เครื่องตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ด้วย Cellular Phone

Monitor Illegal Tree Logging Module

ณัชพล เทพบุญ

Nutchapol Thepboon

ธนพัชร์ พุฒิวรสิษฐ์

Thanapat Puttiworasit

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ด้วย Cellular Phone

Monitor Illegal Tree Logging Module

T143858

ณัชพล เทพบุญ

Nutchapol Thepboon

ธนพัชร์ พุฒิวรสิษฐ์

Thanapat Puttiworasit

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา

เลขหมู่
เลขทะเบียน 143858
วัน,เดือน,ปี 04 ต.ค. 2559

b.19810402X
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2558

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ด้วย Cellular phone Monitor Illegal Tree Logging Module

ผู้จัดทำ นายณัชพล เทพบุญ รหัสประจำตัว 55010332

นาย ธนพัชร์ พุฒิวรสิษฐ์ รหัสประจำตัว 55010493

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ด้วย Cellular Phone	
นักศึกษา	นาย ณัชพล เทพบุญ	รหัสประจำตัว 55010332
	นาย ธนพัชร์ พุฒิวรสิษฐ์	รหัสประจำตัว 55010493
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา	

บทคัดย่อ

ในการเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 4 สาขา อิเล็กทรอนิกส์ นี้ได้มีวิชา PROJECT เพื่อให้นักศึกษาคิดค้น ทำการค้นคว้าหาข้อมูล และออกแบบโครงงานทางอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมา ซึ่งผู้จัดทำได้เลือกทำโครงงาน เครื่องตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ด้วย Cellular phone ขึ้นมาเพื่อทำการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบการลักลอบการตัดไม้แบบผิดกฎหมายที่สามารถตรวจสอบและแจ้งเตือนการลักลอบตัดไม้และล่าสัตว์ในพื้นที่เป้าหมายได้ โดยใช้การตรวจสอบผ่านทาง Cellular phone ที่ใช้แอพพลิเคชั่นในการตรวจจับเสียงในอากาศ และสามารถวิเคราะห์แยกแยะเสียงที่ต้องการได้ โดยที่มีการบันทึกเวลาและเหตุการณ์ในเวลาที่ตรวจพบการลักลอบ แล้วใช้การแจ้งเตือนทาง SMS ไปยังเจ้าหน้าที่ป่าไม้เพื่อทำการตรวจสอบในพื้นที่เกิดเหตุ Cellular phone จะใช้วงจรชาจน์แบตเตอรี่โทรศัพท์ในการจ่ายพลังงานให้กับโทรศัพท์เพื่อที่สามารถให้ทำงานได้ตลอดเวลา ผู้จัดทำหวังว่าโครงงานครั้งนี้จะฝึกฝนแนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบคำสั่งในการใช้งานแอพพลิเคชั่นต่างๆและสามารถนำเครื่องตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ ไปใช้งานได้จริงได้อย่างเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Monitor illegal tree logging module
Student	Mr. Nutchapol Thepboon Student ID 55010332 Mr. Thanapat Puttiworasit Student ID 55010493
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Dr. Wibool Piyawattanametha

ABSTRACT

In the fourth years of the Faculty of Engineering, Electronic major. We have to design the electronic project for the student to searching information and design the electronic project. So we decide to make the monitor illegal tree logging module for build up the device for detect illegal tree logging that can be detected and inform the situation of tree logging or wildlife hunting in forest area, Using the application on the cellular phone to detect the sound in the air and analyze the target sound . Record the time and kind of sound when detect the sound of tree logging, Then it'll send the message to the forest ranger for go and check in device area. Cellular phone use the battery charging circuit for power the phone can work all times. We hope this project practice us to design thinking of electronic design, how to control and design application with code and use the monitor illegal tree logging module can work in real situation to environment useful.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายในการช่วยรวบรวมข้อมูล ศึกษาหลักการและทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการค้นคว้า ทดลองการทำงานของอุปกรณ์และการออกคำสั่งในการทำงาน ขอขอบคุณ ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา ในการให้คำแนะนำหัวข้อปริญญานิพนธ์ หลักการที่ใช้การออกแบบ การทำปริญญานิพนธ์ การออกแบบส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ การมอบความรู้ทางวิชาการและปฏิบัติแก่นักศึกษา คำแนะนำการทำรายงาน ช่วยชี้แนะและค้นคว้าข้อมูล แนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ทั้งด้านการแนะนำ การออกแบบ และ การทำรูปเล่มรายงาน ขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่ให้คำแนะนำในการออกแบบและแก้ไขคำสั่งโปรแกรมต่างๆ ที่ช่วยเหลือในการทดลองปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ และ ขอขอบคุณเพื่อนทุกคน และ อาจารย์ท่านทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือในการทำงานให้สำเร็จด้วยดี

ณัชพล เทพบุญ

ธนพัชร์ พุฒิวรสิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2

1.2 ขอบเขตของโครงงาน.....2

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.4 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน.....2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....4

2.1 Solar cells.....4

2.2 Sealed acid battery.....10

2.3 Regulator.....12

2.4 Diode.....13

2.5 Android studio.....14

2.6 Java.....16

27. Sound & Frequency.....17

2.8 Sound file.....19

2.9 Fast Fourier Transform.....21

บทที่ 3 การออกแบบด้าน Hardware.....28

3.1 หลักการออกแบบ.....28

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ.....28

3.3 การกำหนด Input และ Output.....28

3.4 การออกแบบ Solar Panel.....29

3.5 การออกแบบระบบ Solar cell.....31

3.6 การออกแบบวงจรปรับระดับแรงดันกระแสตรงที่ 5 volt.....32

3.7 การออกแบบวงจรชาร์จโทรศัพท์.....32

3.8 การออกแบบการห่อหุ้มโมดูล.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การออกแบบด้าน Software....34
4.1 หลักการออกแบบ....34
4.2 การใช้งาน Android studio ในการสร้าง Application....35
4.3 หลักการออกแบบ Application....37
4.4 หลักการวิเคราะห์เสียงและความถี่....37
4.5 หลักการในการแจ้งเตือน....38
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง....39
5.1 การทดสอบการเชื่อมต่อระบบ Solar cell....39
5.2 การทดสอบการจ่ายพลังงานของ Solar cell....40
5.3 การทดสอบการใช้งานวงจรชาร์จโทรศัพท์....40
5.4 การทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ห่อหุ้ม Module....41
5.5 การทดสอบการรับเสียงและความถี่....42
5.6 การทดสอบวิเคราะห์และแยกแยะเสียงและความถี่....42
5.7 การทดสอบการส่งข้อความแจ้งเตือน....43
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....44
เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก ก
ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 ระดับความถี่ของแสงระดับความถี่ของแสง.....18
2.2 การคำนวณ DFT.....27
4.1 ตัวอย่างช่วงความถี่ของเสียง.....37
5.1 การจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสในแต่ละช่วงเวลา.....40
5.2 ตารางแสดงค่าแรงดันที่ USB port.....41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 การทำงานหลักของโมดูล....1

