัน ทันทีด้วยสนามไฟฟ้าที่มีในบริเวณนั้นนั่นเอง ผลจากการมีแสงตกกระทบจะได้อิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ไปจนถึงบริเวณปลอดพาหะ และถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า และถูกพาไปยังด้านเบสชนิดพี ถ้าปริมาณของอิเล็กตรอนทางด้านอิมิตเตอร์ชนิดอื่นเพิ่มขึ้น ปริมาณของโฮลทางด้านเบสชนิดพีก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้า ถ้าอิมิตเตอร์ชนิดอื่นและเบสชนิดพีถูกนำมาต่อกันผ่านตัวต้านทาน อิเล็กตรอนจากด้านอิมิตเตอร์ไหลผ่านตัวต้านทานไปยังเบสแล้วรวมตัวกับโฮลในบริเวณนั้น อย่างไรก็ตาม การไหลของกระแสหมายถึงกำลังด้านออก การไหลของกระแสที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตรงตามที่ยังคงมีแสงตกกระทบเซลล์ ผลก็คือพลังงานแสงอาทิตย์ถูกเปลี่ยนทันทีเป็นพลังงานไฟฟ้า

### 2.1.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ

อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น เซลล์อาทิตย์ที่ถูกแสงจะสร้างประจุพาหะอิสระ ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลผ่านภาระ (Load) ที่ต่ออยู่ ปริมาณประจุพาหะอิสระที่เกิดขึ้นแปรผันตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ เช่นเดียวกับกระแสโฟโต้ ( $I_{ph}$ ) ซึ่งเกิดขึ้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเซลล์อาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถถูกแสดงด้วยวงจรสมมูลอย่างง่ายในรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วยไดโอดที่เกิดขึ้นจากรอยต่อพีเอ็นและแหล่งจ่ายกระแสโฟโต้ ที่มีค่ากระแสขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกต่อเป็นภาระของเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ถูกแสง นำไปสู่สมการต่อไปนี้

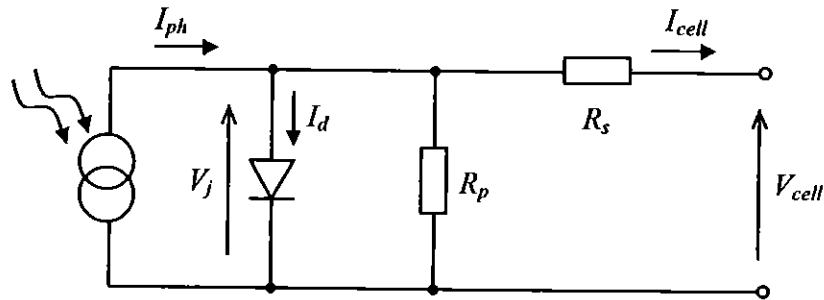
$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_D \cdot \left[ e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ [5]

### 2.1.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จริง

ในสภาพความเป็นจริง เนื้อสารกึ่งตัวนำและหน้าสัมผัสโลหะของเซลล์แสงอาทิตย์ ก่อให้เกิดค่าความต้านทานอนุกรม  $R_s$  (Parasitic series resistance) ในวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่กระแสรั่วรอบ ๆ ขอบของเซลล์ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในผิวของเซลล์ และตำหนิที่เกิดจากการเชื่อมต่อหน้าสัมผัสก่อให้เกิดค่าความต้านทานขนาน  $R_p$  (Parasitic parallel resistance) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ [5]

กระแสที่ไหลผ่านไดโอดในรูปที่ 2.6 สามารถอธิบายด้วยสมการไดโอดต่อไปนี้

$$I_d = I_o \left[ \exp\left(\frac{qV_j}{AkT_{cell}}\right) - 1 \right] \tag{2.3}$$

โดยที่  $I_o$  คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse saturation current)

$q$  คือ ประจุของอิเล็กตรอน

$V_j$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็น

$k$  คือ ค่าคงที่ของโบลท์ซมันน์

$T_{cell}$  คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ในหน่วยเคลวิน

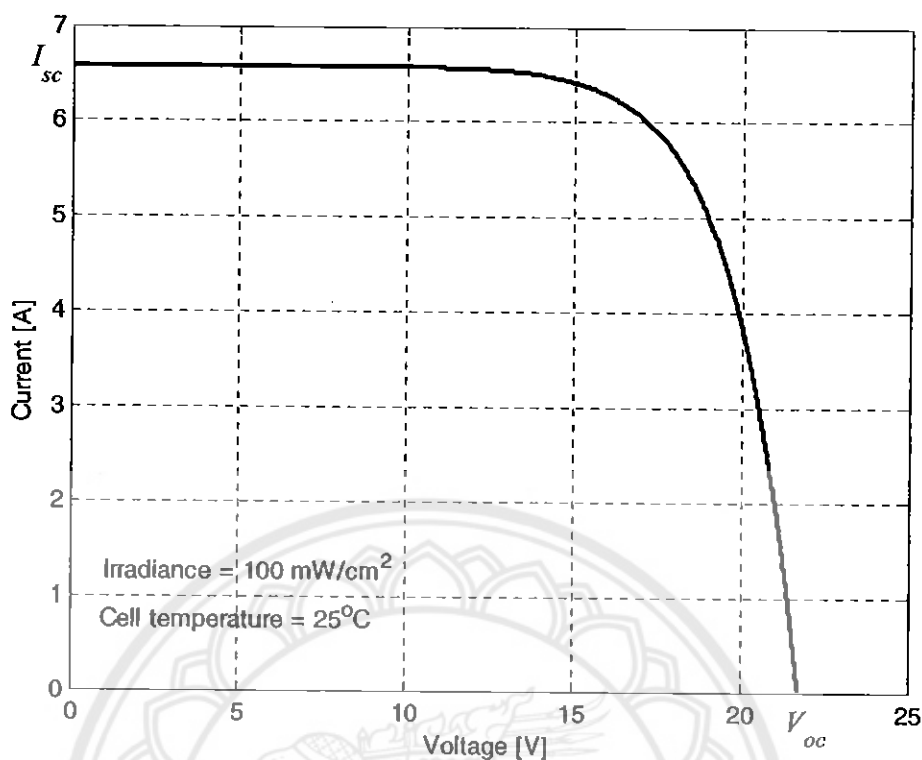
$A$  คือ ค่าความสมบูรณ์ของรอยต่อพีเอ็น

เราสามารถเขียนสมการของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์  $I_{cell}$  ได้ดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_o \left[ \exp\left\{\frac{q}{AkT_{cell}}(V_{cell} + R_s I_{cell})\right\} - 1 \right] - \left(\frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{R_p}\right) \tag{2.4}$$

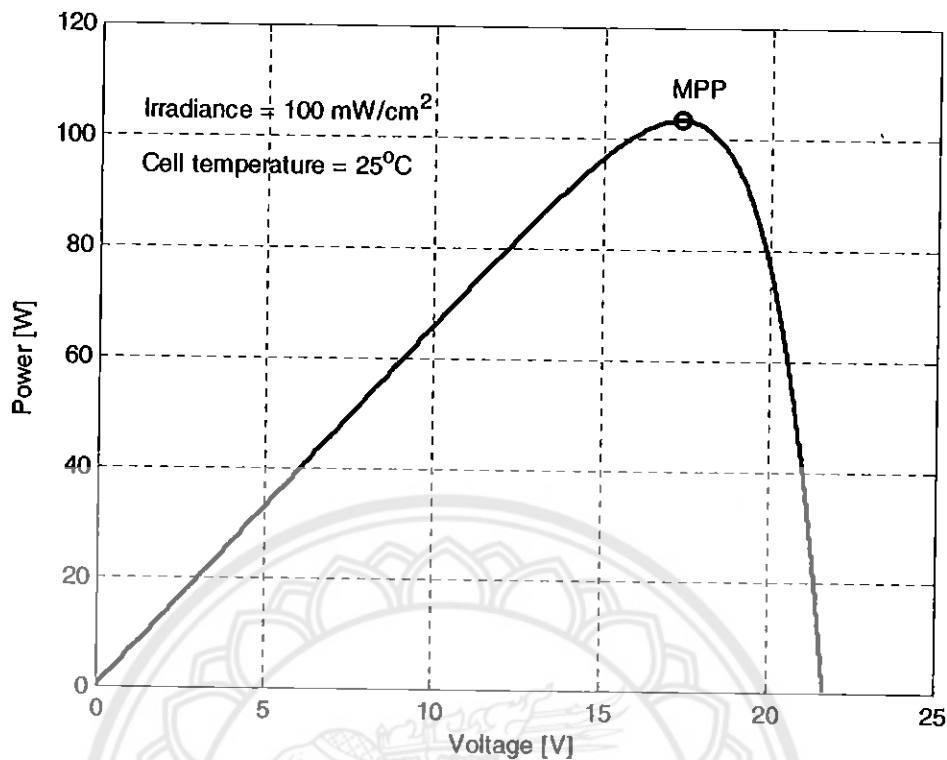
### 2.1.8 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์

ลักษณะเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์หนึ่ง ๆ สามารถแสดงได้รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ภายใต้สภาพอากาศหนึ่ง ๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังด้านออกสูงสุดเมื่อทำงานที่จุดกำลังสูงสุด โดยเราสามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของแผงได้จากผลคูณของกระแสและแรงดันของแผงจากรูปที่ 2.7 เราสามารถสร้างเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันของแผงได้ดังรูปที่ 2.8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์สร้างกระแสสูงสุดเท่ากับค่ากระแสลัดวงจร (Short-circuit current,  $I_{sc}$ ) เมื่อแรงดันของแผงมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งที่จุดนี้จะไม่มีกำลังด้านออกเนื่องจากผลคูณของกระแสกับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ ในทางกลับกัน ค่ากระแสด้านออกของแผงมีค่าเป็นศูนย์เมื่อแรงดันของแผงมีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจร (Open-circuit voltage,  $V_{oc}$ ) ทำให้กำลังด้านออกมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน อย่างไรก็ตามระหว่างจุดทั้งสองดังกล่าว กำลังด้านออกของแผงมีค่ามากกว่าศูนย์ จากรูปที่ 2.8 จุดกำลังสูงสุดแสดงด้วยวงกลมเล็ก



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

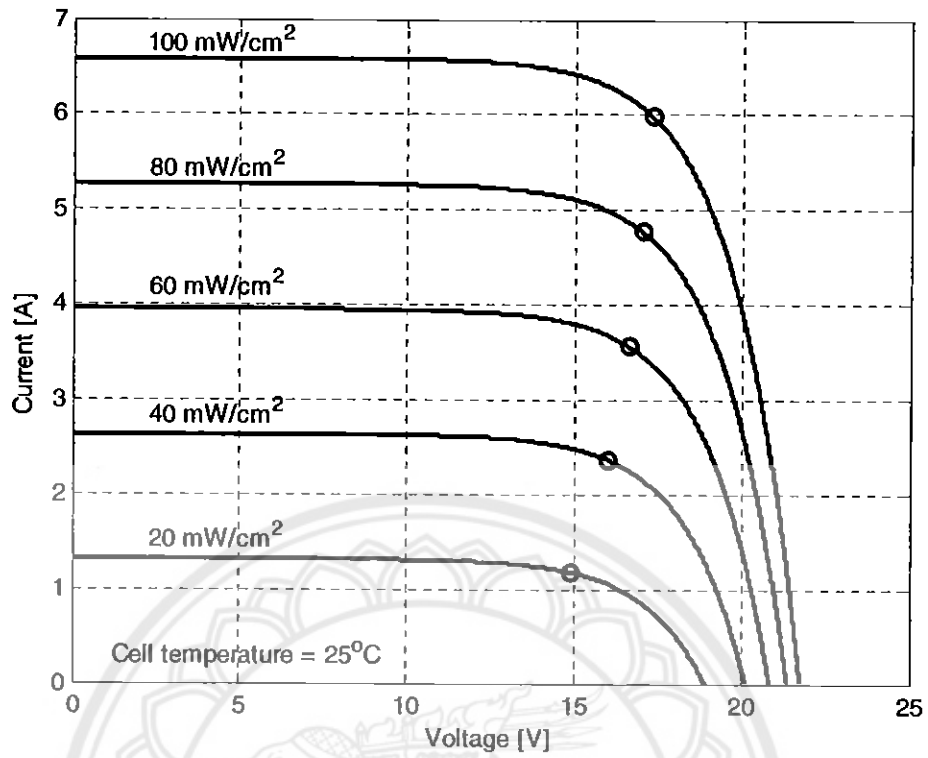
### 2.1.9 ผลของความเข้มแสงต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 กระแสไฟโต้ เปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นกับค่าความเข้มแสงเมื่ออุณหภูมิของเซลล์คงที่ ดังนั้นค่ากระแสเปิดวงจรจึงแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง

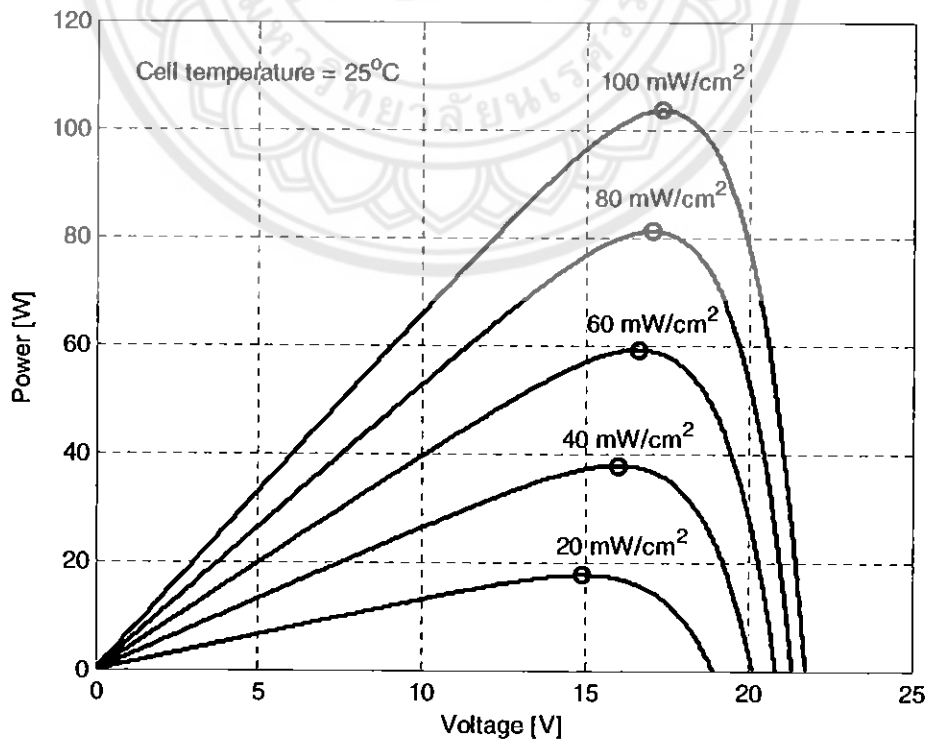
ภายใต้เงื่อนไขการเปิดวงจร (เมื่อไม่พิจารณาความต้านทานขนาน)

$$V_{oc} = \frac{n_s A k T_{cell}}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (2.5)$$

สมการ (2.5) แสดงให้เห็นว่าในขณะที่กระแสไฟโต้ แปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง แรงดันเปิดวงจรจะแปรผันเป็นฟังก์ชันลอการิทึม เส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันที่สัมพันธ์กับรูปที่ 2.9 แสดงได้ดังรูปที่ 2.10 โดยจะเห็นได้ชัดว่ากำลังด้านออกของแผงมีค่าลดลงตามความเข้มแสง



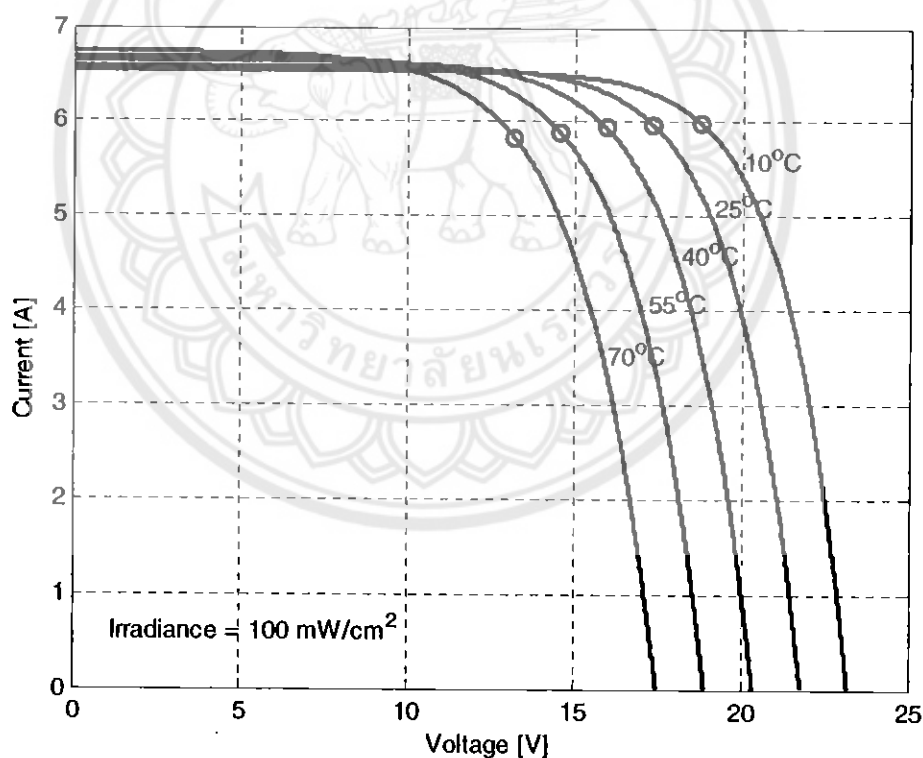
รูปที่ 2.9 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน



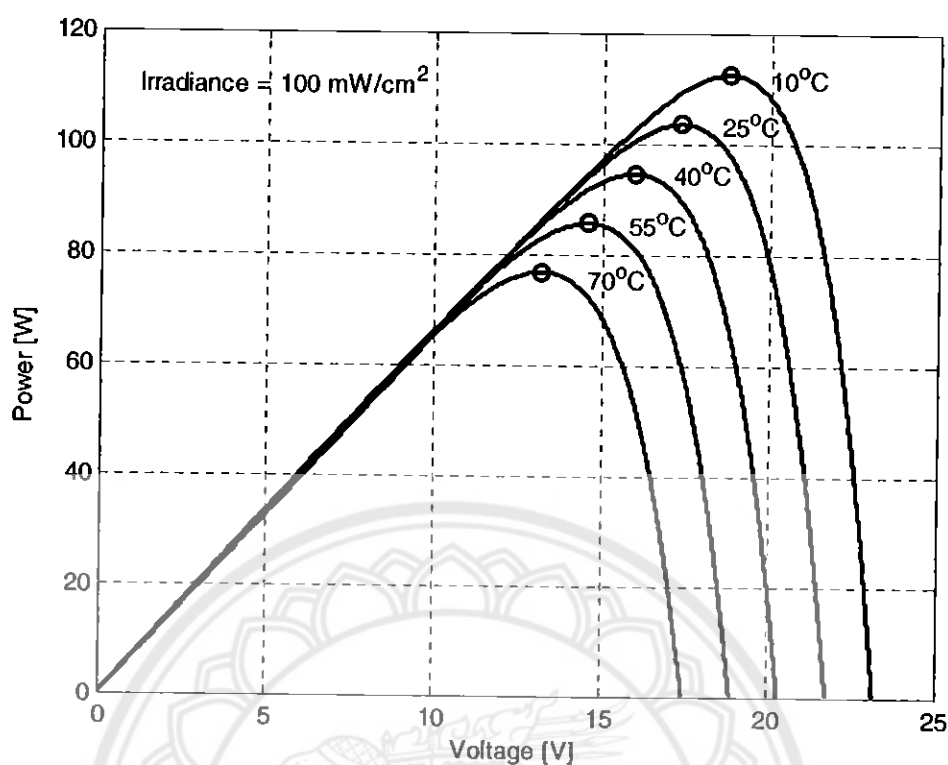
รูปที่ 2.10 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน

### 2.1.10 ผลของอุณหภูมิต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 2.11 แสดงเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันสำหรับค่าอุณหภูมิของเซลล์ที่แตกต่างกัน กระแสโฟโตนิกมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเนื่องจากแถบช่องว่างพลังงานแคบลงและระยะแพร่ของประจุพาหะมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเซลล์ส่งผลให้กระแสลัดวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ประมาณ  $0.07\%/^{\circ}\text{C}$  สำหรับเซลล์ที่ทำจากซิลิกอน) ในทางตรงกันข้าม แรงดันเปิดวงจรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างมาก การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้กระแสอิ่มตัวย้อนกลับเพิ่มขึ้นอย่างมาก และช่องว่างแถบพลังงานแคบลง ส่งผลให้แรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลง [18, 19] จากการแสดงให้เห็นใน [18] แรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลงตามอุณหภูมิในลักษณะค่อนข้างเชิงเส้นในอัตราประมาณ  $0.4\%/^{\circ}\text{C}$  สำหรับเซลล์ที่ทำจากซิลิกอน [3] ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าอุณหภูมิมิผลอย่างมากต่อค่ากำลังด้านออกที่ระดับแรงดันสูงกว่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด [5]



รูปที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน



รูปที่ 2.12 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน

### 2.1.11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ

เราใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ Suntech รุ่น STP010S-12/kb มีคุณสมบัติดังนี้ คือ

Cell: Mono Crystalline Silicon

Dimension (mm): 310×366×18

Weight: 1.5 kg

No. of cells and connections 36 (4×9)