2.1 ภาพของแผง Solar panel ที่ติดตั้งเป็นระบบ....4

2.2 ชนิดของ Solar cell....4

2.3 ชนิดของ Solar cell ประเภท Silicon....5

2.4 ส่วนประกอบของ Solar cell....5

2.5 รูปแบบการทำงานของ Solar cell....6

2.6 การทำงานของ Solar cell....6

2.7 การทำงานของ Solar cell....7

2.8 การทำงานของ Solar cell....7

2.9 การทำงานของ PV Stand alone system....8

2.10 การทำงานของ PV Grid connected system....8

2.11 การทำงานของ PV Hybrid system....9

2.12 Sealed lead acid batteryในขนาดต่างๆ....10

2.13 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดปด....11

2.14 Regulator LM7805....12

2.15 การใช้งาน Regulator....12

2.16 Diode....13

2.17 Android studio....14

2.18 Android studio....15

2.19 การใช้งาน Android studio....15

2.20 Java....16

2.21 Frequency....17

2.22 Sound file....19

2.23 Fast Fourier Transform....21

2.24 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....21

2.25 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....22

2.26 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....22

2.27 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....22

2.28 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....23

2.29 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....23

2.30 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....24

2.31 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....24

2.32 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....24

2.33 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....25

2.34 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.35 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....26
2.36 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....26
2.37 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform....26
3.1 การทำงานของอุปกรณ์ Hardware....28
3.2 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม....29
3.3 การเชื่อมต่อแบบขนาน....30
3.4 Solar panel....30
3.5 การออกแบบระบบ Solar cell....31
3.6 รูปแบบวงจรปรับระดับแรงดันกระแสตรง....32
3.7 ตัวอย่างวงจรชาร์จโทรศัพท์....32
3.8 การออกแบบการห่อหุ้มผลิตภัณฑ์....33
4.1 การทำงานของระบบ Software....34
4.2 การใช้งาน Android studio....35
4.3 การใช้งาน Android studio....36
4.4 การใช้งาน Android studio....36
5.1 การทดลองติดตั้งโมดูล....41
5.2 การทดลองรับเสียงและความถี่....42
5.3 สัญญาณเสียงและความถี่ของปืนไรเฟิลล่าสัตว์....42
5.4 สัญญาณเสียงและความถี่ของเลื่อยยนต์....43
5.5 การทดสอบการส่งข้อความแจ้งเตือน....43

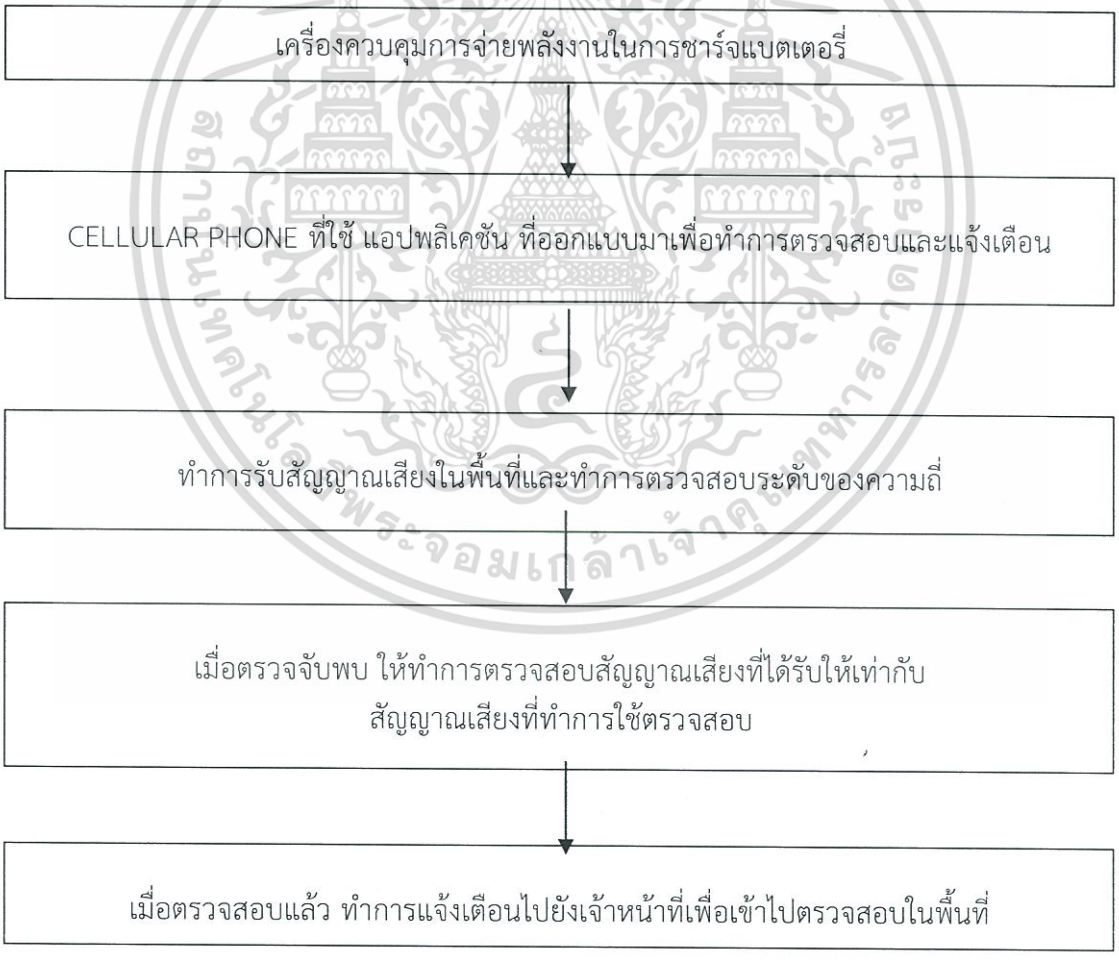
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในการเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 4 สาขา อิเล็กทรอนิกส์ ภาคเรียนที่ 2 นี้ได้มีวิชา PROJECT 2 เพื่อให้นักศึกษาคิดค้น วิจัย ออกแบบ สร้างโครงงานทางอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมา ซึ่งผู้จัดทำได้เลือกทำโครงงาน เครื่องตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ด้วย Cellular phone ขึ้นมาเพื่อใช้ในการทำงานที่ต้องการตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ในพื้นที่ป่าไม้ ใช้การตรวจสอบผ่านอุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้นมาใช้ตรวจจับสัญญาณเสียงในพื้นที่ แล้วทำการแจ้งเตือน โดยใช้สัญญาณโทรศัพท์ในการแจ้งเตือน โดยทำการออกแบบ แอบพลิเคชัน มาควบคุมการตรวจสอบและแจ้งเตือนในการทำงาน ซึ่งทางโครงงานนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ในเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติทับลาน โดยวิธีการนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปติดตั้งและทดสอบการใช้งาน เพื่อที่จะสามารถตรวจสอบการลักลอบได้

โครงสร้างการทำงาน



รูปที่ 1.1 การทำงานหลักของโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อแก้ไขปัญหาการลักลอบตัดไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติ
2. เพื่อตรวจสอบการลักลอบตัดไม้ภายในพื้นที่
3. เพื่อทำการป้องกันการลักลอบตัดไม้และสามารถแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ได้
4. เพื่อศึกษาและออกแบบการสร้าง แอปพลิเคชัน ในการทำโครงงาน
5. เพื่อการศึกษาและใช้งานการใช้งาน Cellular phone ในระบบปฏิบัติการ Android
6. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ไม่มีไฟฟ้า
7. เพื่อศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการทำงาน
8. เพื่อทำการทดสอบการใช้งาน และสามารถพัฒนาให้ใช้งานได้ในอนาคต

.

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

1. อุปกรณ์สามารถติดตั้งในพื้นที่ได้ในระยะเวลาที่นาน
2. อุปกรณ์สามารถตรวจสอบสัญญาณเสียงและความถี่ในพื้นที่ได้
3. อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ในเวลานาน โดยไม่มีการเปิด – ปิดใหม่
4. อุปกรณ์สามารถทำการตรวจสอบเสียงเกี่ยวข้องกับการลักลอบตัดไม้ได้ อาทิเช่น เสียงเลื่อย, เสียงปืน เป็นต้น
5. อุปกรณ์สามารถทำการแจ้งเตือนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ ไปยังเจ้าหน้าที่ที่ดูแลได้

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. อุปกรณ์สามารถใช้งานได้จริงในพื้นที่ที่มีปัญหาในการลักลอบตัดไม้แบบผิดกฎหมาย โดยในโครงงานครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบการใช้งานที่อุทยานแห่งชาติทับลาน
2. ความรู้และทักษะที่เกิดขึ้นกับผู้จัดทำโครงการ ซึ่งมาจากการปฏิบัติงานจริง
3. ทักษะการแก้ปัญหาในการแก้ไขในการกิดปัญหาต่างๆ
4. ความรู้การออกแบบการใช้ แอปพลิเคชัน ในระบบ Android

1.4 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน

รายงานนี้ แสดงถึงรายละเอียดของโครงงานที่ได้จัดทำขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ รวมทั้งหมด 6 บท แต่ละบทกล่าวถึงดังต่อไปนี้

<u>บทที่ 1</u> เป็นบทนำของรายงาน ได้กล่าวถึงลักษณะโดยรวมของโครงงาน วัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตของโครงงาน ผลที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของโครงงานโดยย่อ

<u>บทที่ 2</u> กล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และแนวความคิดที่ได้ศึกษา ในการทำงานในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ ทั้งชนิด Hardware และ Software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการออกแบบ การคำนวณ การใช้งาน ที่ใช้ในอุปกรณ์แบบ Hardware

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการสร้างและออกแบบ แอปพลิเคชัน ในการใช้งาน โดยใช้ระบบปฏิบัติการณ์ Android โดยกล่าวถึงการใช้คำสั่งต่างๆ

บทที่ 5 กล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และ ผลการทดลอง

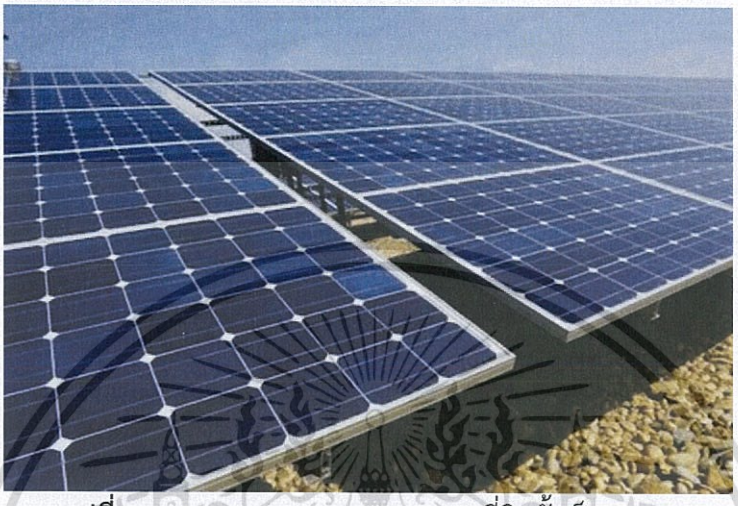
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง อุปสรรค ปัญหา และข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

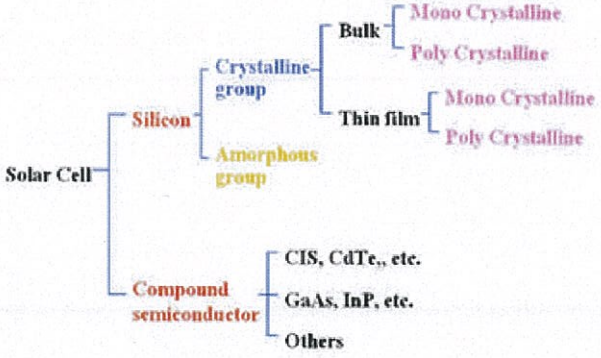
2.1 Solar cells เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 ภาพของแผง Solar panel ที่ติดตั้งเป็นระบบ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