Open circuit voltage (Voc) 21.6 V

Optimum operating voltage (Vmp) 17.2 V

Short circuit current (Isc) 0.66 A

Optimum operating current (Imp) 0.58 A

Maximum power at STC (Pm) 10 Wp

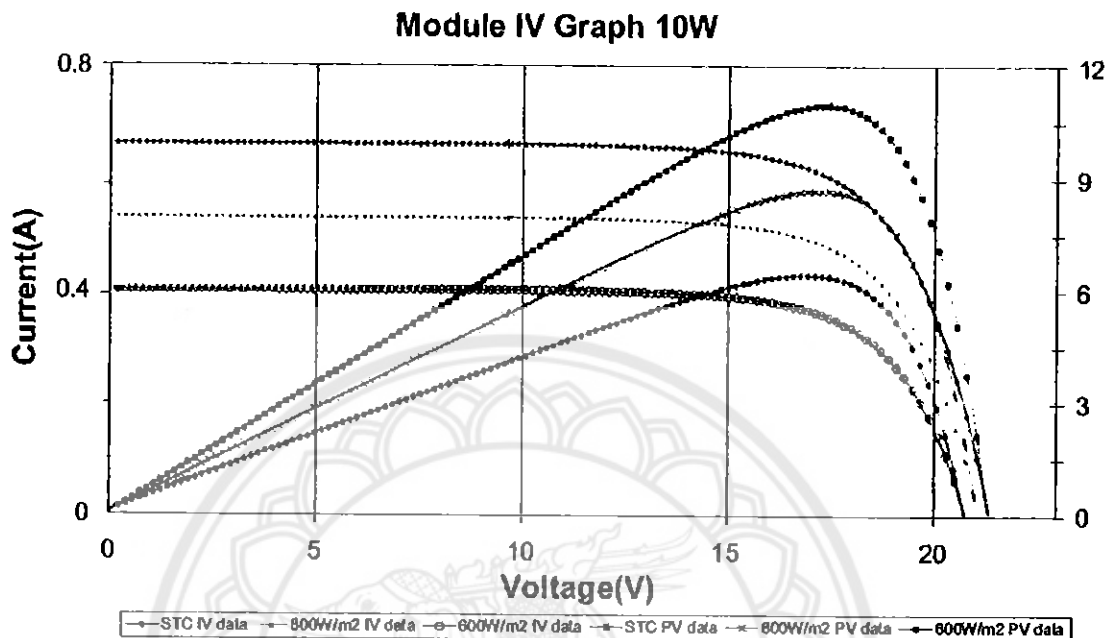
Operating temperature -40 to +80°C

Maximum system voltage 715 VDC

หมายเหตุ STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Module temperature 25°C, AM=1.5



กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแส รวมทั้งกราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน ไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP010S-12/kb แสดงได้รูปที่ 2.13

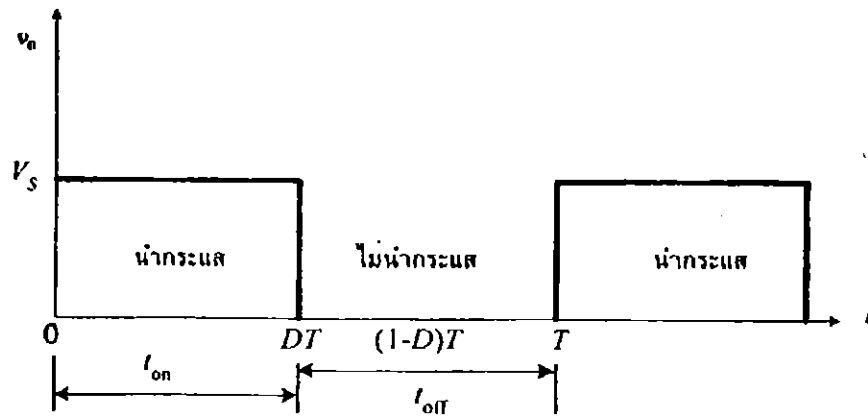


รูปที่ 2.13 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแส และแรงดัน-กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

## 2.2 วงจรทอนระดับแรงดัน

ก่อนจะเข้าถึงเนื้อหาของวงจรทอนระดับแรงดันจะพูดถึงหลักการสำคัญของการทำงาน วงจรสวิตซ์ ซึ่ง เช่น มอสเฟต หรือ ไอจีบีที ที่จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ มีโหมดการทำงาน คือ โหมดนำกระแส และ โหมดหยุดนำกระแส มีหลักการทำงานดังนี้ คือ

ขณะที่สวิตซ์นำกระแสแรงดันด้านออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และขณะที่ สวิตซ์ไม่นำกระแส แรงดันด้านออกจะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยที่ช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุด นำกระแสจะได้สัญญาณแรงดันด้านออกเป็นพัลส์ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งสามารถหาค่าของแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงด้านออกได้จากสมการที่ (2.6)



รูปที่ 2.14 แรงดันด้านออก [2]

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D \quad (2.6)$$

จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะถูกควบคุมได้จากการปรับค่าตัวชี้เซลล์ ซึ่ง  $D$  หมายถึง อัตราส่วนของช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตช์ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.7)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$t_{on} = DT \quad \text{และ} \quad t_{off} = (1-D)T$$

โดยที่  $t_{on}$  คือ ช่วงเวลาที่นำกระแส

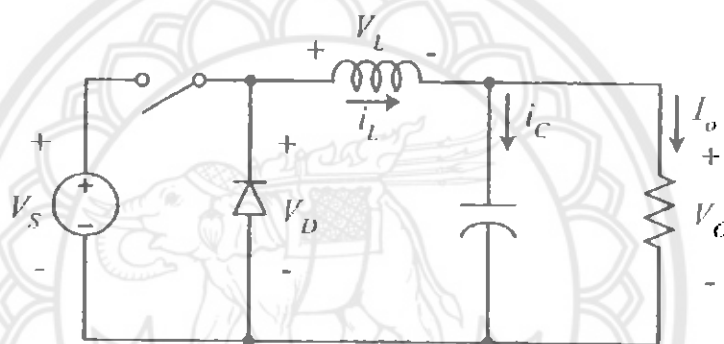
$t_{off}$  คือ ช่วงเวลาที่ไม่นำกระแส

$T$  คือ เวลาหนึ่งคาบ

การกำหนดค่า  $D$  นิยมบอกเป็นสองลักษณะ คือเป็นเลขเต็มหนึ่งและบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ขณะที่บอกเป็นเลขเต็มหนึ่ง ค่าต่ำสุดของ  $D$  คือศูนย์ และค่าสูงสุดคือหนึ่ง ขณะที่บอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าต่ำสุดคือศูนย์เปอร์เซ็นต์ และค่าสูงสุดคือหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

### 2.2.1 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน

วงจรทอนระดับแรงดัน คือ วงจรที่ทำให้ระดับด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และเพื่อให้แรงดันด้านออกที่มีความเป็นกระแตรงมากๆจะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ(Low pass filter) ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่ แสดงวงจรได้ดังรูปที่ 2.15

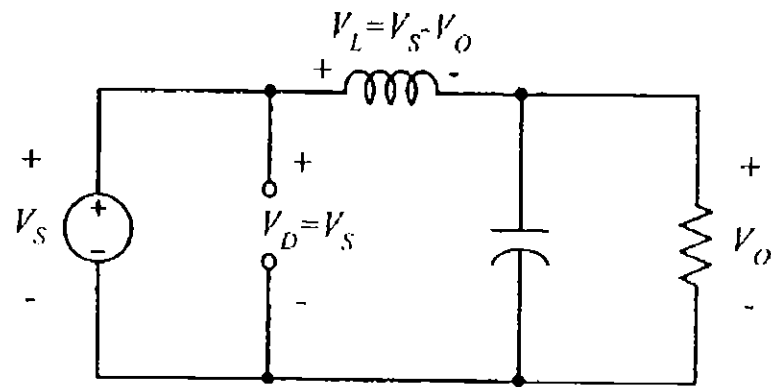


รูปที่ 2.15 วงจรทอนระดับแรงดัน [2]

หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันเพื่อจะออกแบบให้ได้แรงดันด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บอยู่ที่ตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 2.16 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับแรงดัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส [2]

$$\begin{aligned}
 -V_s + V_L + V_o &= 0 \\
 V_L &= V_s - V_o
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

เนื่องจาก  $V_L = L \frac{di_L}{dt}$  จักรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}
 \tag{2.9}$$

$dt$  ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ  $dt = DT$

$$\Delta i_{L,on} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT
 \tag{2.10}$$

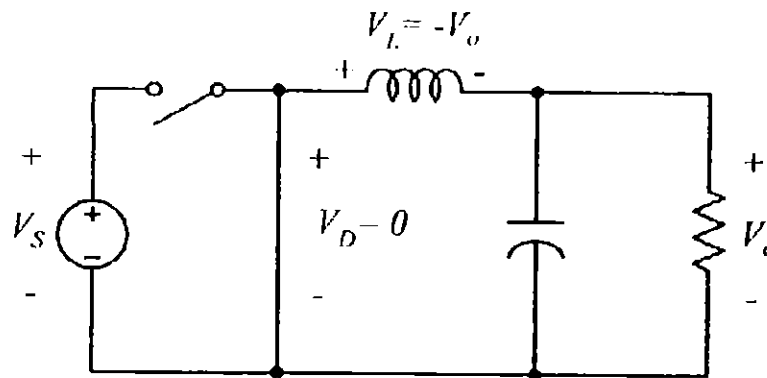
ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสไดโอดจะถูกไบแอสไปข้างหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.17 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับแรงดัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

1๗๗2๑129

นร.

๒๕๖๓

๒๕๖๒



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส [2]

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.11)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.12)$$

ความหมายของสมการที่ (2.12) คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำจะค่อยๆ ลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสของตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

$dt$  ในกรณีนี้อยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแส คือ  $dt = (1-D)T$  ดังนั้น สมการสามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.13)$$

### 2.2.2 การหาอัตราขยายของแรงดัน

ในสภาวะอยู่ตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์นำกระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.14)$$

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT + \left(-\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T\right) = 0 \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{V_s - V_0}{L}\right)DT - \left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T &= 0 \\ (V_s - V_0)D - V_0(1-D) &= 0 \\ V_s D - V_0 D - V_0 + V_0 D &= 0 \\ \frac{V_0}{V_s} &= D \end{aligned} \quad (2.16)$$

อัตราขยายแรงดันจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100% ตามค่า  $D$  วงจรทอนระดับแรงดันเป็นวงจรที่ทำให้แรงดันด้านออกน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า  $D$  โดยการปรับค่า  $D$  สามารถปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง เช่น แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับ 100 V เราสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าออกได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึง 100 V แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถปรับค่าได้ถึง 100 V เพราะเกิดแรงดันตกคร่อมสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำทำให้แรงดันด้านออกที่ได้จริงมีค่าน้อยกว่า 100 V เล็กน้อย

### 2.2.3 ค่าความพลิวของแรงดันด้านออก

โดยปกติวงจรรองความถี่ที่อยู่ในวงจรทอนระดับแรงดันจะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากเพื่อรักษาแรงดันด้านออกมีค่าคงที่ แต่ในทางปฏิบัติจะเลือกขนาดได้ไม่ใหญ่มากเนื่องจากมีราคาแพง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้น้ำหนักที่เหมาะสมและให้ค่าความพลิวของแรงดันด้านออกมีค่าที่ยอมรับได้ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 2.18

เมื่อกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุสะสมประจุโดยคำนวณจาก

$$Q = CV_0 \quad (2.17)$$

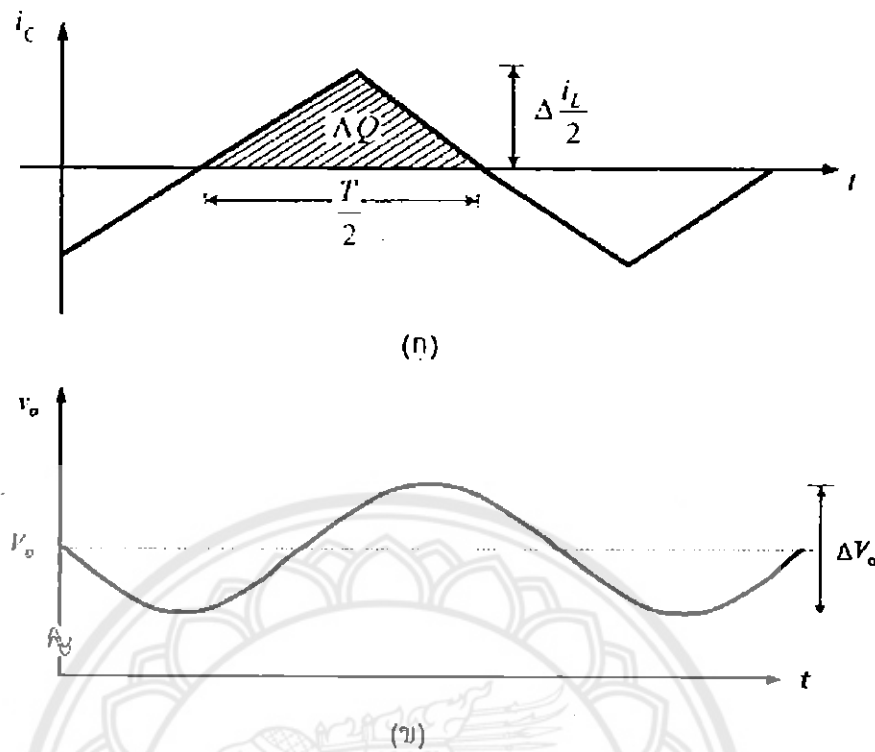
$$\Delta Q = C\Delta V_0$$

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.18)$$

เมื่อ  $\Delta Q$  คือ ค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ

$\Delta V_0$  คือ ค่าความพลิวของแรงดันด้านออกที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆระหว่างขดถึง

ขด



รูปที่ 2.18 รูปคลื่นการทำงานของวงจร (ก) กระแสตัวเก็บประจุ (ข) ระลอกคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ [2]

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \frac{T}{2} \right) \left( \frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8} \quad (2.19)$$

โดย  $\Delta Q$  คือ พื้นที่สามเหลี่ยมที่เกิดจากกระแสตัวเก็บประจุคูณกับเวลานำสมการที่ (2.19) แทนลงในสมการที่ (2.18) จะได้

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.20)$$

แทนค่า  $\Delta i_{L,off} = -\left( \frac{V_o}{L} \right) (1-D)T$  โดยพิจารณาเฉพาะขนาด ลงในสมการที่ (2.20)

$$\Delta V_o = \frac{T}{8C} \frac{V_o}{L} (1-D)T \quad (2.21)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{T}{8C} \frac{1}{L} (1-D)T$$

$$\Delta V_o = \frac{T^2}{8C} \frac{1}{L} (1-D) \quad (2.22)$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8CLf^2} \quad (2.23)$$

สมการที่ (2.23) เรียกว่า ค่าความพลัว มักใช้แสดงเป็นอัตราส่วนของความพลัวแรงดัน ด้านออกระหว่างยอดถึงยอดกับค่าแรงดันด้านออก หากต้องการทำให้อัตราความพลัวของ แรงดันไฟฟ้ามีน้อยลง สามารถทำได้โดยการพยายามทำให้ค่า  $D$  มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง หรืออาจจะ เพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุหรือความถี่ในการสวิตชิงให้มากขึ้น

ประเด็นที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังจะเท่ากับ กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เงื่อนไขนี้คือสมมติการสูญเสียเป็นศูนย์จะได้ว่า

$$P_s = P_o \quad (2.24)$$

เมื่อ  $P_s$  คือ กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง  
 $P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลด

$$V_s I_s = V_o I_o \quad (2.25)$$

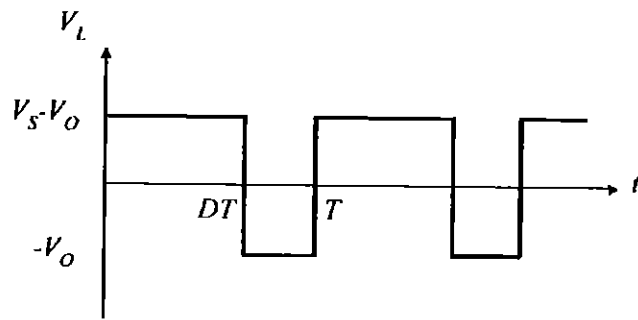
จากสมการที่ (2.25) จะเห็นความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสไฟฟ้าเหมือนกับกรณี หม้อแปลงไฟฟ้า จึงอาจกล่าวได้ว่า วงจรทอนระดับแรงดันมีวงจรสมมูลเปรียบได้กับหม้อแปลง ไฟฟ้ากระแสตรง

#### 2.2.4 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดในวงจรทอนระดับแรงดัน

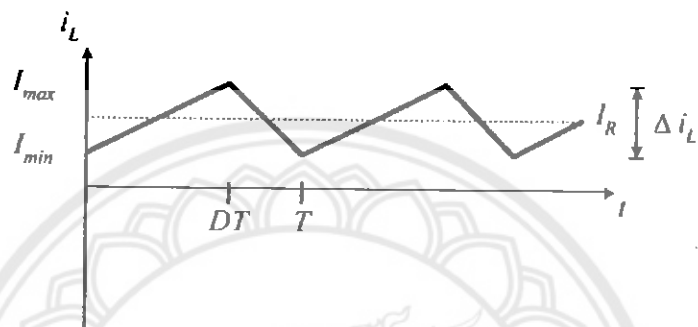
การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่จะทำให้วงจรทอนระดับแรงดันทำงานในโหมด นำกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหาค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแส เฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่าน ตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.26)$$

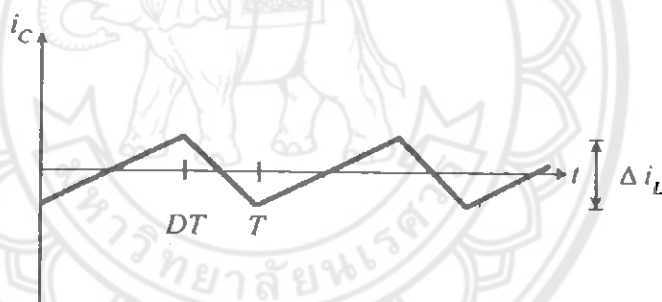




(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.19 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

จากรูปที่ 2.19 จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \tag{2.27}$$

หรือเขียนสมการให้ง่ายขึ้นได้ดังนี้

$$I_{L,\max} = V_0 \left[ \frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.28)$$

ดังนั้นกระแสตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$I_{L,\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_0}{R} - \frac{1}{2} \left[ \frac{V_0}{L} (1-D) T \right] \quad (2.29)$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2} \left[ \frac{[(1-D)T]}{L} \right]$$

$$I_{L,\min} = V_0 \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.30)$$

เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต้องมีค่าเป็นบวกเสมอ สมการที่ (2.30) สามารถนำมาใช้หาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่สวิตชิง และหาก  $I_{L,\min}$  เท่ากับศูนย์พอดี คือเป็นช่วงต่อระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

$$I_{L,\min} = V_0 \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0 \quad (2.31)$$

$$\left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0$$

$$\frac{1}{R} = \frac{(1-D)}{2Lf}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2Lf} \quad (2.32)$$

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{\min}} \quad (2.33)$$

สมการที่ (2.31) ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรยังสามารถทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง ซึ่งจะได้อ่าค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ดังสมการที่ (2.32) ดังนั้นหากต้องการจะออกแบบให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด โดยที่วงจรยังทำงานใน โหมดกระแสต่อเนื่อง ก็จะสามารถเลือกออกแบบได้สองแนวทาง คือกรณีที่หนึ่งการพยายามทำให้เศษในสมการที่ (2.32) มีค่าน้อยที่สุด โดยการทำให้ค่า  $D$  มีค่าเข้าใกล้หนึ่งทำให้โหลด  $R$  มีค่าน้อยๆ แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้น คือกระแสโหลดจะมีค่าสูง ส่วนอีกกรณีหนึ่งพยายามทำให้ค่าส่วนหรือต้องการ ในสมการที่ (2.32) มีค่ามาก ๆ เช่น ความถี่ในการสวิตช์เพิ่มขึ้นจาก 50 kHz เป็น 100 kHz ก็จะทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบเล็กลงสองเท่าได้เช่นกัน ส่วนสมการที่ (2.33) ใช้สำหรับการพิจารณาหาความถี่ในการสวิตช์ที่เหมาะสม เมื่อตัวเหนี่ยวนำถูกกำหนดค่าความเหนี่ยวนำ [6]

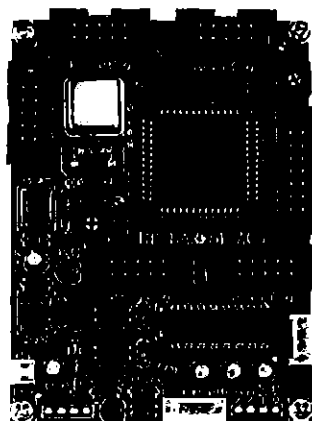
## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้อยู่ในตระกูล MCS51 ขนาด 52 Pin ซึ่งเลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89C51AC3 ของ ATMEL เป็น MCU ประจําบอร์ด โดย MCU รุ่นนี้จะบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ 52 Pin PLCC โดย MCU ตัวนี้จะมีจุดเด่น คือเรื่องของความเร็วในการประมวลผลซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยควมถี่สูงสุด 60 MHz ที่ 12 Clock/1 Machine Cycle นอกจากนี้แล้วยังมีความเพียบพร้อมด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 2 ไบต์ หรือหน่วยความจำใช้งานแบบ RAM ซึ่งมีมากถึง 2304 ไบต์ (2048+256)

ส่วนในด้านของอุปกรณ์ประกอบ (Peripheral) นั้นก็นับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลได้เป็นอย่างดี โดยจะมีทั้ง SPI, UART, Watchdog, Timer/Counter, PWM และ ADC โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องขนาดของบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

### 2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข AT89C51AC3

เราเลือกใช้ MCU ตระกูล MCS51 หมายเลข AT89C51AC3 (รูปที่ 2.20) ของ ATMEL เป็น MCU ประจําบอร์ด โดยการเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่เป็นแบบ Oscillator Module ค่า 29.4912 MHz ซึ่งสามารถกำหนดการทำงานของ MCU ให้ทำงานในโหมดความเร็ว 2 เท่าได้ ทำให้ MCU สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 MHz [7]



รูปที่ 2.20 ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89C51AC3

คุณสมบัติเด่นของ MCU ได้แก่

- มีหน่วยความจำแบบแฟลชสำหรับเขียน โปรแกรมขนาด 64 กิโลไบต์
- มี EEPROM ขนาด 2 กิโลไบต์ สำหรับเก็บข้อมูล และสามารถเขียนซ้ำได้กว่า 1 ล้านครั้ง
- มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต จำนวน 5 พอร์ต (P0, P1, P2, P3 และ P4)
- มี RAM ใช้งาน 2304 ไบต์ (ERAM 2048 ไบต์ + IRAM 256 ไบต์)
- มีวงจรสื่อสารอนุกรม UART จำนวน 1 พอร์ต และมีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 พอร์ต
- มีวงจร Timer/Counter ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ชุด
- มีวงจร ADC ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่อง (ใช้พอร์ต P1 โดยกำหนดจากโปรแกรม)
- มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, Capture/Compare และ PWM
- มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ TTL แบบ Header 2×5 จำนวน 5 ชุด (P0, P1, P2, P3 และ P4)
- มีขั้วต่อ LCD แบบ Header 2×7 รองรับการเชื่อมต่อกับ LCD Character (เชื่อมต่อแบบ 4 Bit)
- มีขั้วต่อใช้งาน RS232 สำหรับใช้งาน และ ET-DOWNLOAD สำหรับดาวน์โหลดผ่าน RS232
- มี LED แสดงสถานะแหล่งจ่ายไฟ และการทดสอบ (Self-Test) สำหรับใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ด
- ใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด +5 VDC
- ขนาด PCB เล็กเพียง 8×6 cm

## 2.4 การหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปการหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum Power Point Tracking :MPPT) เป็นสิ่งจำเป็นในระบบโฟโตโวลตาอิก ด้วยเหตุนี้ วิธีหาจุดกำลังสูงสุดจำนวนมากจึงถูกพัฒนาขึ้นและนำไปใช้ แต่ละวิธีจะมีความแตกต่างในด้านต่าง ๆ ความซับซ้อน การใช้เซ็นเซอร์ ความเร็ว ราคา ย่านการใช้งานที่มีประสิทธิภาพ การนำไปสร้างชิ้นงาน ความนิยมใช้ เป็นต้น ในความเป็นจริง วิธีต่าง ๆ ถูกพัฒนาขึ้นเป็นจำนวนมากจนยากที่จะบอกว่าวิธีใดเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก ปัญหาสำหรับการหาจุดกำลังสูงสุดคือการหาตำแหน่ง (ค่า) ของแรงดันหรือกระแสของแผงเซลล์อาทิตย์ที่ทำให้ได้กำลังด้านออกสูงสุดภายใต้ความเข้มแสงและอุณหภูมิที่กำหนด เป็นที่น่าสังเกตว่าภายใต้เงื่อนไขการเกิดเงาบางส่วน (Partial shading) บนแผงเซลล์อาทิตย์ อาจทำให้เกิดจุดกำลังสูงสุดหลายจุด แต่โดยส่วนใหญ่จะมีเพียงจุดเดียวที่เป็นจุดกำลังสูงสุดที่แท้จริง

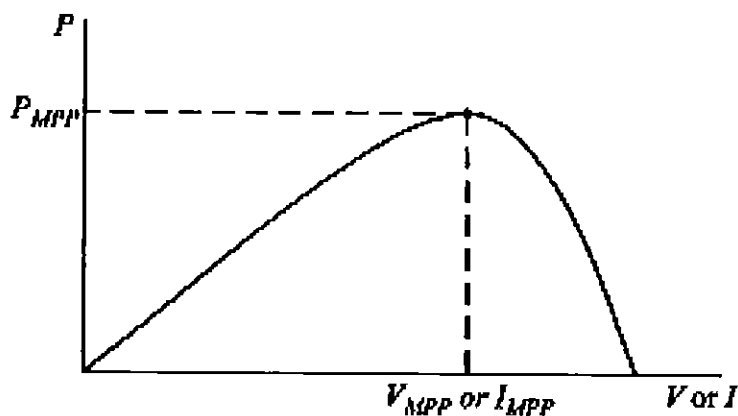
วิธีส่วนใหญ่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิ แต่บางวิธีจะได้ผลดีขึ้นถ้าอุณหภูมิคงที่ วิธีส่วนใหญ่ตอบสนองโดยอัตโนมัติต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของแผงเนื่องจากอายุการใช้งาน แต่บางวิธีจำเป็นต้องมีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เป็นระยะ ๆ เพื่อคงความแม่นยำ

### 2.4.1 วิธีการหาจุดกำลังสูงสุด

#### 2.4.1.1 วิธีปีนเนิน และวิธีพีแอนด์โอ

ผลงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่วิธีปีนเนิน (Hill-climbing technique) และวิธีพีแอนด์โอ (Perturb and Observe technique: P&O) วิธีปีนเนินอาศัยการขยับค่าตัวชี้วัดที่เปลี่ยนแปลงกำลัง (Power converter) ในขณะที่วิธีพีแอนด์โออาศัยการขยับค่า (Perturbation) ของแรงดันไฟฟ้าที่จุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับตัวแปลงกำลัง การปรับค่าตัวชี้วัดจะส่งผลให้แรงดันของแผงเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงถือได้ว่าวิธีปีนเนินและวิธีพีแอนด์โอ มีหลักการทำงานเดียวกัน

จากรูปที่ 2.21 ถ้าจุดทำงานของแผงอยู่ด้านซ้ายของจุดกำลังสูงสุด การเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) ของแรงดันไฟฟ้าทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) ในขณะที่ถ้าจุดทำงานของแผงอยู่ด้านขวาของจุดกำลังสูงสุด การลดลง (หรือเพิ่มขึ้น) ของแรงดันไฟฟ้าทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) ดังนั้นถ้ากำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น การขยับค่าแรงดันจะคงในทิศทางเดิมจนกระทั่งพบจุดกำลังสูงสุด แต่ถ้ากำลังไฟฟ้าลดลง การขยับค่าแรงดันจะกลับทิศทาง



รูปที่ 2.21 เส้นโค้งคุณลักษณะกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

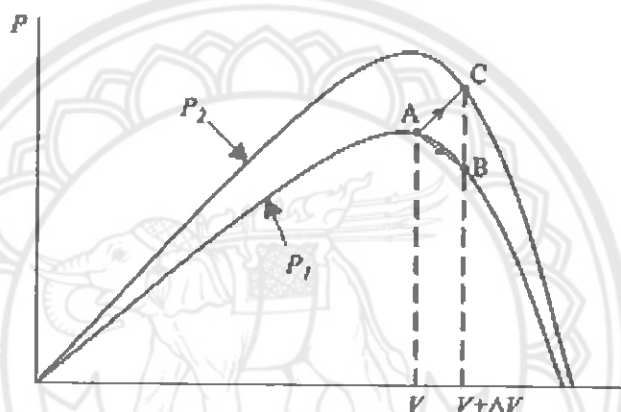
อัลกอริทึมนี้แสดงในตารางที่ 2.1 โดยจะเห็นว่าอัลกอริทึมนี้ยังคงใช้งานได้ในกรณีที่ใช้ค่าขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous value) ของกระแสหรือแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แทนที่จะเป็นค่าเฉลี่ย) ตราบใดที่การชักตัวอย่าง (Sampling) เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวในแต่ละคาบสวิตซิง (Switching cycle)

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปอัลกอริทึมของวิธีปีนเนิน และวิธีพีแอนด์โอ

การขยับค่า	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า	การขยับค่าถัดไป
บวก	บวก	บวก
บวก	ลบ	ลบ
ลบ	บวก	ลบ
ลบ	ลบ	บวก

กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำเป็นระยะ ๆ จนกระทั่งพบจุดกำลังสูงสุด หลังจากนั้นจุดทำงานจะแกว่งอยู่รอบ ๆ จุดกำลังสูงสุด เราสามารถทำให้การแกว่งลดลงได้โดยการลดขนาดในการขยับค่า (Perturbation step size) แต่จะเป็นลดความเร็วในการหาจุดกำลังสูงสุด วิธีแก้ไขวิธีหนึ่งคือการปรับขนาดในการขยับค่าให้มีขนาดเล็กลงเมื่อเข้าใกล้จุดกำลังสูงสุด [8] ในบทความ [9] ได้ใช้อัลกอริทึมสองช่วงเพื่อเพิ่มความเร็วในการค้นหาในช่วงแรก จากนั้นค้นหาจุดกำลังสูงสุดอย่างละเอียดในช่วงที่สอง

วิธีป็นเนินและวิธีพีแอนด์โอ อาจทำงานล้มเหลวในกรณีที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง  
 ฉับพลัน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 เริ่มจากจุดทำงาน A ถ้าสภาพอากาศค่อนข้างคงที่ (เปลี่ยนแปลงน้อย  
 มาก) การขยับค่า  $\Delta V$  ของแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ได้จุดทำงานใหม่คือจุด B และ  
 การขยับค่าจะกลับทิศเนื่องจากการลดลงของค่ากำลังด้านออก อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าความเข้มแสง  
 เพิ่มขึ้นและเลื่อนเส้น โคงกำลังจาก  $P_1$  ไปเป็น  $P_2$  ภายในหนึ่งคาบการซักรตัวอย่าง (Sampling) จุด  
 ทำงานจะย้ายจากจุด A ไปเป็นจุด C ซึ่งยังคงทำให้ได้กำลังด้านออกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การขยับ  
 ค่ายังคงไปในทิศทางเดิม ผลที่ตามมาคือ ถ้าความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จุดทำงานจะ  
 เคลื่อนที่ออกจากจุดกำลังสูงสุดที่แท้จริงไปเรื่อย ๆ [8]



รูปที่ 2.22 การลู่เข้าสู่จุดกำลังสูงสุดของวิธีป็นเนิน และวิธีพีแอนด์โอ [8]

บทความ [10] เสนอวิธีหาจุดกำลังสูงสุดภายใต้การเปลี่ยนแปลงฉับพลันของความเข้ม  
 แสงด้วยการเปรียบเทียบจุดทำงาน 3 จุด โดยเปรียบเทียบจุดทำงานปัจจุบันกับจุดทำงานสองจุดก่อน  
 หน้านี้ก่อนตัดสินใจว่าจะขยับค่าไปในทิศทางใด โดยปกติจะใช้เซ็นเซอร์สองตัวเพื่อวัดค่าแรงดัน  
 และกระแสของแผงเซลล์อาทิตย์ ซึ่งทำให้สามารถคำนวณค่ากำลังด้านออก แต่ในบางกรณียัง  
 สามารถใช้เซ็นเซอร์เพียงตัวเดียวเพื่อวัดค่าแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วใช้ค่าแรงดันที่วัด  
 ได้เพื่อประมาณค่ากระแสของแผงเซลล์อาทิตย์

#### 2.4.1.2 วิธีความนำเพิ่มขึ้น

วิธีนี้ใช้หลักการที่ว่า ความชันของเส้น โคงกำลังของแผงเซลล์อาทิตย์มีค่าเท่ากับศูนย์ที่จุด  
 กำลังสูงสุด มีค่าเป็นบวกถ้าจุดทำงานอยู่ด้านซ้ายของจุดกำลังสูงสุด และมีค่าเป็นลบถ้าจุดทำงานอยู่  
 ด้านขวาของจุดกำลังสูงสุด

$$\frac{dP}{dV} \begin{cases} = 0, & \text{at MPP} \\ > 0, & \text{left of MPP} \\ < 0, & \text{right of MPP} \end{cases} \quad (2.34)$$

เนื่องจาก

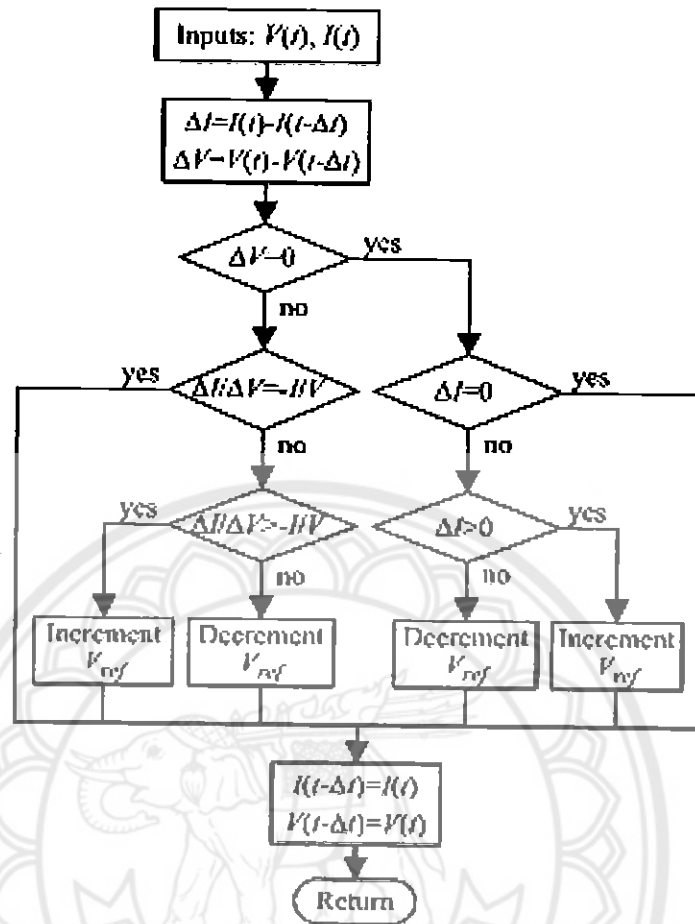
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.35)$$

เราสามารถเขียนสมการที่ (2.35) ได้ว่า

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} \begin{cases} = -\frac{I}{V}, & \text{at MPP} \\ > -\frac{I}{V}, & \text{left of MPP} \\ < -\frac{I}{V}, & \text{right of MPP} \end{cases} \quad (2.36)$$

ด้วยอัลกอริทึมนี้ เราสามารถหาจุดกำลังสูงสุด โดยเปรียบเทียบค่าความนำขณะใดขณะหนึ่ง  $I/V$  กับค่าความนำเพิ่มขึ้น  $\Delta I/\Delta V$  ดังแสดงในแผนภาพ ดังรูปที่ 2.23 แรงดัน  $V_{ref}$  คือแรงดันอ้างอิงที่เราต้องการให้เป็นจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จุดกำลังสูงสุด  $V_{ref}$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{MPP}$  ทันทีที่พบจุดกำลังสูงสุด การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกรักษาไว้ที่จุดนี้จนกว่าจะพบการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแส  $\Delta I$  ซึ่งบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ อัลกอริทึมจะลดหรือเพิ่มค่า  $V_{ref}$  เพื่อตามหาจุดกำลังสูงสุด ขนาดในการขยับค่าจะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหาจุดกำลังสูงสุด ถ้าการขยับค่ามีขนาดใหญ่จะเพิ่มความเร็วในการหาจุดกำลังสูงสุด แต่ท้ายสุดแล้วจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะแกว่งอยู่รอบ ๆ แทนที่จะอยู่ที่จุดกำลังสูงสุด





รูปที่ 2.23 อัลกอริทึมของการหาจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีความน่าเพิ่มขึ้น [8]

#### 2.4.1.3 วิธีเศษส่วนแรงดันวงจรเปิด

มีหลักการพื้นฐานมาจากความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างเชิงเส้นระหว่าง  $V_{MPP}$  กับ  $V_{oc}$  ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ

$$V_{MPP} \cong k_v \cdot V_{oc} \quad (2.37)$$

โดย  $k_v$  คือค่าคงที่ของการแปรผัน

เนื่องจากค่า  $k_v$  ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง เราจึงคำนวณหาค่า  $k_v$  ล่วงหน้า โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{MPP}$  กับ  $V_{oc}$  จากการทดลองกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สนใจที่ระดับความเข้มแสงและอุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยทั่วไป  $k_v$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71-0.78 หลังจากได้ค่า  $k_v$  แล้ว เราสามารถคำนวณหาค่า  $V_{MPP}$  ได้จากผลคูณในสมการที่ (2.37).

โดยมีการวัดค่า  $V_{oc}$  เป็นระยะ ๆ ด้วยการเปิดวงจรช่วงเวลาที่ชั่วของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคือทำให้เกิดกำลังสูญเสียในระหว่างที่เปิดวงจรเพื่อวัดค่า  $V_{oc}$  นอกจากนี้สมการที่ (2.37) เป็นเพียงการประมาณค่าเท่านั้น ทำให้จริง ๆ แล้วจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แทบจะไม่อยู่ที่จุดกำลังสูงสุด แต่ในการประยุกต์กับงานบางประเภท อัลกอริทึมนี้ก็เพียงพอต่อการใช้งาน แม้ว่าวิธีเศษส่วนแรงดันวงจรเปิดจะไม่ใช้การหาจุดกำลังสูงสุดที่แท้จริง แต่ก็ใช่วิธีที่ง่ายและราคาถูกในการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ใช้ไม่ได้กับกรณีที่เกิดเงาบางส่วน (มีจุดกำลังสูงสุดหลายจุด)

#### 2.4.1.4 วิธีเศษส่วนกระแสวงจรปิด

มีหลักการพื้นฐานมาจากความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างเชิงเส้นระหว่าง  $I_{MPP}$  กับ  $I_{sc}$  ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ

$$I_{MPP} \cong k_i \cdot I_{sc} \quad (2.38)$$

โดย  $k_i$  คือค่าคงที่ของการแปรผัน

ทำนองเดียวกับวิธีเศษส่วนแรงดันวงจรเปิด ค่า  $k_i$  ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง เราจึงคำนวณหาค่า  $k_i$  ล่วงหน้า โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{MPP}$  กับ  $I_{sc}$  จากการทดลองกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สนใจที่ระดับความเข้มแสงและอุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยทั่วไป  $k_i$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.78-0.92

โดยปกติการวัดค่า  $I_{sc}$  ในระหว่างที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานอยู่ จะใช้สวิทช์ที่เพิ่มเข้าไปในตัวแปลงกำลังเพื่อตัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะ ๆ แล้วใช้เซ็นเซอร์กระแสวัดค่า  $I_{sc}$  ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์และราคาของระบบ แต่ในกรณีของวงจรทระดับแรงดันเราสามารถใส่สวิทช์ของวงจรเพื่อตัดวงจรแผงได้ ข้อเสียของวิธีนี้คือ ในระหว่างที่วัดค่า  $I_{sc}$  จะทำให้กำลังด้านออกของแปลงลดต่ำลง นอกจากนั้นเรายังไม่สามารถหาจุดกำลังสูงสุดที่แท้จริงได้

#### 2.4.1.5 วิธีการควบคุมฟัซซี่ลอจิก

การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้การควบคุมฟัซซี่ลอจิกเป็นที่นิยมในการหาจุดกำลังสูงสุดในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดยทั่วไปฟัซซี่ลอจิกประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การฟัซซี่ฟิเคชัน (Fuzzification) การเทียบตารางกฎ (Rule base table lookup) และการดีฟัซซี่ฟิเคชัน (Defuzzification) ในระหว่างการฟัซซี่ฟิเคชัน ตัวแปรอินพุตที่เป็นตัวเลข (Numerical input variables) จะถูกเปลี่ยนเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic variables) โดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันสมาชิก อินพุตของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกสำหรับการหาจุดกำลังสูงสุดมักจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) และการ

เปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด ผู้ใช้สามารถเลือกวิธีการคำนวณหาค่าผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด ทั้งนี้ที่คำนวณค่าผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดได้และถูกเปลี่ยนเป็นตัวแปรภาษาแล้ว เอาท์พุทของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกซึ่งมักจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของค่าควิต์ไอเซลล์ของตัวแปลงกำลังจะถูกเทียบหาจากในตารางกฎ (Rule base table)

ในขั้นตอนของการดีฟัซซี่ฟิเคชัน เอาท์พุทของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกจะถูกเปลี่ยนจากตัวแปรภาษาเป็นตัวแปรที่เป็นตัวเลข โดยยังคงใช้ฟังก์ชันสมาชิก ซึ่งจะได้สัญญาณอนาล็อกไปควบคุมตัวแปลงกำลังเพื่อหาจุดกำลังสูงสุด ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกมีข้อดีคือสามารถทำงานได้กับอินพุทที่ไม่แม่นยำ และไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แม่นยำ รวมทั้งสามารถรับมือกับความไม่แน่นอนเชิงเส้นได้ อย่างไรก็ตาม ความมีประสิทธิภาพของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกจะขึ้นอยู่กับความรู้ของผู้ใช้ในการออกแบบตารางกฎ (Rule base table)

#### 2.4.1.6 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

วิธีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เหมาะสมจะใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยปกติโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นอินพุต (Input layer) ชั้นที่ถูกซ่อน (Hidden layer) และ ชั้นเอาท์พุท (Output layer) จำนวนโนดในแต่ละชั้นอาจแตกต่างกันและถูกกำหนดโดยผู้ใช้ ในการวิธีโครงข่ายประสาทสำหรับการหาจุดกำลังสูงสุด ตัวแปรอินพุตอาจเป็นพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น  $V_{oc}$  และ  $I_{sc}$  ข้อมูลของสภาพอากาศ เช่น ความเข้มแสงและอุณหภูมิ ในขณะที่เอาท์พุทมักจะเป็นสัญญาณอ้างอิง (หนึ่งตัวหรือหลายตัว) เช่น ควิต์ไอเซลล์ ซึ่งใช้ขับตัวแปลงกำลังเพื่อให้ทำงานที่ (หรือใกล้เคียงกับ) จุดกำลังสูงสุด การที่จุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะใกล้เคียงกับจุดกำลังสูงสุดมากเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ใช้ในชั้นที่ถูกซ่อน และขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ป้อนให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนมากมีคุณลักษณะแตกต่างกัน เราจึงให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง และเนื่องจากการเปลี่ยนสภาพของแผงตามอายุการใช้งาน โครงข่ายประสาทเทียมจึงต้องเรียนรู้ข้อมูลใหม่เป็นระยะ ๆ เพื่อคงความแม่นยำในการหาจุดกำลังสูงสุด [8]

## บทที่ 3

### การสร้างวงจรการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการสร้างวงจรการทำงานในส่วนของวงจรทอนระดับแรงดัน และการออกแบบระบบควบคุมในการหาจุดกำลังสูงสุด โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นควบคุมการทำงาน

#### 3.1 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน

##### 3.1.1 ขั้นตอนการสร้างวงจร

วัตถุประสงค์ของการใช้วงจรทอนระดับแรงดันในโครงการนี้เพื่อควบคุมจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ที่จุดกำลังสูงสุด โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณควบคุมสวิทช์ให้น้ำหรือไม่น้ำกระแสเพื่อให้แรงดันด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับค่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด

ก) ออกแบบวงจรทอนระดับแรงดัน และจัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้

ข) ต่อวงจรตามแบบที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบมา โดยการต่อวงจรเข้ากับแผ่นโปรโตบอร์ด (Protoboard) และในการควบคุมมอสเฟตเบื้องต้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มเข้าที่ขาเกต (Gate) ของมอสเฟต (MOSFET) เพื่อควบคุมค่าดีวีไอซ์เกิด

ค) ใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) วัดค่าแรงดันด้านด้านออก