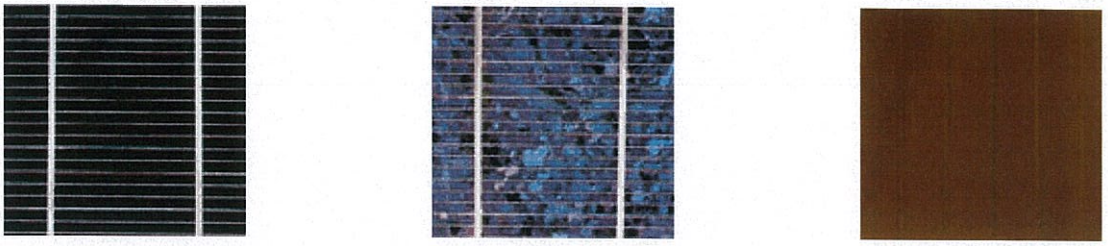
ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 ชนิดของ Solar cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ



แบบผลึกเดี่ยว
(Single Crystal)

แบบผลึกรวม
(Poly Crystal)

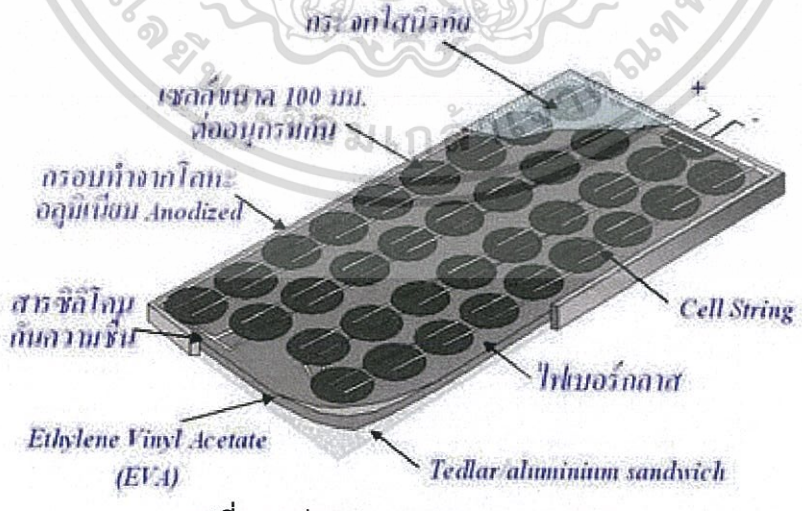
แบบอะมอร์ฟัส
(Amorphous)

รูปที่ 2.3 ชนิดของ Solar cell ประเภท Silicon

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของ Solar cell

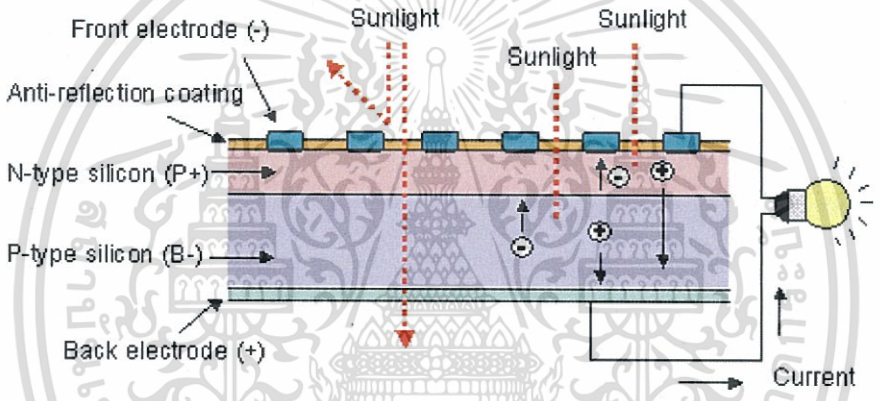
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสง อาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel)

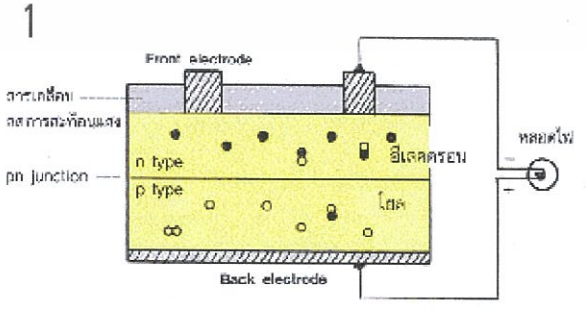
การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่ มีส่วนผสมของเหล็กต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการ ป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแดดกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็ไม่มีความจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminate) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง

หลักการทำงาน " เซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.5 รูปแบบการทำงานของ Solar cell

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ โดยมีวิธีการทำงานดังนี้

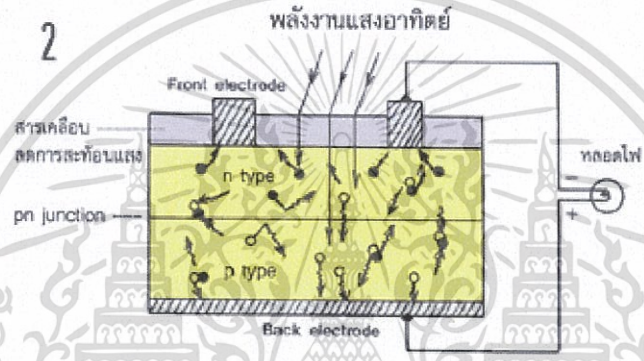


รูปที่ 2.6 การทำงานของ Solar cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

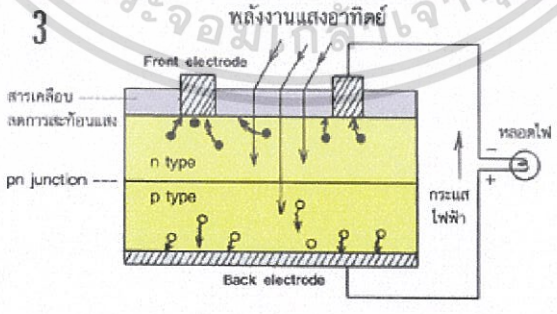
1. n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์
p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



รูปที่ 2.7 การทำงานของ Solar cell

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type



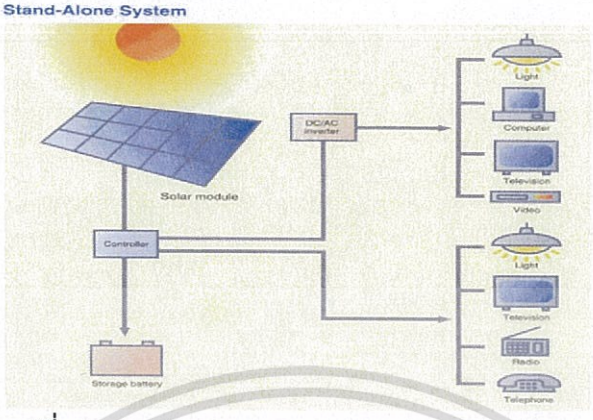
รูปที่ 2.8 การทำงานของ Solar cell

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

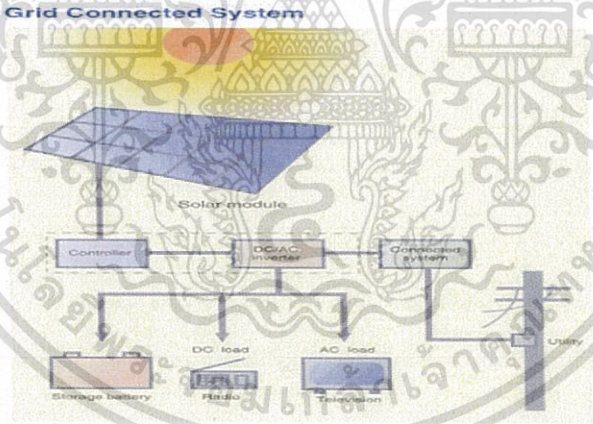
การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ



รูปที่ 2.9 การทำงานของ PV Stand alone system

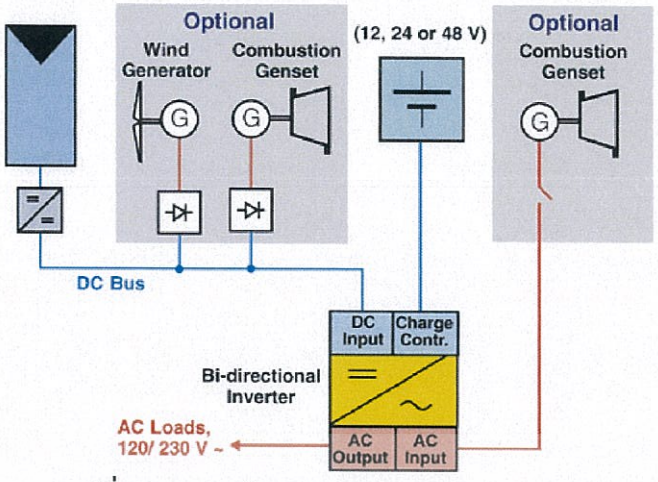
1. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ



รูปที่ 2.10 การทำงานของ PV Grid connected system

2. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การทำงานของ PV Hybrid system

3. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ

คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage หรือ V oc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5% x 5 องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V (21 V x 2.5%) เหลือเพียง 20.475 V (21V – 0.525V) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อ ตร.เมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศา C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 W ต่อ ตร.เมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศา C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

2.2 Sealed lead acid battery

รูปที่ 2.12 Sealed lead acid batteryในขนาดต่างๆ

คือ อุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่แห้งสมามรถนำมาชาร์จไฟใหม่ได้อย่างต่อเนื่องในจำนวนรอบการชาร์จที่กำหนดไว้ ใช้งานในการจ่ายพลังงานให้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ โดยมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและมีความคงทนสภาพได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

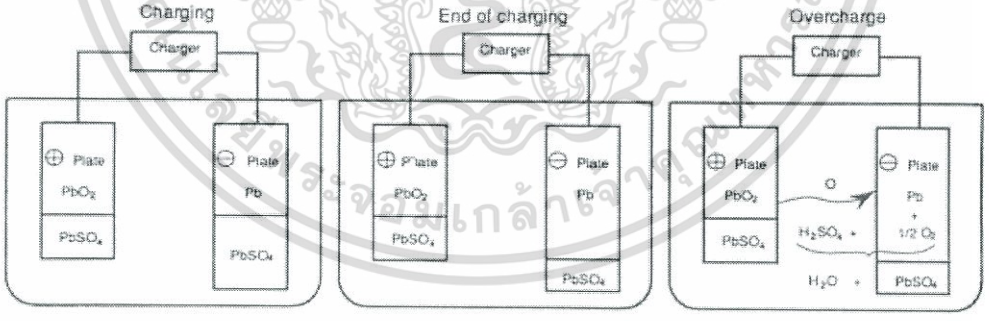
หลักการทำงานของแบตเตอรี่ ชนิด Seal Lead Acid (VRLA)

ปฏิกริยาของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดในระหว่างการประจุและคายประจุสามารถเขียนในรูปสมการ ทางเคมีได้ดังนี้

Anode (+)	Electrolyte	Cathode (-)		Anode (+)	Electrolyte	Cathode (-)
$PbSO_2$	$2H_2SO_4$ +	Pb	Discharge → ← Charge	$PbSO_4$ +	$2H_2O$ +	$PbSO_4$
Lead dioxide	Sulphuric acid	Porous lead		Lead sulphate	Water	Lead sulphate

สวนเกินของการประจุหลังจากการประจุที่สมบูรณแล้ว ทำให้เกิดขบวนการแยกน้ำเปนออกซิเจนและ ไฮโดรเจน (Electrolysis) ซึ่งจะเกิดการออกซิเจน (O2) ที่แยกแผนธาตุบวก และเกิดกาซไฮโดรเจน (H2) ที่ แผนธาตุลบ กาซก็จะถูกปลดปลอยออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้นระดับสารละลาย (Electrolyte) ก็จะลดลงดวยผล ดังกลาว จึงจำเปนตองเติมน้ำลงในแบตเตอรี่