ง) ทดสอบการทำงานของวงจร โดยวัดค่ากระแส, แรงดัน, และกำลังด้านออก

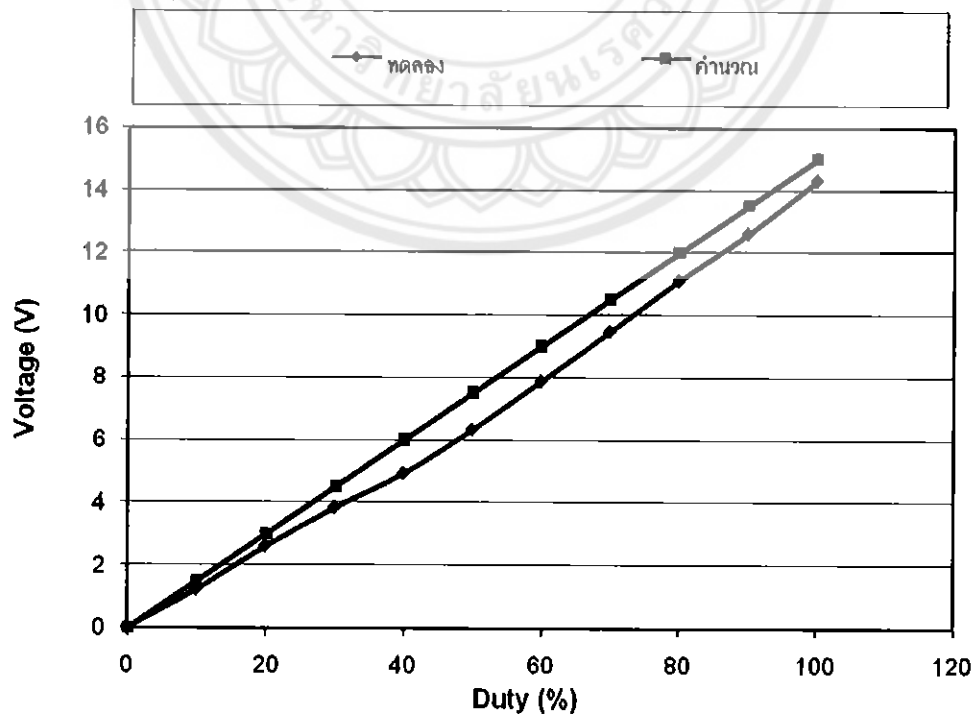
จ) บันทึกผล และสรุปผลการทดสอบที่ได้

##### 3.1.2 การทดสอบการทำงานของวงจร

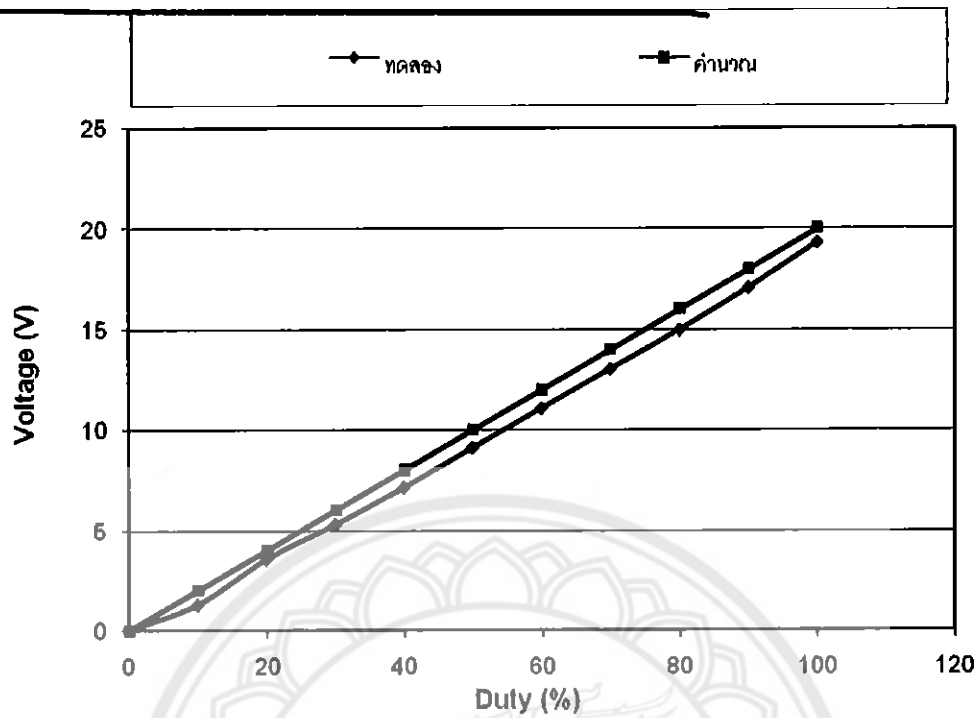
ตอนที่ 1 ทำการปรับค่าดีวีไอซ์เกิดตั้งแต่ 0 ถึง 100% แล้วทำการวัดค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับ โดยที่ทำการปรับตั้งค่าแรงดันด้านเข้ามีค่าคงที่ 15 และ 20 V ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 และนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แรงดันค้ำดันออกของวงจรทอนระดับแรงดันในการทดลองตอนที่ 1

Duty (%)	$V_{out}$			
	$V_{in} = 15 \text{ V}$		$V_{in} = 20 \text{ V}$	
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
0	0	0	0	0
10	1.21	1.5	1.26	2
20	2.59	3	3.54	4
30	3.82	4.5	5.26	6
40	4.92	6	7.11	8
50	6.32	7.5	9.1	10
60	7.87	9	11.07	12
70	9.46	10.5	13.02	14
80	11.1	12	14.97	16
90	12.6	13.5	17.06	18
100	14.3	15	19.3	20



รูปที่ 3.1 กราฟแรงดันค้ำดันออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันค้ำดันเข้า 15 V

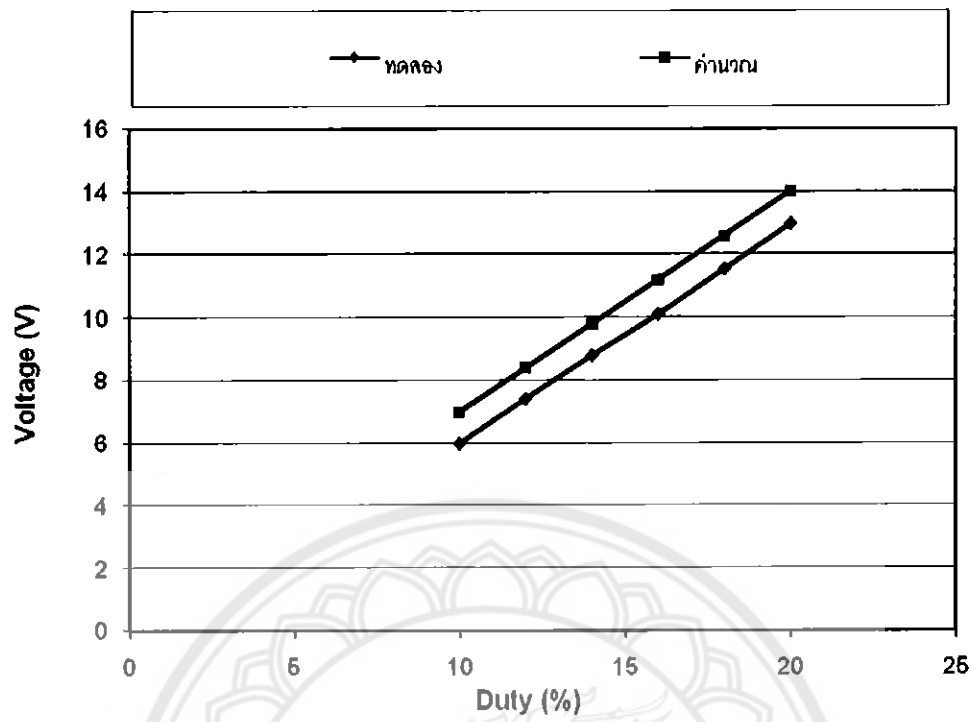


รูปที่ 3.2 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V

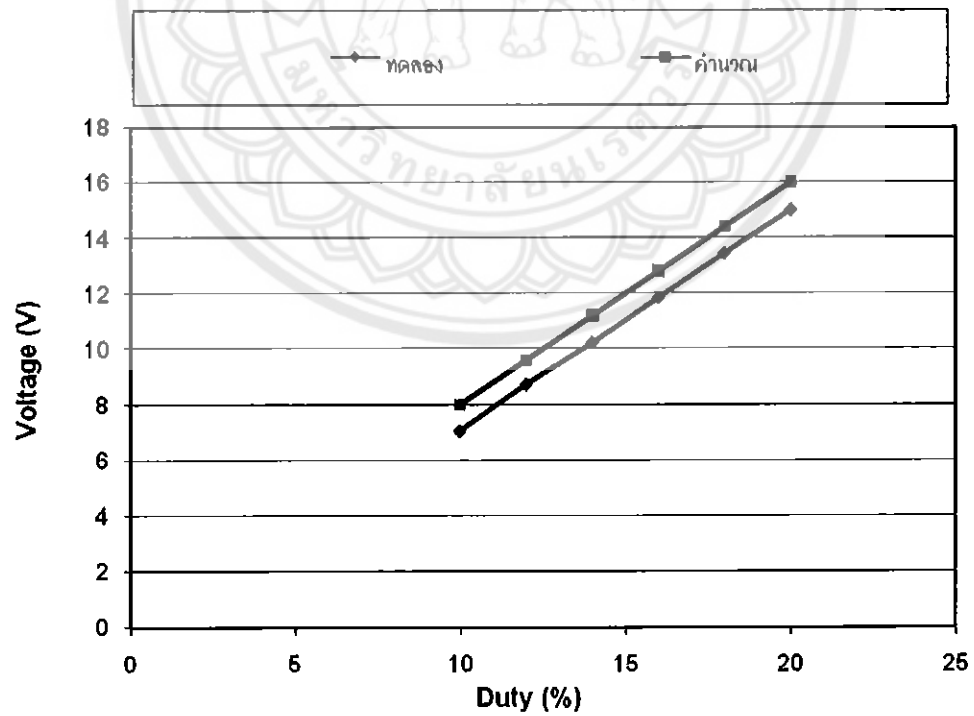
ตอนที่ 2 ปรับค่าแรงดันด้านเข้าตั้งแต่ 10 ถึง 20 V แล้วทำการวัดค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน โดยที่ปรับค่าควิตซ์ไฟที่ 70 และ 80% ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.2 และนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 แรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันในการทดลองตอนที่ 2

$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)			
	Duty = 70%		Duty = 80%	
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
10	5.98	7	7.04	8
12	7.41	8.4	8.72	9.6
14	8.79	9.8	10.21	11.2
16	10.1	11.2	11.83	12.8
18	11.54	12.6	13.42	14.4
20	12.97	14	14.97	16



รูปที่ 3.3 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรถอนระดับแรงดัน ที่ค่าดีวตีไซเคิล 70%



รูปที่ 3.4 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรถอนระดับแรงดัน ที่ค่าดีวตีไซเคิล 80%

จากผลการทดลองที่ได้ในตอนที่ 1 และ 2 นำค่าแรงดันด้านออกของวงจรถอนระดับแรงดัน แล้วนำมาวาดกราฟแสดงผลที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณ แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 ถึงรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า กราฟที่ได้จากการทดลองทั้งสองตอนมีค่าแรงดันด้านออกต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดป้องกันกระแสย้อนกลับ แรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรถอนระดับแรงดัน

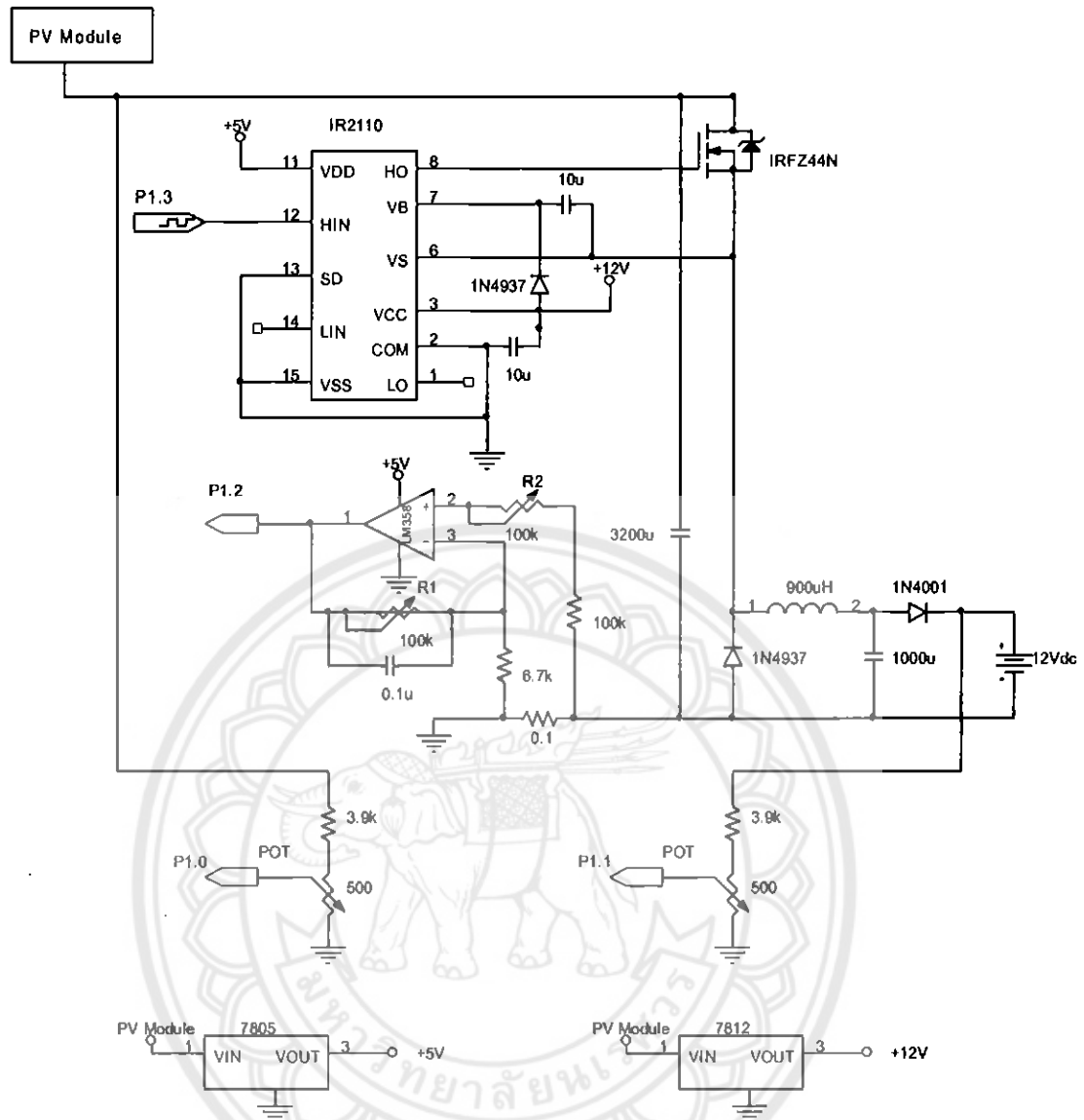
### 3.2 การออกแบบวงจรถวม

เนื่องจากการดำเนินโครงการนี้ การควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปได้ยาก คณะผู้ดำเนินโครงการจึงทำการออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมวงจรถอนระดับแรงดันเพื่อให้ได้ค่าแรงดันด้านออกตามที่ต้องการซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดสำหรับแต่ละค่าความเข้มแสง โดยถือว่าอุณหภูมิของแผงมีค่าค่อนข้างคงที่ในระหว่างการทดลอง

วงจรถวมเพื่อการหาจุดกำลังสูงสุดที่สร้างขึ้นในโครงการนี้แสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งประกอบด้วยชุดวงจรถอยต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- 1) ชุดวงจรถอนระดับแรงดัน
- 2) ชุดวงจรถับมอสเฟต
- 3) ชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้า
- 4) ชุดตรวจจับกระแสไฟฟ้า
- 5) ชุดแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดี





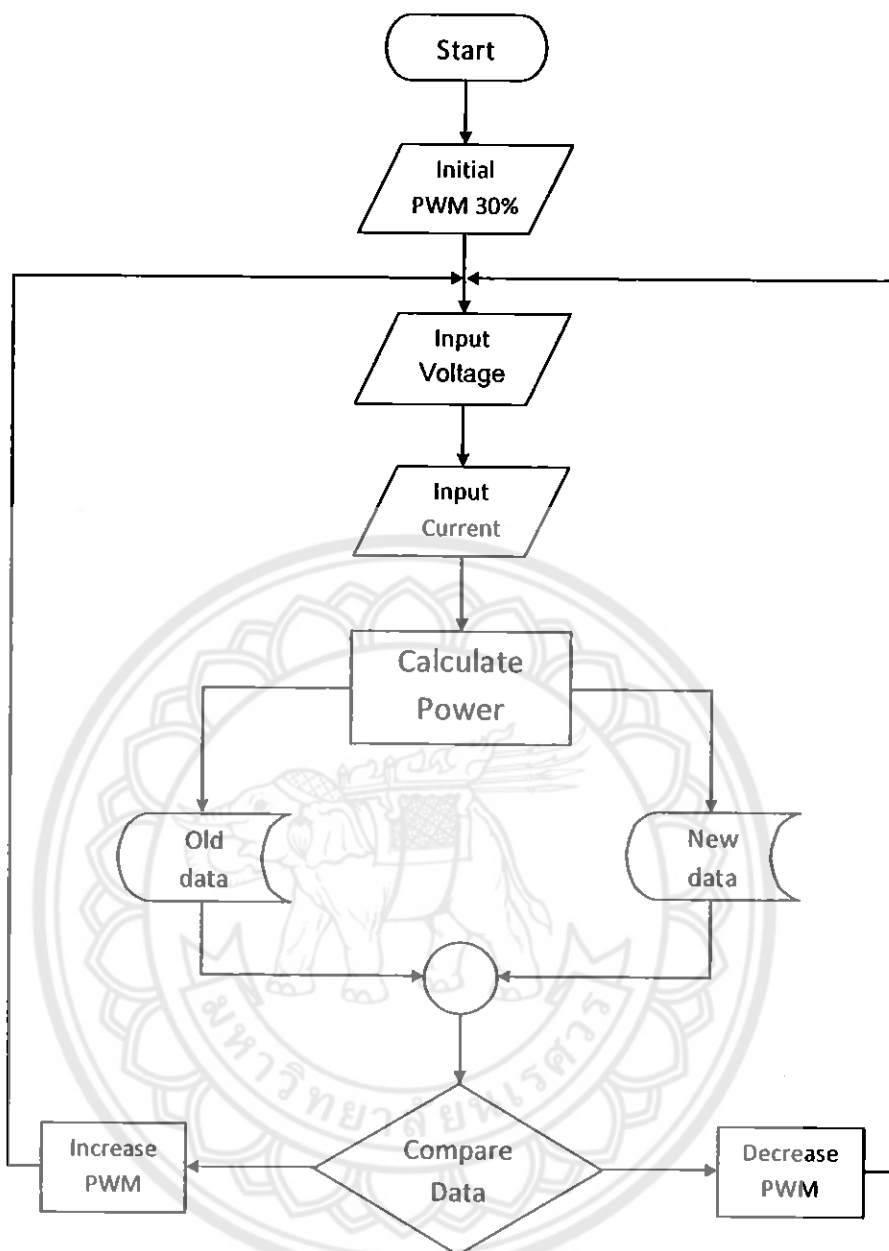
รูปที่ 3.5 แผนภาพการเชื่อมต่อภายในวงจรควบคุม

หลักการการทำงานของชุดวงจรย่อยต่าง ๆ ในวงจรควบคุม มีดังนี้

### 3.2.1 การเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงการนี้มีความสำคัญมากที่สุดเพราะถือเป็นหัวใจของการหาจุดกำลังสูงสุด โดยรับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณหาจุดกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ยังควบคุมค่าดีวตี้ไซเคิลของสวิตช์ในวงจรทอนระดับแรงดันเพื่อควบคุมค่าแรงดันด้านออกอีกด้วย

โครงการนี้เลือกใช้วิธีพีแอนด์ไอในการหาจุดกำลังสูงสุด อัลกอริทึมของหลักการดังกล่าวถูกใช้เพื่อเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหลักการทางแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมตามหลักการของวิธีพีเอ็นดีโอ

### 3.2.2 ชุดวงจรทอนระดับแรงดัน

เนื่องจากโหลดของระบบในโครงการนี้คือแบตเตอรี่ที่มีขนาดแรงดัน 12 V ซึ่งต่ำกว่าแรงดันในย่านการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ ดังนั้นจึงเลือกใช้วงจรทอนระดับแรงดันเพื่อปรับระดับแรงดันระหว่างแหล่งกำเนิดพลังงานกับโหลดของระบบ สวิตช์ของวงจรถูกควบคุมด้วยสัญญาณสวิตซิงซึ่งสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์

หลักการเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรทอนระดับแรงดันที่สร้างขึ้นในโครงการนี้มีดังนี้

#### ก. ตัวเหนี่ยวนำ

การเลือกตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาจากค่าความถี่ของแหล่งจ่าย ค่ากระแสเฉลี่ย (Average current) และค่าความพลิวของกระแส (Ripple current) ในโครงการนี้จึงเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core) ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่ความถี่สูง และมีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า 900  $\mu\text{H}$  ซึ่งเป็นค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดที่ยังคงทำให้วงจรทำงานในโหมดการนำกระแสต่อเนื่อง

#### ข. ตัวเก็บประจุ

การเลือกตัวเก็บประจุจะพิจารณาจากค่าพิกัดแรงดันและค่าความพลิวของแรงดัน (Ripple voltage) ที่ตกคร่อมโหลด ในโครงการนี้จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic capacitor) มีค่าความจุไฟฟ้า 1000  $\mu\text{F}$  และมีพิกัดแรงดัน 25 V สำหรับค่าความพลิวของแรงดันไม่เกิน 0.1%

#### ค. ไดโอด

ในที่นี้จะใช้ไดโอด 2 ตัว คือ 1N4937 และ 1N4001 ซึ่ง 1N4937 เป็นไดโอดของวงจรทอนระดับแรงดัน ส่วน 1N4001 นั้นเป็นไดโอดตัวที่ใช้เพื่อป้องกันการคายประจุของแบตเตอรี่ผ่านวงจรทอนระดับแรงดัน

#### ง. สวิตช์

เราเลือกใช้มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) ชนิด n-channel และในที่นี้ได้เลือกใช้หมายเลข IRFZ44N ซึ่งทนกระแสและแรงดันได้สูงและมีกำลังสูญเสียภายในต่ำ (พิกัดกระแส 49 A พิกัดแรงดัน 55 V และค่าความต้านทานขณะนำกระแส 17.5 m $\Omega$ ) สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ ของมอสเฟตชนิดนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก

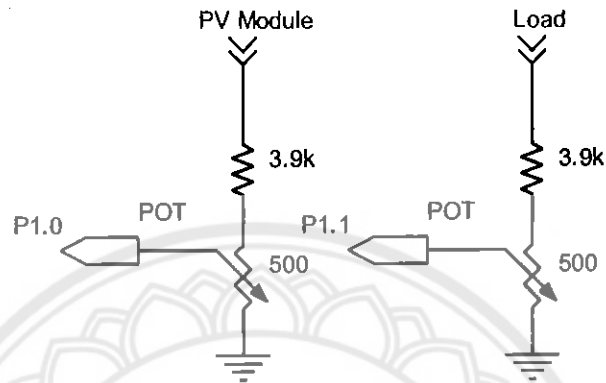
### 3.2.3 ชุดวงจรขับมอสเฟต

สัญญาณสวิตชิงเป็นสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มจากไมโครคอนโทรลเลอร์จากพอร์ต PL3 จะถูกส่งเข้าไปยังไอซี (IC) ที่ใช้ขับมอสเฟตของวงจรทอนระดับแรงดัน โดยในที่นี้เลือกใช้หมายเลข IR2110 สำหรับรายละเอียดของไอซีหมายเลขนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก