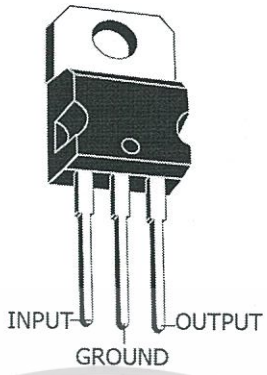
ออกซิเจน (O2) ถูกทำให้เกิดขึ้นบนแผนธาตุบวก ทำปฏิกริยาตะกั่วพรุน (Pb) ของแผนธาตุลบและถูก เปลี่ยนรูปเปน Lead Monoxide (PbO) ซึ่งตัว Lead Monoxide (PbO) ทำปฏิกริยากับ sulphuric Acid (H2SO4) อีกรอบหนึ่งกลายเปน Lead Sulphate (PbSO4) เมื่อเกิดการคายประจุเกิดขึ้นหรืออีกนัยหนึ่ง ออกซิเจน (O2) ของแผนธาตุบวกถูกดูดซับโดยแผนธาตุลบ โดยไมมีการรั่วไหลของออกซิเจนออกมาภายนอก ผลก็คือแผนธาตุลบไมได้สรางไฮโดรเจน (H2) ก็คือการที่น้ำไมได้สูญเสียไปจากแบตเตอรี่ดูจากรูปแสดงขบวน การทางเคมีของการคายประจุในแบตเตอรี่ชนิดปด



รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดปด

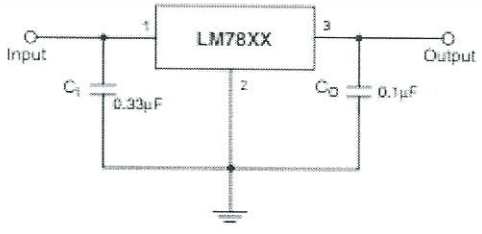
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Regulator ชนิด 3 ทาง



รูปที่ 2.14 Regulator LM7805

Regulator ชนิด 3 ทางนี้มีขาด้วยกัน 3 ขา ได้แก่ อินพุท เอาท์พุท และกราวด์ ให้สัญญาณเอาท์พุทคงที่ อุปกรณ์ชนิดนี้ทั่วไปได้แก่ IC ตระกูล 78XX กำหนดแรงดันด้วยตัวเลขสองตัวสุดท้ายของเลขอุปกรณ์ ซึ่งอาจเป็น 05,06,08,10,12,15,18 หรือ 24 รูปด้านล่างแสดงการสร้าง regulator ขนาด +5V ตัวเก็บประจุคร่อมเอาท์พุททำให้การตอบสนองทางเวลาดีขึ้น และทำให้อิมพีแดนซ์มีค่าต่ำที่ความถี่สูง(ควรใช้ตัวเก็บประจุอินพุท ค่าอย่างน้อย 0.33 ไมโครฟาราด เพิ่ม หากregulatorนี้อยู่ห่างจากตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองมากๆ) regulator ตระกูล 7800 นั้นอยู่ในรูปของพลาสติกหรือโลหะ(เช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์กำลัง หรือ power transistor) ส่วนรุ่นกำลังต่ำ 78xx นั้นอยู่ในรูปของพลาสติกและโลหะเหมือนกัน เช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์สำหรับสัญญาณขนาดเล็ก ส่วน regulator ตระกูล 7900 นั้นเป็น regulator ลบ ใช้งานแบบเดียวกัน(สำหรับแรงดันอินพุทลบ) regulator ตระกูล 7800 ให้กระแสโหลดได้ถึง 1 แอมป์ และมีวงจรภายในป้องกันความเสียหาย ในกรณีความร้อนเกินหรือกระแสโหลดสูงเกิน คือทำให้อุปกรณ์นี้ไม่ทำงาน แทนที่จะพัง นอกจากนี้วงจรภายในยังป้องกันการทำงานของทรานซิสเตอร์ไม่ให้เสียหายได้ โดยลดกระแสเอาท์พุทที่มีอยู่สำหรับ input-output voltage differential ที่สูง regulators เหล่านี้ราคาไม่แพงและง่ายต่อการใช้ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ออกแบบระบบและใช้ร่วมกับแผ่นลายวงจรที่ต้องใช้ unregulated DC สำหรับแผ่นลายวงจรแต่ละแผ่น เพื่อสร้างวงจร regulation บนแผ่นลายวงจรเหล่านี้แต่ละแผ่นด้วย



รูปที่ 2.15 การใช้งาน Regulator

Regulator 3 ทาง ชนิดแรงดันเอาท์พุทเปลี่ยนค่าไม่ได้นี้ยังมีอีกหลายชนิด LP2950 ใช้งานเช่นเดียวกับ 7805 แต่ดึงกระแสเพียง 75 ไมโครแอมป์(เปรียบเทียบกับ 5 แอมป์ สำหรับ 7805 หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 แอมป์ สำหรับ 78L05) นอกจากนี้ยัง regulates เพียง 0.4 โวลต์ drop จาก อินพุทที่ยังไม่ได้ควบคุมระดับแรงดันให้เป็นเอาท์พุทที่ได้รับการควบคุมระดับแรงดันแล้ว(เรียกว่า “dropout voltage”) เมื่อเปรียบเทียบกับ 2 volts dropout สำหรับ 7805 ส่วน LM2931 ยังให้ dropout ที่ต่ำ แต่อาจเรียกกันว่า milli power (0.4 mA quisescent current) เมื่อเปรียบเทียบกับ “micro power” LP2950 อุปกรณ์ regulator ที่มีค่า dropout ต่ำ นั้นยังมาพร้อมกับรุ่นที่ใช้กระแสสูง เช่น LT1085/4/3 จาก LTC(3A, 5A, และ 7.5A ตามลำดับ พร้อมทั้ง +5V และ +12 V สำหรับแต่ละชนิด) Regulator เช่น LM2984 เดิมเป็น regulator ระดับแรงดันตายตัว 3 ทาง แต่จะมาพร้อมกับเอาท์พุทพิเศษ เพื่อให้สัญญาณแก่ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ไม่จ่ายกำลัง

2.4 Diode ไดโอด

รูปที่ 2.16 Diode

ไดโอด (อังกฤษ: diode) เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสองขั้วคือขั้ว p และขั้ว n ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า มันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวและกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงไดโอด มักจะหมายถึงไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (อังกฤษ: Semiconductor diode) ซึ่งก็คือผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ขั้วทางไฟฟ้าสองขั้ว ส่วนไดโอดแบบหลอดสุญญากาศ (อังกฤษ: Vacuum tube diode) ถูกใช้เฉพาะทางในเทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงบางประเภท เป็นหลอดสุญญากาศที่ประกอบด้วยขั้วอิเล็ดโทรดสองขั้ว ซึ่งจะคือแผ่นตัวนำ (อังกฤษ: plate) และแคโทด (อังกฤษ: cathode)