### 3.2.4 ชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้า

ชุดตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้จะมีอยู่ 2 ชุด คือ ชุดตรวจจับแรงดันของแอมเพิลล์ แสงอาทิตย์และชุดตรวจจับแรงดันของโหลด (ในที่นี้คือแบตเตอรี่) ซึ่งเป็นแรงดันด้านเข้าและด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันตามลำดับ แรงดันที่ได้จากชุดตรวจจับทั้งสองจะป้อนให้กับตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) เพื่อให้เหลือระดับแรงดันอยู่ในช่วง 0 ถึง 3 V ก่อนที่จะเข้า

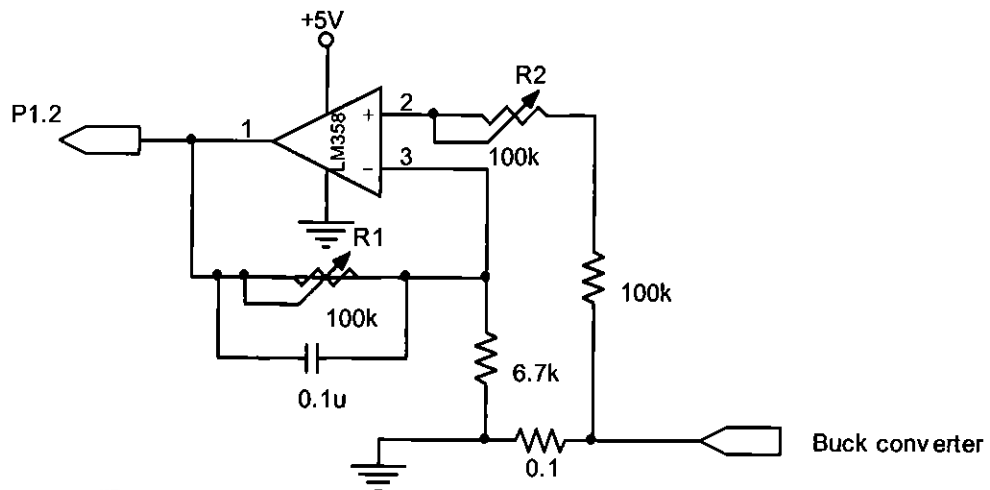
ไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ต P1.0 สำหรับตรวจจับแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพอร์ต P1.1 สำหรับตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของโหลด โดยมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.7 โดยมีการปรับตั้งค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer: POT) เพื่อให้ค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง



รูปที่ 3.7 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า (ซ้าย แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขวา แรงดันของโหลด)

### 3.2.5 ชุดตรวจจับกระแสไฟฟ้า

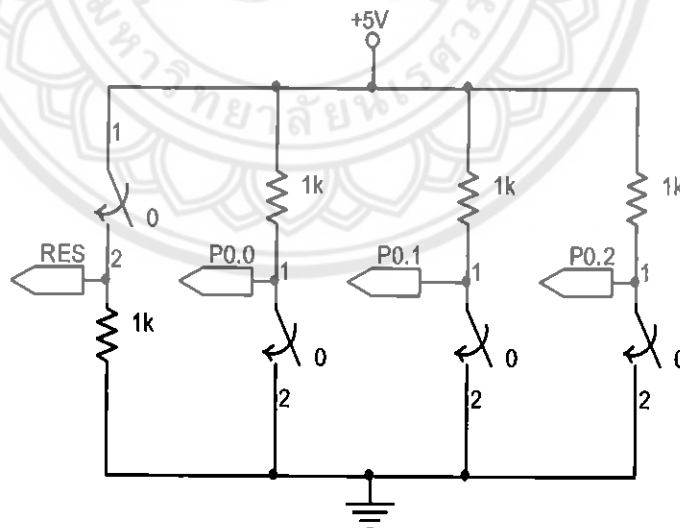
ชุดตรวจจับกระแสไฟฟ้านี้ทำงานโดยอาศัยหลักการตามกฎของโอห์มคือรับกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาผ่านความต้านทานค่าน้อย ๆ (ในที่นี้ คือ  $0.1 \Omega$ ) ที่ต่ออนุกรมไว้สำหรับตรวจจับแรงดันตกคร่อม ดังรูปที่ 3.8 วงจรนี้ถูกออกแบบให้มีอัตราขยายในช่วง 11 ถึง 14 เท่าของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน  $0.1 \Omega$  โดยสามารถปรับอัตราขยายในช่วงดังกล่าวได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ ( $R_1$ ) และสามารถปรับความแม่นยำในการตรวจจับให้อยู่ในย่านกระแสใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ช่วง 0 ถึง 0.66 A) ได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ ( $R_2$ ) แล้วป้อนผ่านออปแอมป์ (LM358) เพื่อขยายสัญญาณแรงดันให้เพียงพอที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถตรวจจับได้ โดยเข้าที่พอร์ต P1.2 เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและแสดงผลต่อไป



รูปที่ 3.8 ชุดตรวจจับกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

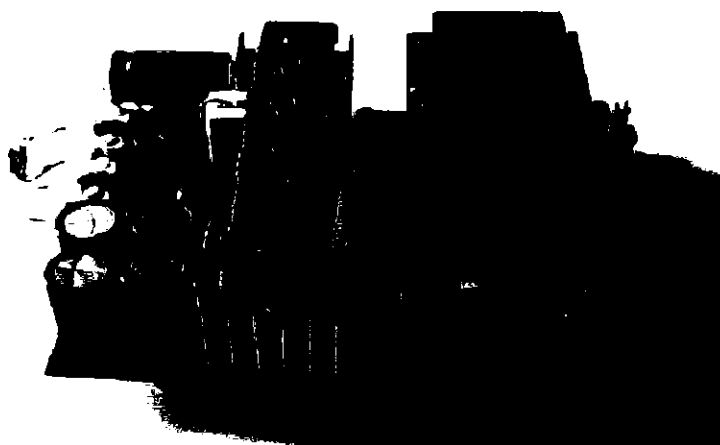
### 3.2.6 ชุดแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดี

เป็นส่วนใหญ่ใช้แสดงผลต่าง ๆ ของวงจร คือ ค่ากระแส แรงดัน และกำลังต้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันของแบตเตอรี่ ทางหน้าจอแอลซีดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีสวิทช์สำหรับเลือกแสดงในโหมดต่าง ๆ นี้ผ่านทางหน้าจอ โดยมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.9

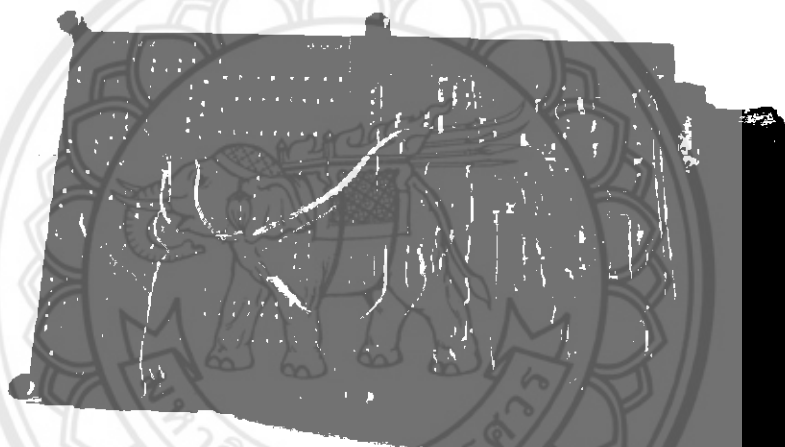


รูปที่ 3.9 ชุดแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดี

นำวงจรย่อยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นมาประกอบบนแผงวงจรควบคุม แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 แผงวงจรควบคุมเพื่อหาจุดกำลังสูงสุด (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.11 แผงวงจรควบคุมเพื่อหาจุดกำลังสูงสุด (ด้านหลัง)

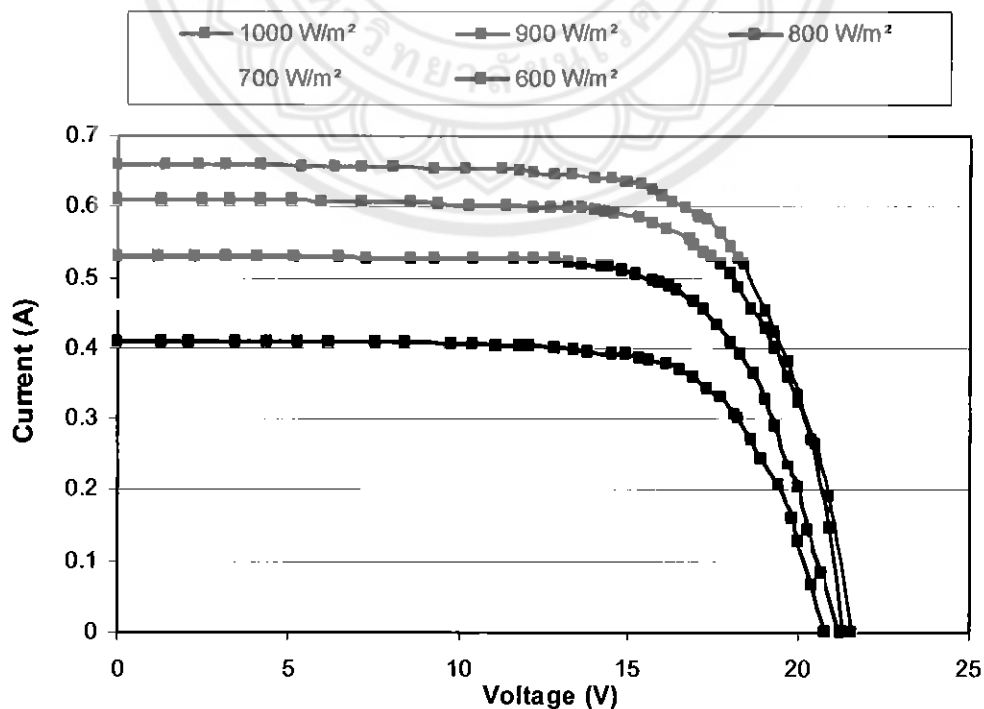
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

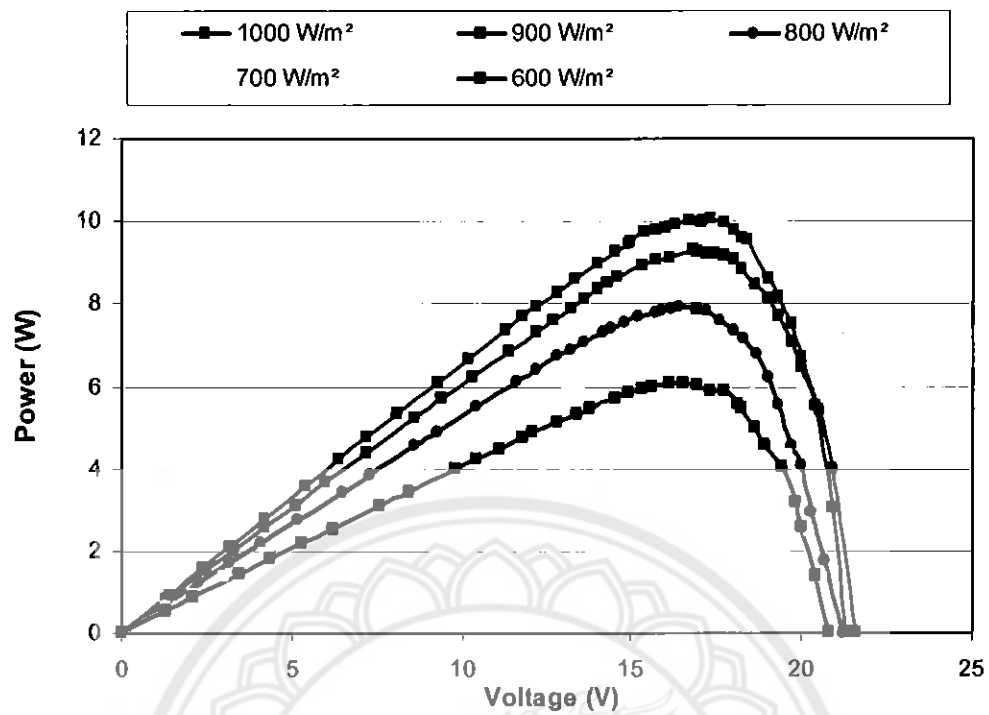
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองโดยมีการทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำการออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการควบคุมในการหาจุดที่มีค่ากำลังสูงสุด โดยมีผลการทดสอบต่างๆดังนี้

#### 4.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

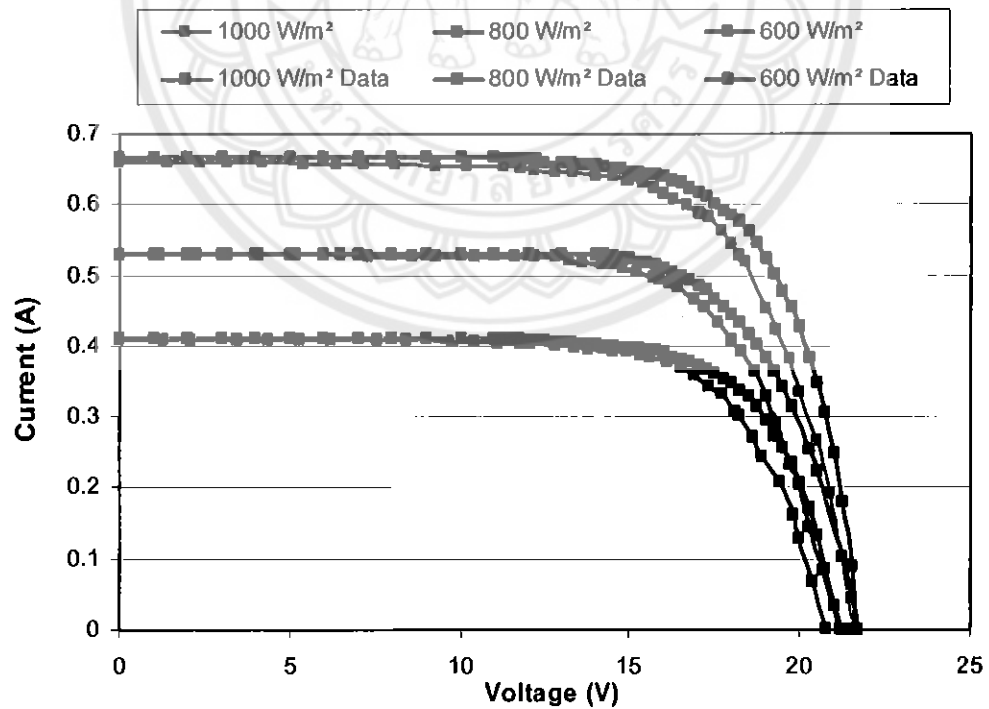
โครงการนี้ได้ทำการออกแบบการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงจากหลอดไฟชนิดทั้งสแตนด์บายโลเจน ขนาด 1500 W แทนการใช้แสงจริงจากดวงอาทิตย์ เพื่อควบคุมค่าความเข้มแสงให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งตลอดการทดลอง โดยทำการออกแบบโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ปรับค่าดีวีดีไซเคิลจาก 0-100% เพื่อนำมาวาดกราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้า และกำลัง-แรงดันไฟฟ้า ที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ แล้วเปรียบเทียบกับกราฟของผู้ผลิต แล้ววัดค่ากระแสและแรงดันที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแสจากการทดลอง

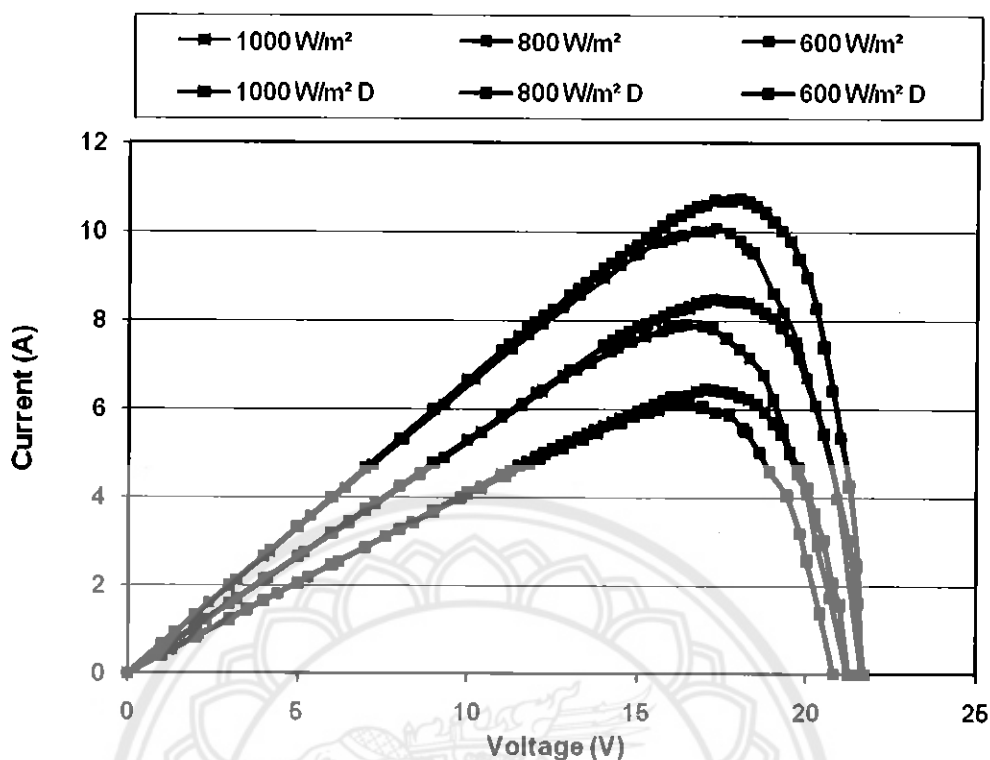


รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดันจากการทดลอง



รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแสจากการทดลองกับกราฟของผู้ผลิต



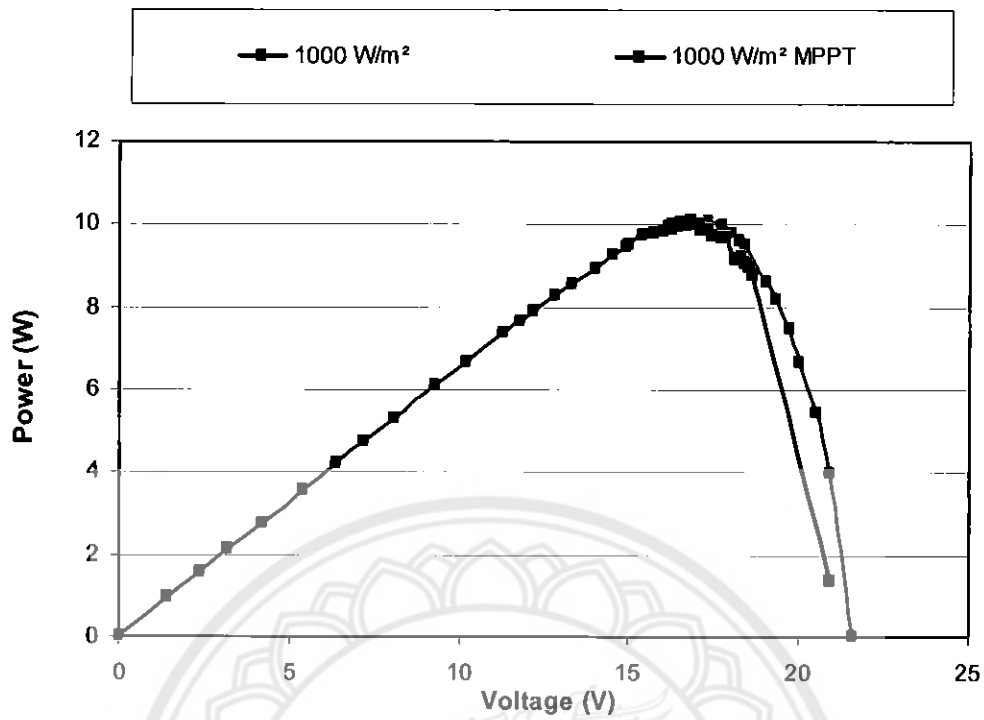


รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดันจากการทดลองกับกราฟของผู้ผลิต

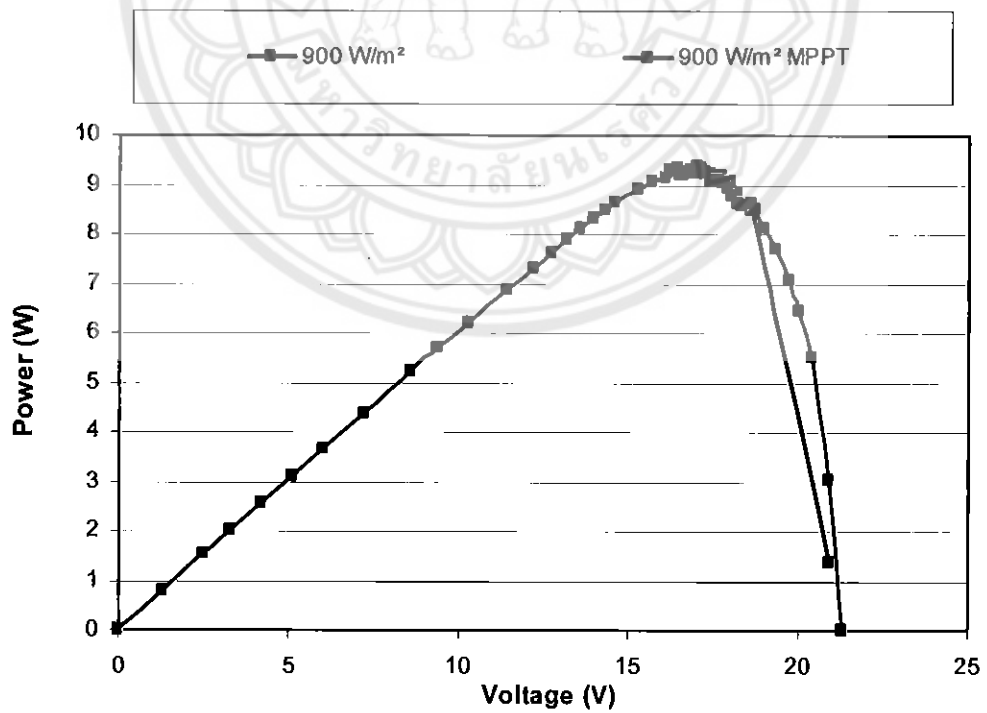
จากรูปที่ 4.1 ถึง รูปที่ 4.4 เราทำการเปรียบเทียบกับกราฟของผู้ผลิตจะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับกราฟของผู้ผลิต แต่จะมีค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากผลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีค่าแตกต่างจากการทดลองของผู้ผลิต ที่มีการควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าคงที่ที่  $25^{\circ}\text{C}$  ผลจากอุณหภูมิที่มีค่าไม่คงที่ จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น  $0.07\%/^{\circ}\text{C}$  และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีค่าลดลง  $0.4\%/^{\circ}\text{C}$  ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1.10 โดยกราฟจากการทดลองจะมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำกว่ากราฟของผู้ผลิต เนื่องจากกราฟของผู้ผลิตมีค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อเทียบเคียงในกราฟแล้วมีค่าเกินจากที่ระบุไว้ในตารางข้อมูล (Data sheet)

#### 4.2 การทดสอบวงจรควบคุมเพื่อหาจุดกำลังสูงสุด

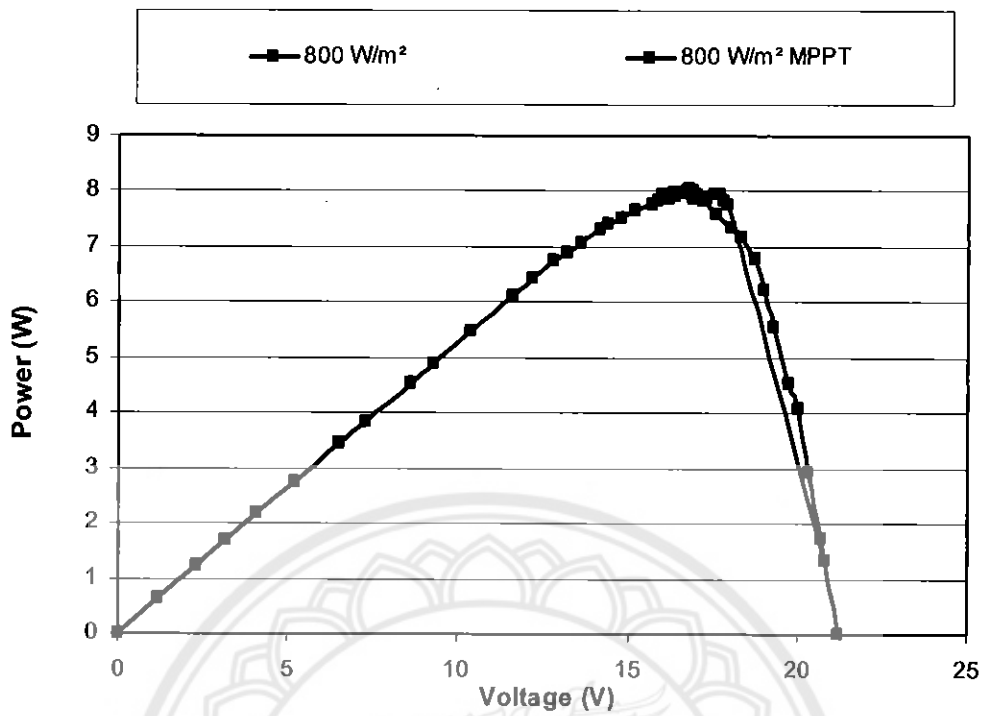
ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาจุดกำลังสูงสุด ที่ความเข้มแสงค่าต่าง ๆ ในการทดลองเพื่อหาจุดกำลังสูงสุดที่ความเข้มแสงค่าต่าง ๆ นี้ เราได้ทำการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า เพื่อนำมาวาดกราฟแรงดัน-กำลัง แล้วเปรียบเทียบกับกราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังที่ได้จากการทำการทดลองที่ 4.1 แสดงดังรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.9



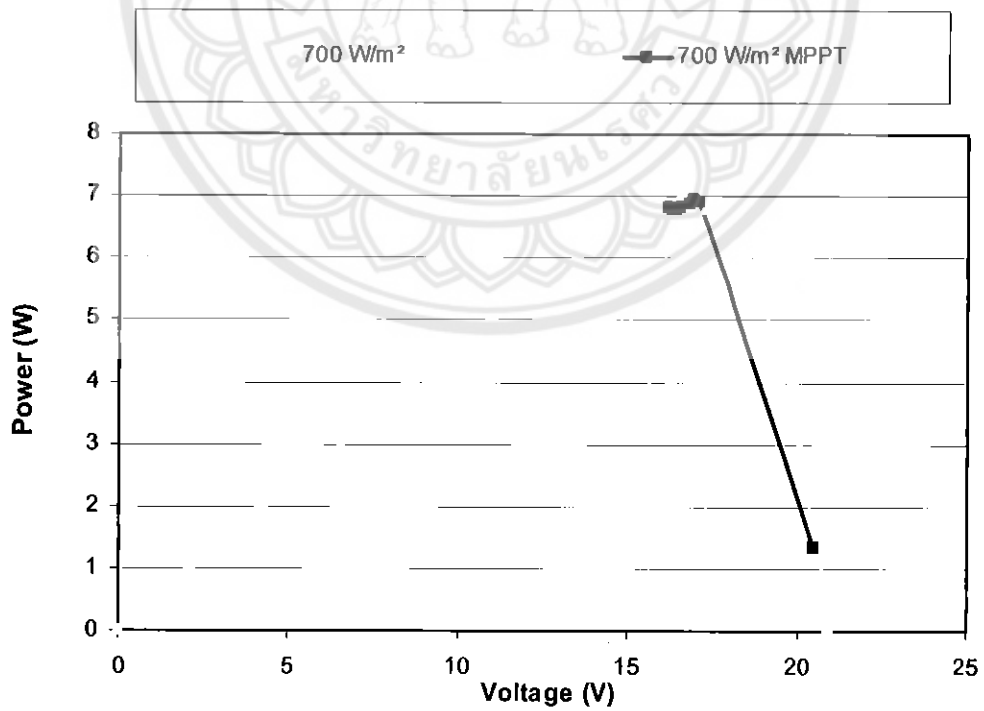
รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่  $1000 \text{ W/m}^2$



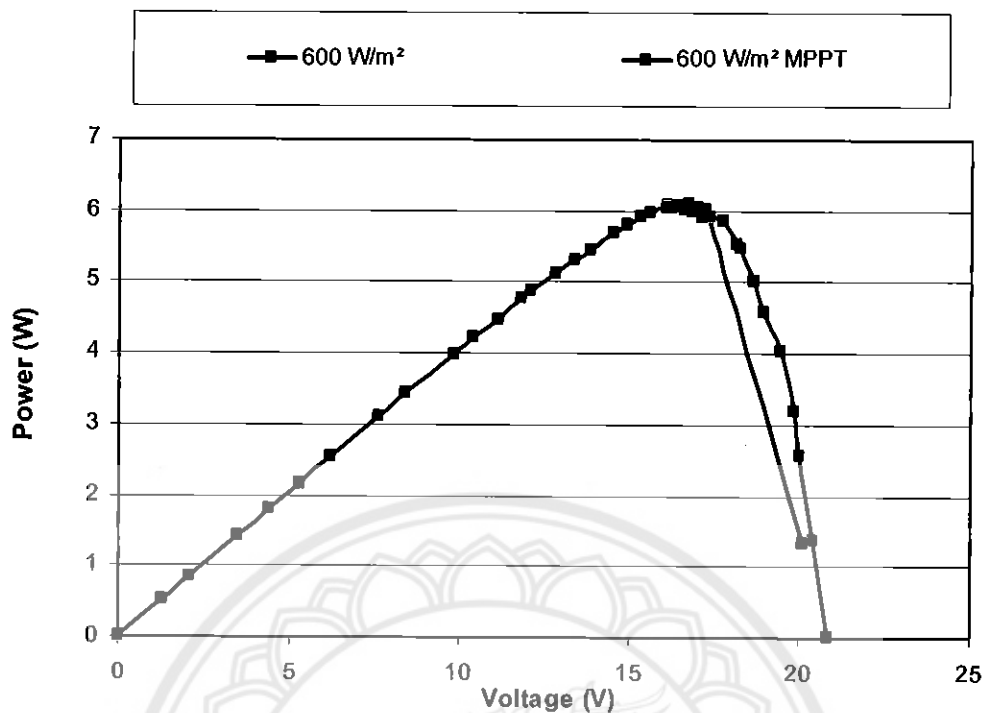
รูปที่ 4.6 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่  $900 \text{ W/m}^2$



รูปที่ 4.7 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่ 800 W/m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.8 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่ 700 W/m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.9 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังจากการทดลองกับกราฟหาจุดกำลังสูงสุดที่  $600 \text{ W/m}^2$

จากรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมของการหาจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีพีแอนด์โอ โดยมีจุดทำงานเริ่มต้นที่ค่าแรงดันสูงกว่าค่าแรงดันเปิดวงจรเล็กน้อยเนื่องจากเราต้องใช้กำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยกำหนดการทำงานเริ่มต้นที่ค่าดิวิตีไซเคิล 30% โดยขั้นตอนถัดไปไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจจับค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าแล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเพิ่มค่าดิวิตีไซเคิลขึ้นจากเดิม 0.4% และตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้าแล้วทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าอีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะปรับเพิ่มหรือลดค่าดิวิตีไซเคิลในแต่ละรอบของการชกตัวอย่าง เพื่อให้จุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขยับเข้าใกล้จุดกำลังสูงสุด จากนั้นจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแกว่งรอบ ๆ จุดกำลังสูงสุด

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการสรุปผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด พร้อมทั้งปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ตลอดจนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการพัฒนาโครงการงานขึ้นไปให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแสไฟฟ้า และกราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำการทดลองมีค่าใกล้เคียงกราฟคุณลักษณะของทางผู้ผลิตที่ระบุไว้ในตารางข้อมูล แต่จะมีค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากผลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีค่าแตกต่างจากการทดลองของผู้ผลิต ที่มีการควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าคงที่ที่  $25^{\circ}\text{C}$  ผลจากอุณหภูมิที่มีค่าไม่คงที่จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น  $0.07\%/\text{C}$  และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีค่าลดลง  $0.4\%/\text{C}$  ดังนั้น การออกแบบการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดลองที่ 4.1 ได้ผลน่าเชื่อถือ เพราะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผู้ผลิต จึงสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทดลองที่ 4.2 ต่อไป

จากการทดลองที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า จากรูปที่ 4.5-รูปที่ 4.9 แรงดันที่จุดทำงานเริ่มต้นจะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเปิดวงจรเล็กน้อย เนื่องจากเราต้องใช้กำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยกำหนดการทำงานเริ่มต้นที่ค่าคิวตี้ไซเคิล 30% ส่งผลให้ลู่วิ่งเข้าหาจุดกำลังสูงสุดได้เร็วขึ้น โครงการนี้จึงสามารถใช้อัลกอริทึมของวิธีพีแอนด์ไอในการหาจุดกำลังสูงสุดได้สำเร็จ

#### 5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

- 1) ในการทดลองจะเห็นถึงปัญหาว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลง และกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังที่กล่าวไว้ใน การทดลองที่ 4.2 ข้างต้น ซึ่งในการทำการทดลองจริง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีอุณหภูมิคงที่ที่  $25^{\circ}\text{C}$

- 2) เนื่องการควบคุมค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ให้คงที่เป็นไปได้ยาก จึงทำให้ต้องใช้แสงไฟจากหลอดทั้งสเตนฮาโลเจนแทน ทำให้กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนไปจากกราฟของผู้ผลิต
- 3) เนื่องจากแรงดันที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าไม่สูงพอสำหรับใช้ขับมอสเฟตโดยตรง ทำให้ต้องใช้วงจรขยาย ส่งผลให้ค่าควิตี้ไซเคิลของสัญญาณที่ออกจากวงจรขยายมีค่าผิดเพี้ยนจากค่าควิตี้ไซเคิลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์เล็กน้อย

### 5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อยอดโครงการ

- 1) เนื่องจากวงจรควบคุมในโครงการนี้ใช้วงจรทอนระดับแรงดันเพียงอย่างเดียว ทำให้การทำงานจำกัดอยู่ในย่านที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่าโหลดเท่านั้น หากเราการเพิ่มวงจรทอนระดับแรงดัน (Step-up หรือ Boost converter) เข้าไปก็จะทำให้สามารถใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ โหลดที่หลากหลายมากขึ้น
- 2) การทดลองจะให้ผลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น หากสามารถควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้คงที่ตลอดช่วงการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Information Administration "Annual Energy Outlook 2001", Washington, December 2000.
- [2] Energy Information Administration "International Energy Outlook 2001", Washington, March 2001.
- [3] International Energy Agency "World Energy Outlook 2000", Paris, 2001.
- [4] Federal Environmental Agency "Annual Report 2000", Berlin, 2001.
- [5] H. Schmidt, "From the solar to the PV generator" In: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems: Course book for the seminar: Photovoltaic Systems, Freiburg, 1995.
- [6] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์ "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง: Power Electronics", หนังสือนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [7] บริษัททีทีที จำกัด "คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)" จาก [www.ett.co.th](http://www.ett.co.th), สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2553.
- [8] T. Esum and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE Transactions on Energy Conversion, June 2007.
- [9] S. Jain and V. Agarwal, "A new algorithm for rapid tracking of approximate maximum power point in photovoltaic systems", IEEE Power Electronics Letter, vol. 2, no. 1, pp. 16-19, March 2004.
- [10] Y.-T. Hsiao and C.-H. Chen, "Maximum power tracking for photovoltaic power system", Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference 37<sup>th</sup> IAS Annual Meeting, 2002, pp. 1035-1040.

## ภาคผนวก ก

### รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEL AT89C51AC

#### Features

- 80C51 Core Architecture
- 256 Byte of On-chip RAM
- 2048 Byte of On-chip ERAM
- 64 K Byte of On-chip Flash Memory
  - Data Retention: 10 Years at 85 °C
  - Read/Write Cycle: 100 k
- Boot Code Section with Independent Lock Bits
- 2 K Byte of On-chip Flash for Boot loader
- In-System Programming by On-Chip UART Boot Program and IAP Capability
- 2 K Byte of On-chip EEPROM
  - Read/Write Cycle: 100 k
- Integrated Power Monitor (POR: PFD) To Supervise Internal Power Supply
- 14-sources 4-level interrupts
- Three 16-bit Timers/Counters
- Full Duplex UART Compatible 80C51
- High-speed Architecture
  - In Standard Mode:
    - 40 MHz (Vcc 3 V to 5.5 V, both Internal and external code execution)
    - 60 MHz (Vcc 4.5 V to 5.5 V and Internal Code execution only)
  - In X2 mode (6 Clocks/machine cycle)
    - 20 MHz (Vcc 3 V to 5.5 V, both Internal and external code execution)
    - 30 MHz (Vcc 4.5 V to 5.5 V and Internal Code execution only)
- Five Ports: 32 + 4 Digital I/O Lines
- Five-channel 16-bit PCA with
  - PWM (8-bit)
  - High-speed Output
  - Timer and Edge Capture
- Double Data Pointer
- 21-bit WatchDog Timer (7 Programmable Bits)
- A 10-bit Resolution Analog to Digital Converter (ADC) with 8 Multiplexed Inputs
- SPI Interface (PLCC52 and VQFP64 packages only)
- On-chip Emulation Logic (Enhanced Hook System)
- Power Saving Modes
  - Idle Mode
  - Power-down Mode
- Power Supply: 3 V to 5.5 V
- Temperature Range: Industrial (-40°C to +85°C)
- Packages: VQFP44, PLCC44, VQFP64, PLCC52

#### Description

The AT89C51AC3 is a high performance Flash version of the 80C51 single chip 8-bit Microcontrollers.

In X2 mode a maximum external clock rate of 20 MHz reaches a 300 ns cycle time.

Besides the AT89C51AC3 provides 64K Bytes of Flash memory including In-System Programming (ISP) and IAP, 2K Byte Boot Flash Memory, 2K Byte EEPROM and 2048 byte ERAM.

Primary attention is paid to the reduction of the electro-magnetic emission of AT89C51AC3.



Enhanced 8-bit  
Microcontroller  
with 64KB Flash  
Memory

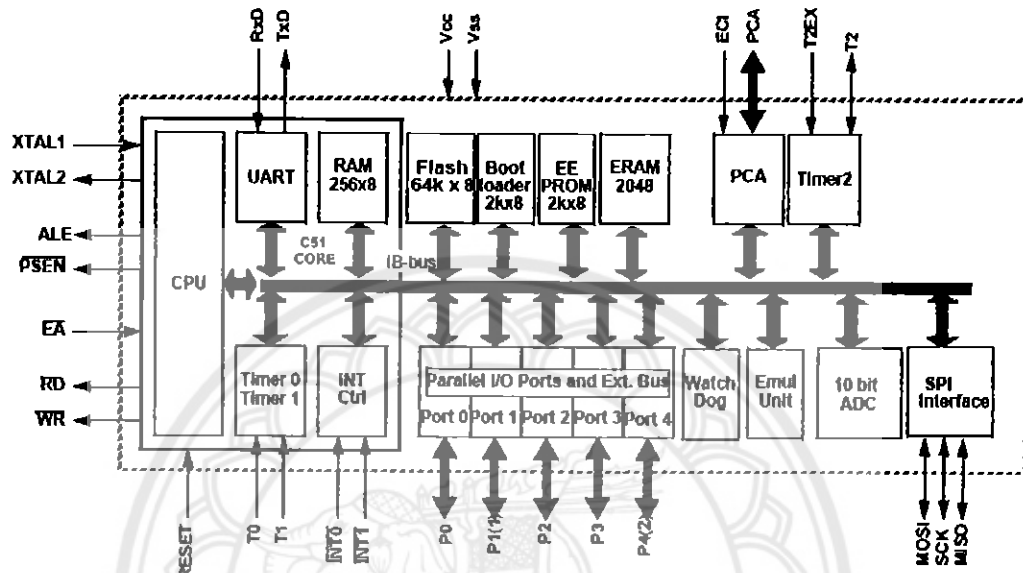
AT89C51AC3







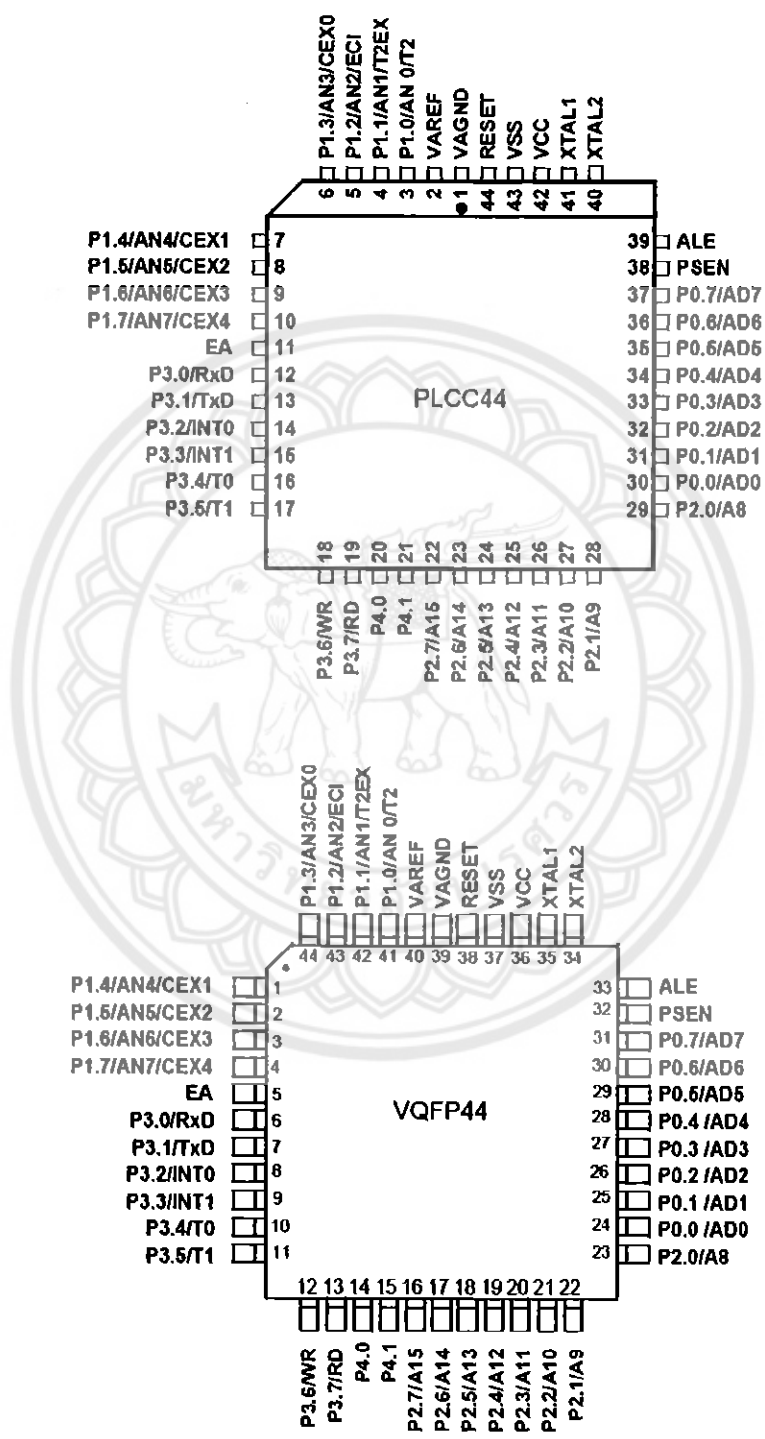
## Block Diagram



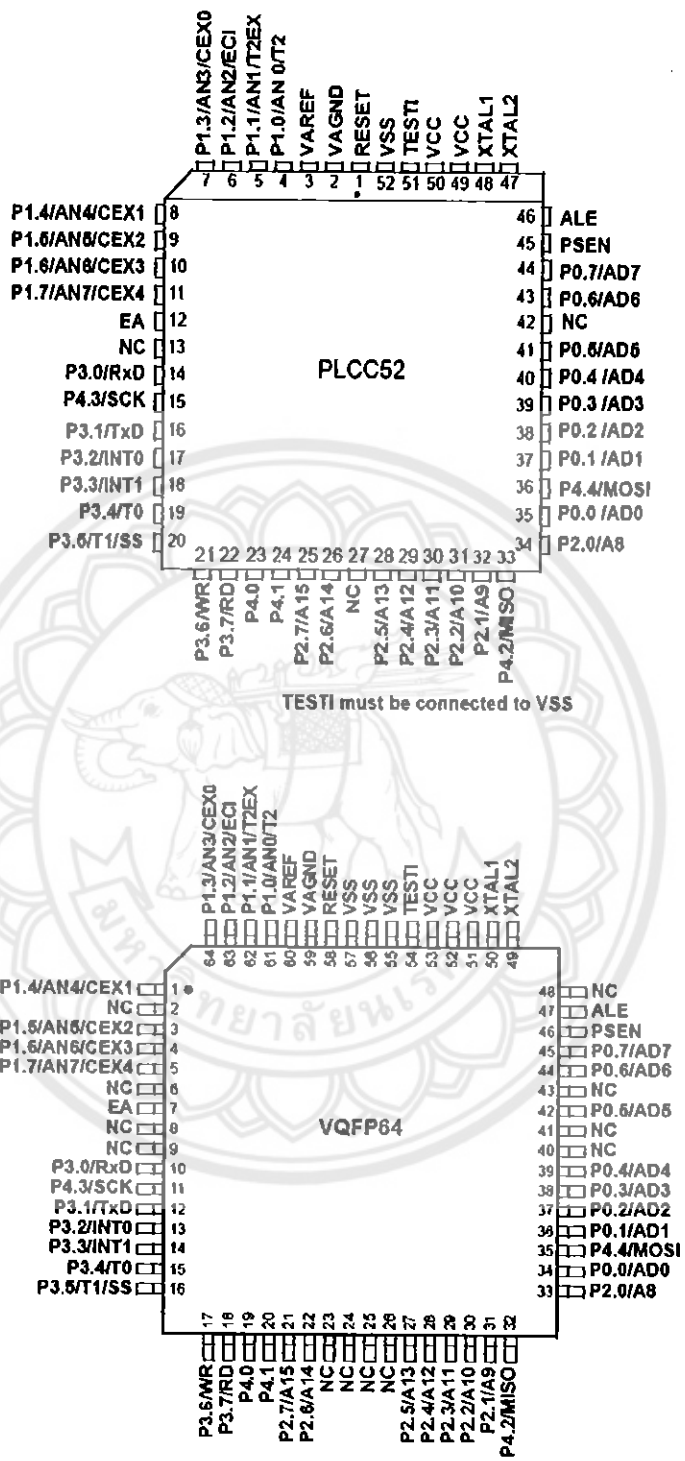
- Notes:
1. 8 analog Inputs/8 Digital I/O
  2. 5-Bit I/O Port



Pin Configuration



AT89C51AC3



AT89C51AC3



## Electrical Characteristics

### Absolute Maximum Ratings

Ambient Temperature Under Bias:	
I = industrial .....	-40°C to 85°C
Storage Temperature .....	-65°C to +150°C
Voltage on $V_{CC}$ from $V_{SS}$ .....	-0.5V to +6V
Voltage on Any Pin from $V_{SS}$ .....	-0.5V to $V_{CC} + 0.2V$
Power Dissipation .....	1 W

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

The power dissipation is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package.