ส่วนใหญ่จะใช้ไดโอดในการยอมให้กระแสไปในทิศทางเดียว โดยยอมให้กระแสไฟในทางใดทางหนึ่ง ส่วนกระแสที่ไหลทิศทางตรงข้ามกันจะถูกกั้น ดังนั้นจึงอาจถือว่าไดโอดเป็นวาล์วตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เป็นตัวเรียงกระแสไฟฟ้าในวงจรแหล่งจ่ายไฟ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามไดโอมีความสามารถมากกว่าการเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปิด-ปิดกระแส ง่าย ๆ ไดโอดมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นมันยังสามารถปรับปรุงโดยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพวกมันที่เรียก ว่ารอยต่อ p-n มันถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่มีวัตถุประสงค์พิเศษ นั่นทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดมีรูปแบบการทำงานได้หลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น ซีเนอร์ไดโอด เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ วาริแอกไดโอดใช้ในการปรับแต่งสัญญาณในเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์ ไดโอดอุโมงค์หรือทันเนลไดโอดใช้ในการสร้างสัญญาณความถี่วิทยุ และไดโอดเปล่งแสงเป็นอุปกรณ์ที่สร้างแสงขึ้น ไดโอดอุโมงค์มีความน่าสนใจตรงที่มันจะมีค่าความต้านทานติดลบ ซึ่งเป็นประโยชน์มากเมื่อใช้ในวงจรบางประเภท

ไดโอดตัวแรกเป็นอุปกรณ์หลอดสุญญากาศ โดยไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำตัวแรกถูกค้นพบจากการทดสอบความสามารถในการเรียงกระแสของผลึกโดยคาร์ล เฟอร์ดินานด์ บรวน นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ในปี พ.ศ. 2417 เรียกว่า cat's whisker diodes และได้ถูกพัฒนาในปี พ.ศ. 2449 โดยทำไดโอดมากผลึกแร่กาลีนา แต่ทุกวันนี้ไดโอดที่ใช้ทั่วไปผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน หรือเจอร์เมเนียม

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p – n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโธด (Cathode; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n

2.5 Android studio

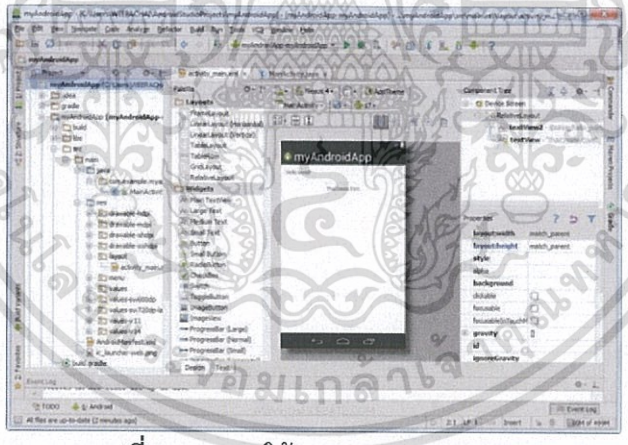
รูปที่ 2.17 Android studio

Android Studio เป็น IDE Tools ล่าสุดจาก Google ไว้พัฒนาโปรแกรม Android โดยเฉพาะ โดยพัฒนาจากแนวคิดพื้นฐานมาจาก InteliJ IDEA คล้าย ๆ กับการทำงานของ Eclipse และ Android ADT Plugin โดยวัตถุประสงค์ของ Android Studio คือต้องการพัฒนาเครื่องมือ IDE ที่สามารถพัฒนา App บน Android ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งด้านการออกแบบ GUI ที่ช่วยให้สามารถ Preview ตัว App มุมมองที่แตกต่างกันบน Smart Phone แต่ละรุ่น สามารถแสดงผลบางอย่างได้ทันทีโดนไม่ต้องทำการรัน App บน Emulator รวมทั้งยังแก้ไขปรับปรุงในเรื่องของความเร็วของ Emulator ที่ยังเจอปัญหากันอยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 Android studio

ในปัจจุบัน Android Studio ยังอยู่ในช่วง early access preview แต่สามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานบน Platform ต่าง ๆ ได้เกือบทุก OS เช่น Windows , Mac และ Linux และจากที่ได้ทำการดาวน์โหลดมาติดตั้งและทดสอบความสามารถของ Android Studioซึ่งในครั้งแรก ๆ อาจจะยังงง ๆ ซับสนเมนูต่าง ๆ อยู่บ้าง แต่โดยพื้นฐานแล้วจะคล้าย ๆ กับการเขียน Android บนโปรแกรม Eclipse พวกโครงสร้างไฟล์ หรือ Widgets ต่าง ๆ ก็คล้าย ๆ กัน แต่จะแปลกใหม่ตรงที่มี Preview ในส่วนของ Layout ที่มีความสามารถมากขึ้น



รูปที่ 2.19 การใช้งาน Android studio

โดยมีความสามารถในการทำงานเด่น ๆ ในขณะนี้ ดังต่อไปนี้

- มีความยืดหยุ่นในการใช้งานด้วยใช้ Gradle-based
- การสร้างตัวแปรและการสร้างไฟล์ APK ในหลาย ๆ แม่แบบ
- แม่แบบที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้งานคุณสมบัติที่ถูกใช้งานบ่อย ๆ
- ตัวช่วยแก้ไขรูปแบบ (Layout) ที่รองรับการลากและวาง
- เครื่องมือที่จะตรวจจับประสิทธิภาพการใช้งาน,การทำงานร่วมกันรุ่นและปัญหาอื่น ๆ
- การสนับสนุน built-in สำหรับแพลตฟอร์ม Google Cloud ทำให้มันง่ายต่อการรวม Google Cloud Messaging และ App Engine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Java