### DC Parameters for Standard Voltage

$T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ ;  $V_{SS} = 0V$ ;

$V_{CC} = 2.7V$  to  $5.5V$  and  $F = 0$  to  $40$  MHz (both internal and external code execution)

$V_{CC} = 4.5V$  to  $5.5V$  and  $F = 0$  to  $60$  MHz (internal code execution only)

Table 71. DC Parameters in Standard Voltage

Symbol	Parameter	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit	Test Conditions
$V_{IL}$	Input Low Voltage	-0.5		$0.2V_{CC} - 0.1$	V	
$V_{IH}$	Input High Voltage except XTAL1, RST	$0.2V_{CC} + 0.9$		$V_{CC} + 0.5$	V	
$V_{IH1}$	Input High Voltage, XTAL1, RST	$0.7V_{CC}$		$V_{CC} + 0.5$	V	
$V_{OL}$	Output Low Voltage, ports 1, 2, 3 and 4 <sup>(5)</sup>			0.3 0.45 1.0	V	$I_{OL} = 100 \mu\text{A}^{(4)}$ $I_{OL} = 1.6 \text{ mA}^{(4)}$ $I_{OL} = 3.5 \text{ mA}^{(4)}$
$V_{OL1}$	Output Low Voltage, port 0, ALE, PSEN <sup>(6)</sup>			0.3 0.45 1.0	V	$I_{OL} = 200 \mu\text{A}^{(4)}$ $I_{OL} = 3.2 \text{ mA}^{(4)}$ $I_{OL} = 7.0 \text{ mA}^{(4)}$
$V_{OH}$	Output High Voltage, ports 1, 2, 3, and 4	$V_{CC} - 0.3$ $V_{CC} - 0.7$ $V_{CC} - 1.5$			V	$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$ $I_{OH} = -30 \mu\text{A}$ $I_{OH} = -60 \mu\text{A}$ $V_{CC} = 3V$ to $5.5V$
$V_{OH1}$	Output High Voltage, port 0, ALE, PSEN	$V_{CC} - 0.3$ $V_{CC} - 0.7$ $V_{CC} - 1.5$			V	$I_{OH} = -200 \mu\text{A}$ $I_{OH} = -3.2 \text{ mA}$ $I_{OH} = -7.0 \text{ mA}$ $V_{CC} = 5V \pm 10\%$
$R_{RST}$	RST Pull-down Resistor	50	100	200	k $\Omega$	
$I_L$	Logical 0 Input Current ports 1, 2, 3 and 4			-50	$\mu\text{A}$	$V_{in} = 0.45V$
$I_U$	Input Leakage Current			$\pm 10$	$\mu\text{A}$	$0.45V < V_{in} < V_{CC}$
$I_{TL}$	Logical 1 to 0 Transition Current, ports 1, 2, 3 and 4			-650	$\mu\text{A}$	$V_{in} = 2.0V$
$C_{IO}$	Capacitance of I/O Buffer			10	pF	$F_0 = 1 \text{ MHz}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$
$I_{PD}$	Power-down Current		75	150	$\mu\text{A}$	$3V < V_{CC} < 5.5V^{(7)}$

AT89C51AC3


**Table 71. DC Parameters in Standard Voltage (Continued)**

Symbol	Parameter	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit	Test Conditions
$I_{CC}$	Power Supply Current	$I_{CCOP} = 0.4 \text{ Frequency (MHz)} + 8$ $I_{CCOKE} = 0.2 \text{ Frequency (MHz)} + 8$			mA	$V_{CC} = 5.5V^{(1)(2)}$

Notes: 1. Operating ICC is measured with all output pins disconnected; XTAL1 driven with TCLCH, TCHCL = 5 ns (see Figure 67.),  $V_{IL} = V_{SS} + 0.5V$ ,  $V_{IH} = V_{CC} - 0.5V$ ; XTAL2 N.C.; EA = RST = Port 0 = VCC. ICC would be slightly higher if a crystal oscillator used (see Figure 64.).

2. Idle ICC is measured with all output pins disconnected; XTAL1 driven with TCLCH, TCHCL = 5 ns,  $V_{IL} = V_{SS} + 0.5V$ ,  $V_{IH} = V_{CC} - 0.5V$ ; XTAL2 N.C.; Port 0 = VCC; EA = RST = VSS (see Figure 65.).

3. Power-down ICC is measured with all output pins disconnected; EA = VCC, PORT 0 = VCC; XTAL2 N.C.; RST = VSS (see Figure 66.). In addition, the WDT must be inactive and the POF flag must be set.

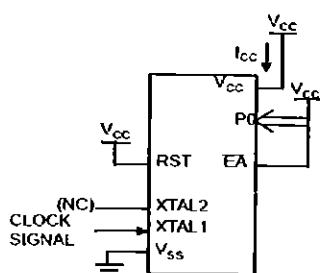
4. Capacitance loading on Ports 0 and 2 may cause spurious noise pulses to be superimposed on the VOLs of ALE and Ports 1 and 3. The noise is due to external bus capacitance discharging into the Port 0 and Port 2 pins when these pins make 1 to 0 transitions during bus operation. In the worst cases (capacitive loading 100pF), the noise pulse on the ALE line may exceed 0.45V with maxi VOL peak 0.6V. A Schmitt Trigger use is not necessary.

5. Typicals are based on a limited number of samples and are not guaranteed. The values listed are at room temperature.

6. Under steady state (non-transient) conditions, IOL must be externally limited as follows:

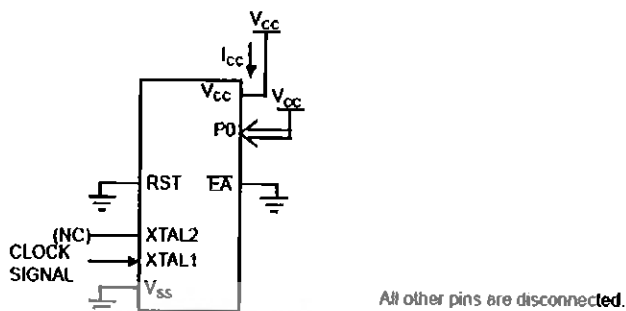
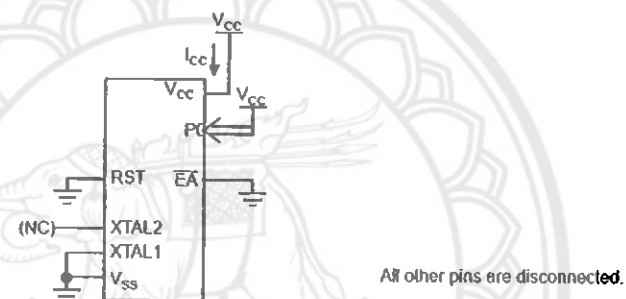
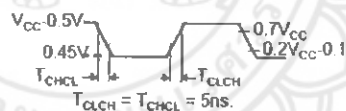
Maximum IOL per port pin: 10 mA, Maximum IOL per 8-bit port: Port 0: 26 mA, Ports 1, 2, 3 and 4: 15 mA

Maximum total IOL for all output pins: 71 mA If IOL exceeds the test condition, VOL may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

**Figure 64.  $I_{CC}$  Test Condition. Active Mode**


All other pins are disconnected.

**AT89C51AC3**

Figure 65.  $I_{CC}$  Test Condition, Idle ModeFigure 66.  $I_{CC}$  Test Condition, Power-Down ModeFigure 67. Clock Signal Waveform for  $I_{CC}$  Tests in Active and Idle Modes

## DC Parameters for A/D Converter

Table 72. DC Parameters for AD Converter in Precision Conversion

Symbol	Parameter	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit	Test Conditions
$V_{in}$	Analog input voltage	$V_{SS} - 0.2$		$V_{REF} + 0.2$	V	
$R_{REF}$	Resistance between $V_{REF}$ and $V_{SS}$	12	16	24	k $\Omega$	
$V_{REF}$	Reference voltage	2.40		3.00	V	
$C_{AI}$	Analog input Capacitance		60		pF	During sampling
$R_{AI}$	Analog input Resistor			400	$\Omega$	During sampling
INL	Integral non linearity		1	2	lsb	
DNL	Differential non linearity		0.5	1	lsb	
OE	Offset error	-2		2	lsb	

Note: 1. Typical values are based on a limited number of samples and are not guaranteed.

## AT89C51AC3



## AC Parameters

### Explanation of the AC Symbols

Each timing symbol has 5 characters. The first character is always a "T" (stands for time). The other characters, depending on their positions, stand for the name of a signal or the logical status of that signal. The following is a list of all the characters and what they stand for.

Example: TAVLL = Time for Address Valid to ALE Low.

TLLPL = Time for ALE Low to PSEN Low.

TA = -40 °C to +85 °C; V<sub>SS</sub> = 0 V; V<sub>CC</sub> = 3 V to 5.5 V; F = 0 to 40 MHz.

(Load Capacitance for port 0, ALE and PSEN = 60 pF; Load Capacitance for all other outputs = 60 pF.)

Table 73, Table 76 and Table 79 give the description of each AC symbols.

Table 74, Table 78 and Table 80 give for each range the AC parameter.

Table 75, Table 78 and Table 81 give the frequency derating formula of the AC parameter for each speed range description. To calculate each AC symbols: Take the x value and use this value in the formula.

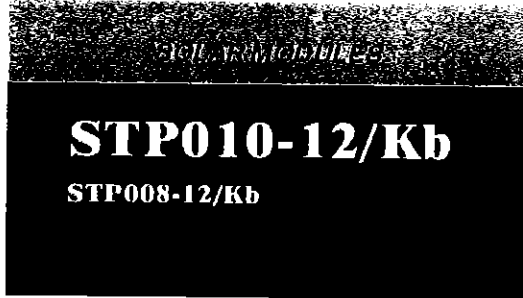
Example: TLLIV and 20 MHz, Standard clock.

$$x = 30 \text{ ns}$$

$$T = 50 \text{ ns}$$

$$TCCIV = 4T - x = 170 \text{ ns}$$

# รายละเอียดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Suntech รุ่น STP010-12/Kb



## Specifications

Cell	Monocrystaline silicon solar cells 76mm x 26mm
No. of cells and connections	36 (6x6)
Dimension of module (mm)	310 x 368 x 16
Weight	1.6kg

## Characteristics

Model	STP010-12/Kb	STP008-12/Kb
Open circuit voltage (Voc)	21.6V	21.4V
Optimum operating voltage (Vmp)	17.2V	16.6V
Short circuit current (Isc)	0.66A	0.54A
Optimum operating current (Imp)	0.58A	0.46A
Maximum power at STC (Pmp)	10Wp	8Wp

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> Module temperature 25°C AM=1.5

## Limits

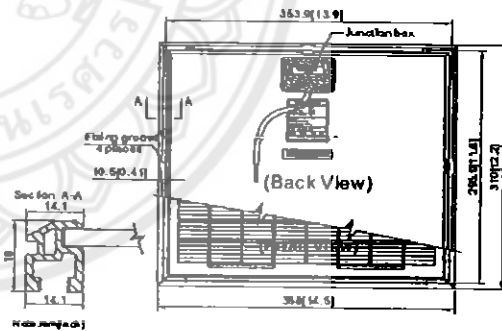
Operating temperature	-40 to +85°C
Maximum system voltage	715 V DC

## Temperature and Coefficients

NOCT	48°C ± 2°C	
Current temperature coefficient	%/K	0.05 ± 0.01
Voltage temperature coefficient	mV/K	-1.78 ± 10
Power temperature coefficient	%/K	-0.5 ± 0.05

NOCT: Nominal Operation Cell Temperature

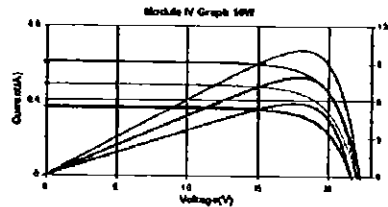
## Blueprint of the module



## Output

Type of output terminal	Junction box
Cable	YUSHEUNG (16AWG 2C)
Lengths	3000mm

## Characteristics



Copyright © Suntech Power Co., Ltd. 2008  
This publication contains proprietary information and specifications which are subject to change without notice.





## รายละเอียดของมอสเฟต IRFZ44N

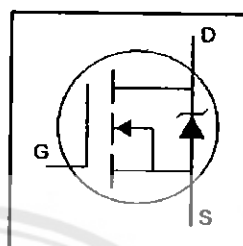
International  
**IR** Rectifier

PD - 94053

**IRFZ44N**

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic  $dv/dt$  Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DS} = 55V$

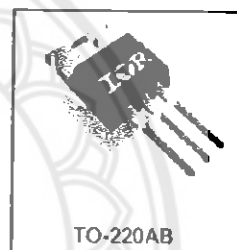
$R_{DS(on)} = 17.5m\Omega$

$I_D = 49A$

**Description**

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

**Absolute Maximum Ratings**

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	49	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	36	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current ②	25	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ②	9.4	mJ
$dv/dt$	Peak Diode Recovery $dv/dt$ ③	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

**Thermal Resistance**

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1  
01/03/1

## IRFZ44N

International  
IOR RectifierElectrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)

Parameter	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{BRDSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{BRDSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.058	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	17.5	m $\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	19	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ②
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250	$\mu A$	$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D = 25A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	14	nC	$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	23	nC	$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—	ns	$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	60	—	ns	$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	44	—	ns	$R_G = 12\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	45	—	ns	$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 10 ③
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1470	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	360	—	pF	$V_{DS} = 25V$
$C_{riss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	88	—	pF	$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ④	—	5300	1600	mJ	$I_{AS} = 25A, L = 0.47mH$

## Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	49	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{Su}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	160	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 25A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	170	260	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ③
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

## Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 0.48mH$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 25A$ . (See Figure 12)
- ③ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ④ This is a calculated value limited to  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .
- ⑤  $I_{SD} \leq 25A$ ,  $di/dt \leq 230A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{BRDSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ⑥ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

# รายละเอียดของไอซี IR2110

International  
**IR** Rectifier

Data Sheet No. PD60147 rev.U

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

## HIGH AND LOW SIDE DRIVER

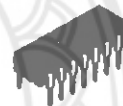
### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +500V or +600V  
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

### Product Summary

$V_{\text{OFFSET}}$ (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O}+/-}$	2A / 2A
$V_{\text{OUT}}$	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

### Packages



14-Lead PDIP  
IR2110/IR2113

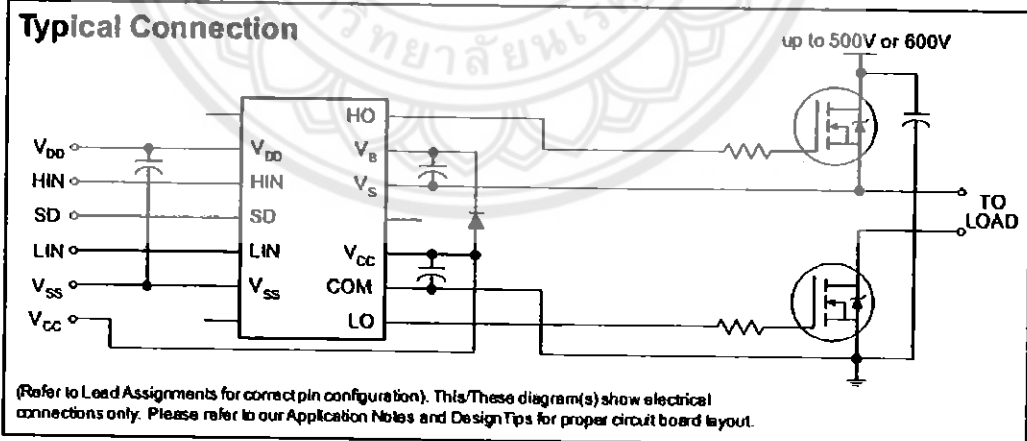


16-Lead SOIC  
IR2110S/IR2113S

### Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

### Typical Connection



## IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International  
IOR Rectifier

### Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V
	(IR2113)	-0.3	625	
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	-0.3	25	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3	
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C (14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient (14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	100	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	—	150	°C
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150	
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300	

### Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply absolute voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V<sub>S</sub> of -4 to +500V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -4V to -V<sub>B</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

International  
IR Rectifier

## IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

### Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $C_L$  = 1000 pF,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$t_{on}$	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
$t_{off}$	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
$t_{sd}$	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
$t_r$	Turn-on rise time	10	—	25	35		
$t_f$	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

### Static Electrical Characteristics

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

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{IH}$	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
$V_{IL}$	Logic "0" input voltage	13	—	—	8.0		
$V_{OH}$	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
$V_{OL}$	Low level output voltage, $V_O$	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
$I_{LK}$	Offset supply leakage current	16	—	—	50	$\mu A$	$V_B = V_S = 500V/600V$
$I_{QBS}$	Quiescent $V_{BS}$ supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QCC}$	Quiescent $V_{CC}$ supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QDD}$	Quiescent $V_{DD}$ supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{IN+}$	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
$I_{IN-}$	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
$V_{BSUV+}$	$V_{BS}$ supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
$V_{BSUV-}$	$V_{BS}$ supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
$I_{O+}$	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$ , $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
$I_{O-}$	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$ , $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

## รายละเอียดของออปแอมป์ LM358



**LM158,A-LM258,A  
LM358,A**

### LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

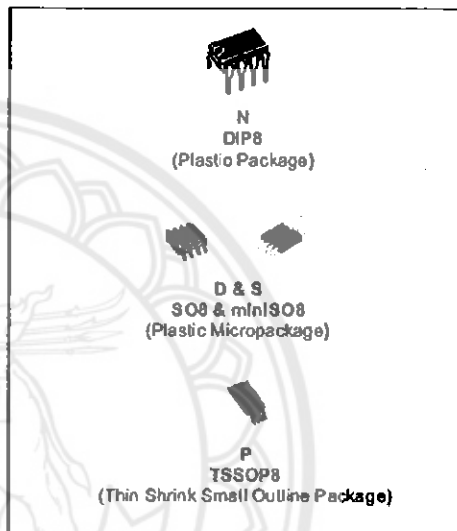
- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO (V<sub>CC</sub> - 1.5V)

**DESCRIPTION**

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.



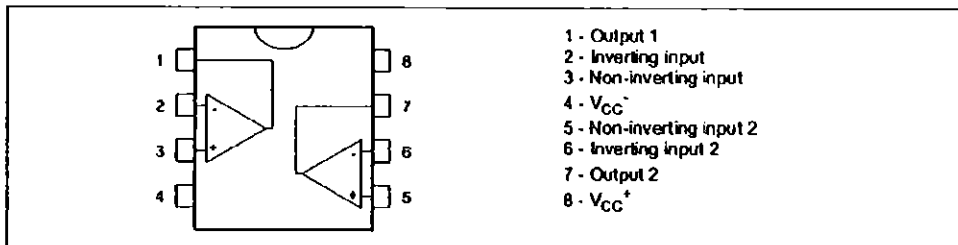
**ORDER CODE**

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	•		•	•
LM258,A	-40°C, +105°C	•		•	•
LM358,A	0°C, +70°C	•	•	•	•

Example : LM258N

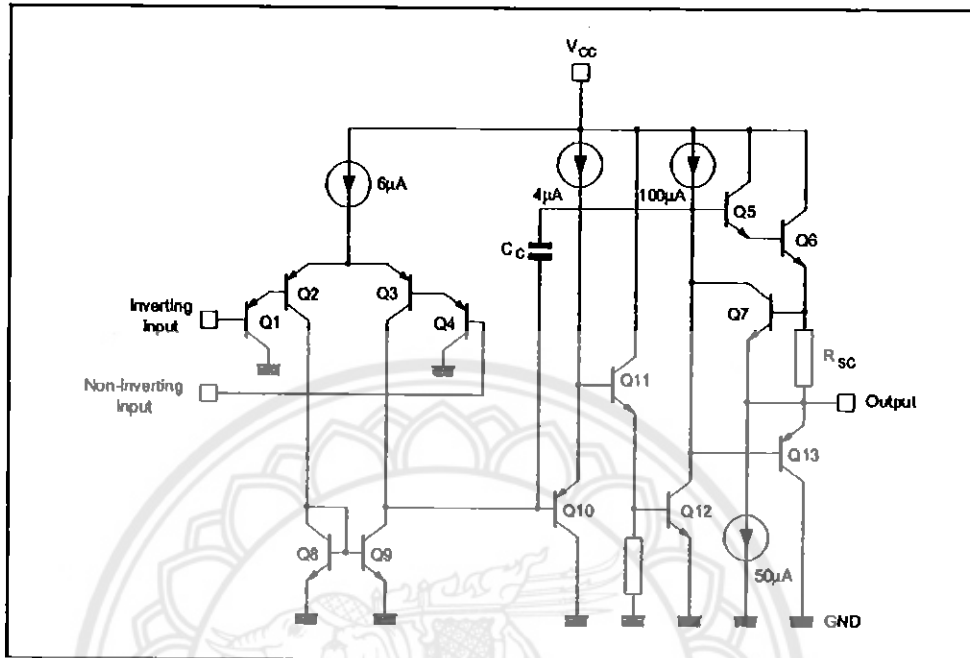
N = Dual in Line Package (DIP)  
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)  
S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)  
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

**PIN CONNECTIONS (top view)**



## LM158,A-LM258,A-LM358,A

## SCHEMATIC DIAGRAM (1/2 LM158)



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM158,A	LM258,A	LM358,A	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage		+32		V
$V_i$	Input Voltage		-0.3 to +32		V
$V_{id}$	Differential Input Voltage		+32		V
$P_{tot}$	Power Dissipation <sup>1)</sup>		500		mW
	Output Short-circuit Duration <sup>2)</sup>		Infinite		
$I_{in}$	Input Current <sup>3)</sup>		50		mA
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

- Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature ( $T_j$ ) is not exceeded.
- Short-circuits from the output to  $V_{CC}$  can cause excessive heating if  $V_{CC} > 15V$ . The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of  $V_{CC}$ . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
- The input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamp. In addition to the diode action, there is also RPN parasitic action on the IC chip, the transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the  $V_{CC}$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

## LM158,A-LM258,A-LM358,A

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$ ,  $V_{CC}^- = \text{Ground}$ ,  $V_o = 1.4V$ ,  $T_{amb} = +25^\circ C$  (unless otherwise specified)

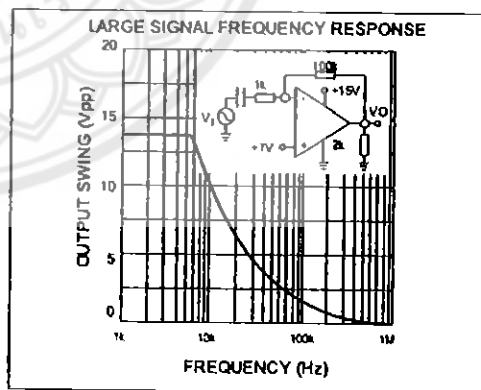
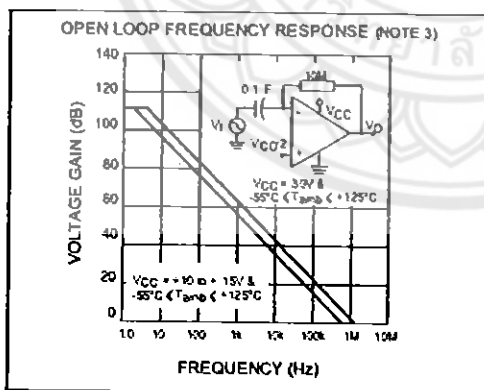
Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input Offset Voltage - note 1) $T_{amb} = +25^\circ C$ LM158, LM258 LM158A		1	3		2	7 5	mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM158, LM258			4			9 7	
$I_{io}$	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	10 30		2	30 40	nA
$I_b$	Input Bias Current - note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	50 100		20	150 200	nA
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = +15V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	100		65 65	100		dB
$I_{CC}$	Supply Current, all Amp, no load $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$		0.7	1.2 1		0.7	1.2 2	mA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	85		70 60	85		dB
$I_{source}$	Output Current Source $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$ , $V_{id} = +1V$	20	40	60	20	40	60	mA
$I_{sink}$	Output Sink Current ( $V_{id} = -1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$	10	20		10	20		mA
	$V_{CC} = +15V$ , $V_o = +0.2V$	12	50		12	50		$\mu A$
$V_{OPP}$	Output Voltage Swing ( $R_L = 2k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	



LM158,A-LM258,A-LM358,A

Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{OH}$	High Level Output Voltage ( $V_{CC} = 30V$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$	26 26 27 27	27 28		26 26 27 27	27 28		V
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage ( $R_L = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20		5 20 20		mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V, V_i = 0.5$ to $3V, R_L = 2k\Omega,$ $C_L = 100pF,$ unity Gain	0.3	0.6		0.3	0.6		V/ $\mu s$
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V, f = 100kHz, V_{in} = 10mV, R_L = 2k\Omega,$ $C_L = 100pF$	0.7	1.1		0.7	1.1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz, A_v = 20dB, R_L = 2k\Omega, V_o = 2V_{pp},$ $C_L = 100pF, V_O = 2V_{pp}$		0.02			0.02		%
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz, R_s = 100\Omega, V_{CC} = 30V$		55		55			$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
$DV_{io}$	Input Offset Voltage Drift		7	15		7	30	$\mu V/^{\circ}C$
$DI_{io}$	Input Offset Current Drift		10	200		10	300	$pA/^{\circ}C$
$V_{oi}/V_{oz}$	Channel Separation - note 4) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		120			dB

- $V_o = 1.4V, R_i = 0\Omega, 5V < V_{CC} < 30V, 0 < V_e < V_{CC} - 1.5V$
- The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input line.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is  $V_{CC} - 1.5V$ , but either or both inputs can go to  $+32V$  without damage.
- Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as the type of capacitance increases at higher frequencies.



## ภาคผนวก ข

## รหัสต้นฉบับ (Source code) ที่ใช้ในโครงการนี้

```

;LCD_Port
PORT_LCD EQU P2
RS_LCD EQU P2.1
RW_LCD EQU P2.2
EN_LCD EQU P2.3
D4_LCD EQU P2.4
D5_LCD EQU P2.5
D6_LCD EQU P2.6
D7_LCD EQU P2.7

;Data_Select
START_PRO EQU P0.1
UP_DATA EQU P0.0
DOWN_DATA EQU P0.2

;SFR_ADC
ADCLK EQU 0F2H
ADCON EQU 0F3H
ADDL EQU 0F4H
ADDH EQU 0F5
ADCF EQU 0F6H

;SFR_PWM
CMOD EQU 0D9H
CCON EQU 0D8H
CCAP0H EQU 0FAH
CCAP0L EQU 0EAH

```

```
CCAPM0 EQU 0DAH
CH EQU 0F9H
CL EQU 0E9H

;SFR_Clock
CKCON0 EQU 08FH

;Address_Byte
ORG 20H
BUFF_VI EQU 020H
BUFF_VO EQU 021H
BUFF_IP EQU 022H
BUFF_PO EQU 023H
P_OLD EQU 024H
P_NEW EQU 025H
COUNT_PWM EQU 02AH
TEMP_DIV_L EQU 02EH
TEMP_DIV_H EQU 02FH
VI_0 EQU 030H
VI_1 EQU 031H
VI_2 EQU 032H
VO_0 EQU 033H
VO_1 EQU 034H
VO_2 EQU 035H
IP_0 EQU 036H
IP_1 EQU 037H
IP_2 EQU 038H
PO_0 EQU 039H
PO_1 EQU 03AH
PO_2 EQU 03BH
CHECK_LINE EQU 040H
CHECK_PWM EQU 041H
```

```

;Start_Main
ORG 00H

MAIN:      CLR      P1.3

           MOV      CKCON0,#00100000B
           MOV      COUNT_PWM,#0AFH
           SETB     UP_DATA
           SETB     DOWN_DATA
           SETB     START_PRO
           MOV      CHECK_LINE,#00H
           MOV      CHECK_PWM,#00H
           MOV      P_OLD,#00H

LCD_START: LCALL    INIT_LCD

LOOP_INITIAL: MOV     A,#00H

           LCALL    GOTO_LCD
           LCALL    PRINT_LCD
           DB       "..MPPT Project..",00H
           MOV      A,#40H
           LCALL    GOTO_LCD
           LCALL    PRINT_LCD
           DB       ".Eng NU Student.",00H
           LCALL    DELAY2
           LCALL    DELAY2
           LCALL    DELAY2

LOOP_2:    LCALL    AD0
           MOV      R0,BUFF_VI
           LCALL    MATH_ASCII
           MOV      VI_0,R3
           MOV      VI_1,R2
           MOV      VI_2,R1
           ;
           MOV      A,#00H

```



```

        LCALL    WR_LCD

        MOV     A,#40H
        LCALL   GOTO_LCD
        LCALL   PRINT_LCD
        DB     ">>...Start...>>>",00H
        LCALL   DELAY2

        MOV     A,#40H
        LCALL   GOTO_LCD
        LCALL   PRINT_LCD
        DB     " ",00H
        LCALL   DELAY2
        JNB    START_PRO,CLR_LCD
        LJMP   LOOP_2
CLR_LCD: SETB    P1.3
        MOV     A,#01H
        LCALL   WR_INS

START_PWM: MOV    P_NEW,BUFF_PO

        MOV     A,P_NEW
        CLR     C
        CJNE   A,P_OLD,COMP_V
        SJMP   CHECK_BEFORE
COMP_V:   JC     CHECK_AGAIN
        JNC    CHECK_BEFORE
CHECK_AGAIN: MOV   A,CHECK_PWM

        CJNE   A,#00H,INVS
        MOV    CHECK_PWM,#0FH
        SJMP   CHECK_BEFORE

```

```

INVS:          MOV          CHECK_PWM,#00H
CHECK_BEFORE:  MOV          A,CHECK_PWM
               CJNE        A,#0FH,INC_PWM
DEC_PWM:      MOV          CHECK_PWM,#0FH
               INC          COUNT_PWM
               SJMP        MOV_DATA
INC_PWM:      MOV          CHECK_PWM,#00H
               DEC          COUNT_PWM
MOV_DATA:     MOV          P_OLD,P_NEW
               MOV          CMOD,#00000010B
               MOV          CCON,#01000000B
               MOV          CCAP0H,COUNT_PWM
               MOV          CCAP0L,CCAP0H
               MOV          CCAPM0,#01000010B
               LCALL        AD0
               LCALL        AD1
               LCALL        AD2
               LCALL        MATH_PO
               LCALL        START_VI
               LCALL        LCD_DISPLAY
               LCALL        DELAY
               LJMP        START_PWM

;ADC
AD0:          MOV          ADCF,#00000001B
               MOV          ADCON,#00100000B
               ORL          ADCON,#00000000B
               ORL          ADCON,#00001000B
WAIT_AD0:    MOV          A,ADCON
               ANL          A,#00010000B
               CJNE        A,#00010000B,WAIT_AD0

```

```
MOV      BUFF_VI,ADDH
ANL      ADCON,#11101111B
RET

AD1:     MOV      ADCF,#00000010B
MOV      ADCON,#00100000B
ORL      ADCON,#00000001B
ORL      ADCON,#00001000B

WAIT_AD1: MOV      A,ADCON
ANL      A,#00010000B
CJNE     A,#00010000B,WAIT_AD1
MOV      BUFF_VO,ADDH
ANL      ADCON,#11101111B
RET

AD2:     MOV      ADCF,#00010000B
MOV      ADCON,#00100000B
ORL      ADCON,#000000100B
ORL      ADCON,#00001000B

WAIT_AD2: MOV      A,ADCON
ANL      A,#00010000B
CJNE     A,#00010000B,WAIT_AD2

MOV      BUFF_IP,ADDH
ANL      ADCON,#11101111B
RET


;Find_Power
MATH_PO: MOV      A,BUFF_VI
MOV      B,BUFF_IP
MUL      AB
MOV      R0,A
MOV      R1,B
```



```
div16:      CLR      C
            MOV      R4,#00h
            MOV      R5,#00h
            MOV      R2,#100
            MOV      R3,#00H
            MOV      B,#00h

div1:       INC      B
            MOV      A,R2
            RLC      A
            MOV      R2,A
            MOV      A,R3
            RLC      A
            MOV      R3,A
            JNC      div1

div2:       MOV      A,R3
            RRC      A
            MOV      R3,A
            MOV      A,R2
            RRC      A
            MOV      R2,A
            CLR      C
            MOV      TEMP_DIV_H,R1
            MOV      TEMP_DIV_L,R0
            MOV      A,R0
            SUBB     A,R2
            MOV      R0,A
            MOV      A,R1
            SUBB     A,R3
            MOV      R1,A
            JNC      div3
            MOV      R1,TEMP_DIV_H
            MOV      R0,TEMP_DIV_L
```



```
div3:          CPL          C
               MOV          A,R4
               RLC          A
               MOV          R4,A
               MOV          A,R5
               RLC          A
               MOV          R5,A
               DJNZ         B,div2
               MOV          BUFF_PO,R4
               RET

;HEX_TO_ASCII
START_VI:      MOV          R0,BUFF_VI
               LCALL         MATH_ASCII
               MOV          VI_0,R3
               MOV          VI_1,R2
               MOV          VI_2,R1
START_VO:      MOV          R0,BUFF_VO
               LCALL         MATH_ASCII
               MOV          VO_0,R3
               MOV          VO_1,R2
               MOV          VO_2,R1
START_IP:      MOV          R0,BUFF_IP
               LCALL         MATH_ASCII
               MOV          IP_0,R3
               MOV          IP_1,R2
               MOV          IP_2,R1
START_PO:      MOV          R0,BUFF_PO
               LCALL         MATH_ASCII
               MOV          PO_0,R3
               MOV          PO_1,R2
               MOV          PO_2,R1
```

```

                                RET

;LCD_DISPLAY
LCD_DISPLAY: SJMP             X11
XX1:                MOV             CHECK_LINE,#00H
                   MOV             A,#01H
                   LCALL            WR_INS
X11:                MOV             A,CHECK_LINE
                   CJNE            A,#00H,X22
                   MOV             A,#00H
                   LCALL            GOTO_LCD
                   LCALL            VIN
                   MOV             A,#40H
                   LCALL            GOTO_LCD
                   LCALL            POWER
                   JNB             DOWN_DATA,XX2
                   SJMP            DIS_DELAY
XX2:                JNB             DOWN_DATA,$
                   JNB             UP_DATA,$
                   MOV             CHECK_LINE,#02H
                   MOV             A,#01H
                   LCALL            WR_INS
X22:                MOV             A,CHECK_LINE
                   CJNE            A,#02H,X33
                   MOV             A,#00H
                   LCALL            GOTO_LCD
                   LCALL            IPV
                   MOV             A,#40H
                   LCALL            GOTO_LCD
                   LCALL            POWER
                   JNB             DOWN_DATA,XX3
                   JNB             UP_DATA,XX1

```

```

                SJMP      DIS_DELAY
XX3:            JNB       DOWN_DATA,$
                MOV       CHECK_LINE,#04H
                MOV       A,#01H
                LCALL     WR_INS
X33:            MOV       A,#00H
                LCALL     GOTO_LCD
                LCALL     VIN
                MOV       A,#40H
                LCALL     GOTO_LCD
                LCALL     VOUT
                JNB       UP_DATA,XX2
DIS_DELAY:     LCALL     DELAY
                RET
;Math_for_ASCII
MATH_ASCII:    MOV       A,R0
                MOV       B,#100
                DIV       AB
                MOV       R1,A
                MOV       A,B
                MOV       B,#10
                DIV       AB
                MOV       R2,A
                MOV       R3,B
                MOV       A,R1
                ANL       A,#0FH
                ORL       A,#30H
                MOV       R1,A
                MOV       A,R2
                ANL       A,#0FH
                ORL       A,#30H

```

```
MOV     R2,A
MOV     A,R3
ANL     A,#0FH
ORL     A,#30H
MOV     R3,A
RET
```

;LCD\_DIS

```
VIN:    MOV     A,#'V'
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#'I'
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#' '
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#' '
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#'='
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#' '
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,VI_2
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,VI_1
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#'.'
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,VI_0
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#' '
        LCALL   WR_LCD
        MOV     A,#'V'
        LCALL   WR_LCD
```

```
RET
VOUT: MOV A,#'V'
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#'o'
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#' '
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#' '
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#'='
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#' '
      LCALL WR_LCD
      MOV A,VO_2
      LCALL WR_LCD
      MOV A,VO_1
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#'.'
      LCALL WR_LCD
      MOV A,VO_0
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#' '
      LCALL WR_LCD
      MOV A,#'V'
      LCALL WR_LCD
      RET
IPV: MOV A,#'I'
     LCALL WR_LCD
     MOV A,#'p'
     LCALL WR_LCD
```

```
MOV      A,#'v'  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#' '  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#'='  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#' '  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,IP_2  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#'.'  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,IP_1  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,IP_0  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#' '  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#'A'  
LCALL   WR_LCD  
RET
```

```
POWER:  MOV      A,#'P'  
        LCALL   WR_LCD  
        MOV      A,#'o'  
        LCALL   WR_LCD  
        MOV      A,#' '  
        LCALL   WR_LCD  
        MOV      A,#' '  
        LCALL   WR_LCD  
        MOV      A,#'='  
        LCALL   WR_LCD
```

```
MOV      A,#' '  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,PO_2  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,PO_1  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#'.'  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,PO_0  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#' '  
LCALL   WR_LCD  
MOV      A,#'W'  
LCALL   WR_LCD  
RET  
;LCD_START  
INIT_LCD:  
CLR      EN_LCD  
CLR      D4_LCD  
SETB     D5_LCD  
CLR      D6_LCD  
CLR      D7_LCD  
CLR      RS_LCD  
CLR      RW_LCD  
LCALL   EN_WRLCD  
LCALL   BUSY_LCD  
  
MOV      A,#28H  
LCALL   WR_INS  
MOV      A,#0CH  
LCALL   WR_INS  
MOV      A,#06H
```



```
LCALL WR_INS
MOV A,#01H
LCALL WR_INS
RET

;WRITE_LCD
WR_INS: CLR RS_LCD
S JMP WR_LCD1

WR_LCD: SETB RS_LCD
WR_LCD1: PUSH ACC
ANL A,#11110000B
ANL PORT_LCD,#00001111B
ORL PORT_LCD,A
LCALL EN_WRLCD
POP ACC
ANL A,#00001111B
SWAP A
ANL PORT_LCD,#00001111B
ORL PORT_LCD,A
LCALL EN_WRLCD
LCALL BUSY_LCD
RET

;LCD_COM
GOTO_LCD: SETB ACC.7
LCALL WR_INS
RET

EN_WRLCD: SETB EN_LCD
NOP
```

```

NOP
NOP
NOP
CLR      EN_LCD
RET

;WAIT_LCD
BUSY_LCD:  PUSH      ACC
           CLR       RS_LCD
           SETB     RW_LCD
           ORL      PORT_LCD,#11110000B
           SETB     EN_LCD
WAIT_BUSY: MOV      A,PORT_LCD
           JB       ACC.7,WAIT_BUSY
           CLR      EN_LCD
           CLR      RW_LCD
           POP      ACC
           RET

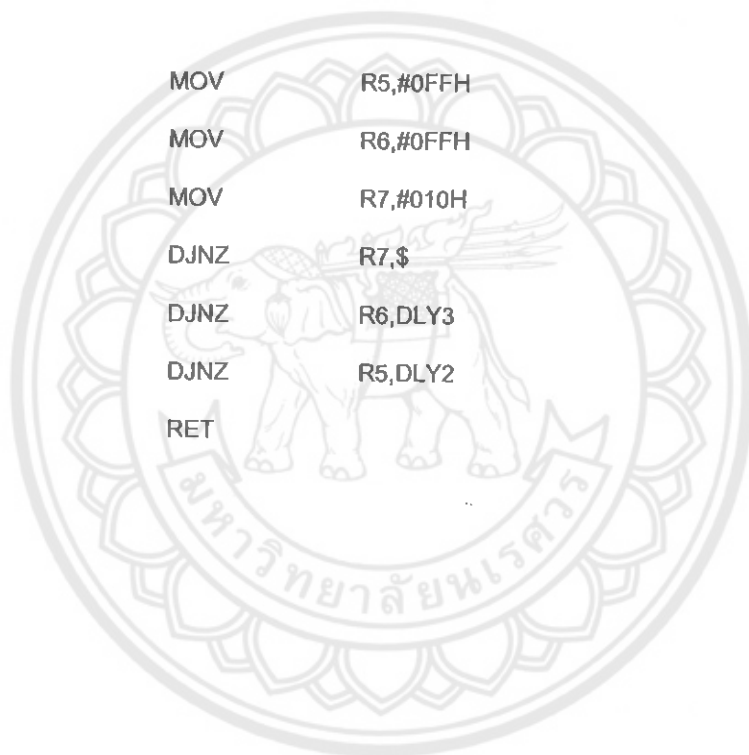
;PRINT_LCD
PRINT_LCD: POP      DPH
           POP      DPL
PRN_LCD1:  CLR      A
           MOVC     A,@A+DPTR
           CJNE    A,#00H,PRN_LCD2
           LJMP    PRN_LCD3
PRN_LCD2:  LCALL    WR_LCD
           INC     DPTR
           LJMP    PRN_LCD1
PRN_LCD3:  PUSH     DPL
           PUSH     DPH
           RET

```

```
;DELAY  
DELAY:      MOV      R5,#50  
DLY0:      MOV      R6,#10  
DLY1:      MOV      R7,#0  
           DJNZ     R7,$  
           DJNZ     R6,DLY1  
           DJNZ     R5,DLY0  
           RET
```

```
DELAY2:    MOV      R5,#0FFH  
DLY2:      MOV      R6,#0FFH  
DLY3:      MOV      R7,#010H  
           DJNZ     R7,$  
           DJNZ     R6,DLY3  
           DJNZ     R5,DLY2  
           RET
```

```
END
```



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายบัญชา สदानทรัพย์  
 ภูมิลำเนา 10 ซอยพหลโยธิน 24 แยก 4-3 แขวงจอมพล  
 เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนชุมแสงชนูทิศ
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
นเรศวร

Email: havvy\_ko@hotmail.com



ชื่อ นายพลวัฒน์ ทองบัวบาน  
 ภูมิลำเนา 515/1 ถนนมาลาเบียง ต. ในเมือง อ. เมือง  
 จ. พิษณุโลก

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
นเรศวร

Email: na\_met\_ta@hotmail.com



ชื่อ นายศิวรักษ์ นิลสุขุม  
ภูมิลำเนา 161/5 หมู่ 6 ต. พยุหะ อ. พยุหะคีรี จ. นครสวรรค์  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนลาชาลโชติรวี นครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย นเรศวร

Email: rak\_clubx@hotmail.com