รูปที่ 2.20 Java

พัฒนาโดย เจมส์ กอสลิง และวิศวกรคนอื่นๆ ที่ ซัน ไมโครซิสเต็มส์ ภาษาจาวาถูกพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2534 (ค.ศ. 1991) โดยเป็นส่วนหนึ่งของ โครงการกรีน (the Green Project) และสำเร็จออกสู่สาธารณะในปี พ.ศ. 2538 (ค.ศ. 1995) ซึ่งภาษานี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้แทนภาษาซีพลัสพลัส (C++) โดยรูปแบบที่เพิ่มเติมขึ้นคล้ายกับภาษาอ็อบเจกต์ทีฟซี (Objective-C) แต่เดิมภาษานี้เรียกว่า ภาษาโอ๊ก (Oak) ซึ่งตั้งชื่อตามต้นโอ๊กใกล้ที่ทำงานของ เจมส์ กอสลิง แต่ว่ามีปัญหาทางลิขสิทธิ์ จึงเปลี่ยนไปใช้ชื่อ "จาวา" ซึ่งเป็นชื่อกาแฟแทน

และแม้ว่าจะมีชื่อคล้ายกัน แต่ภาษาจาวาไม่มีความเกี่ยวข้องใด ๆ กับภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ปัจจุบันมาตรฐานของภาษาจาวาดูแลโดย Java Community Process ซึ่งเป็นกระบวนการอย่างเป็นทางการ ที่อนุญาตให้ผู้ที่สนใจเข้าร่วมกำหนดความสามารถในจาวาแพลตฟอร์มได้

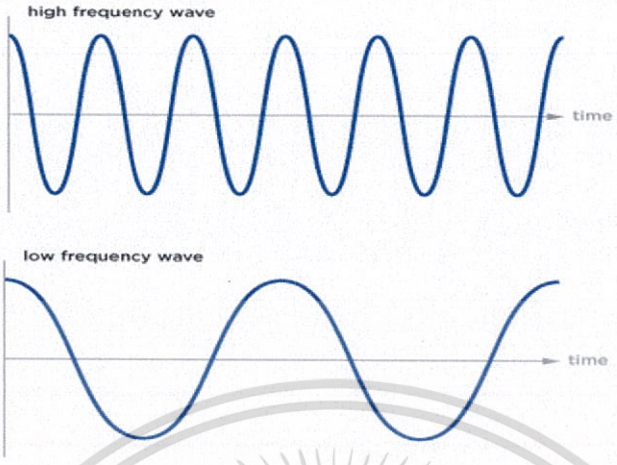
เนื่องจากชื่อที่เหมือนกัน และการเรียกขานที่มักจะพูดถึงพร้อมกันบ่อยๆ ทำให้คนทั่วไป มักสับสนว่า ภาษาจาวา และ จาวาแพลตฟอร์ม เป็นสิ่งเดียวกัน ในความเป็นจริงนั้น ทั้งสองสิ่ง แม้จะทำงานเสริมกัน แต่ก็เป็นสิ่งที่แยกออกจากกัน โดย ภาษาจาวานั้น คือภาษาสำหรับใช้เขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง ดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น ส่วน จาวาแพลตฟอร์มนั้น คือสภาพแวดล้อมสำหรับการใช้งานโปรแกรมจาวา โดยมีองค์ประกอบหลักคือ จาวาเวอร์ชวลแมชีน (Java virtual machine) และไลบรารีมาตรฐานจาวา (Java standard library) โปรแกรมที่ทำงานบนจาวาแพลตฟอร์มนั้น ไม่จำเป็นจะต้องสร้างด้วยภาษาจาวา เช่น อาจจะใช้ ภาษาไพทอน (Python) หรือ ภาษาอื่นๆ ก็ได้

ส่วนภาษาจาวานั้น ก็สามารถนำไปใช้พัฒนาโปรแกรมสำหรับแพลตฟอร์มอื่นได้เช่นเดียวกัน เช่น คอมไพเลอร์ gcj สามารถคอมไพล์โปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาจาวา ให้ทำงานได้ โดยไม่ต้องใช้ จาวาเวอร์ชวลแมชีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7 ความถี่และเสียง



รูปที่ 2.21 Frequency

ความถี่ คือปริมาณที่บ่งบอกจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้นในเวลาหนึ่ง การวัดความถี่สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง นับจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้น นำจำนวนครั้งหารด้วยระยะเวลา และ คาบ เป็นส่วนกลับของความถี่ หมายถึงเวลาที่ใช้ไปในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ

ในระบบหน่วย SI หน่วยวัดความถี่คือเฮิรตซ์ (hertz) ซึ่งมาจากชื่อของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Heinrich Rudolf Hertz เหตุการณ์ที่มีความถี่หนึ่งเฮิรตซ์หมายถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหนึ่งครั้งทุกหนึ่งวินาที หน่วยอื่นๆ ที่นิยมใช้กับความถี่ได้แก่: รอบต่อวินาที หรือ รอบต่อนาที (rpm) (revolutions per minute) อัตราการเต้นของหัวใจใช้หน่วยวัดเป็นจำนวนครั้งต่อนาที

อีกหนึ่งวิธีที่ใช้วัดความถี่ของเหตุการณ์คือ การวัดระยะเวลาระหว่างการเกิดขึ้นแต่ละครั้ง (คาบ) ของเหตุการณ์นั้นๆ โดยทั่วไป สามารถแบ่งได้ดังนี้

143858
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ระดับความถี่ของแสง

3000-300	300-30	30-3	ความถี่
รังสีเอกซ์	รังสีเอกซ์	อุลตราไวโอเล็ต (UV)	PHz
แสงที่มองเห็นได้	อินฟราเรด (IR)	อินฟราเรด (IR)	THz
คลื่น Sub millimeter	EHF	SHF	GHz
UHF	VHF	HF	MHz
MF	LF	VLF	kHz
เสียง	ไฟฟ้ากระแสสลับ	-	Hz

เสียง เป็นคลื่นเชิงกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือน ก็จะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียงและถูกส่งผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ ไปยังหู แต่เสียงสามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะก๊าซของเหลว และของแข็งก็ได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้

เมื่อการสั่นสะเทือนนั้นมาถึงหู มันจะถูกแปลงเป็นพัลส์ประสาท ซึ่งจะถูกส่งไปยังสมอง ทำให้มนุษย์รับรู้และจำแนกเสียงต่างๆ ได้

คุณลักษณะเฉพาะของเสียง ได้แก่ ความยาวช่วงคลื่น แอมปลิจูด และความเร็วเสียงแต่ละเสียงมีความแตกต่างกัน เสียงสูง-เสียงต่ำ, เสียงดัง-เสียงเบา, หรือคุณภาพของเสียงลักษณะต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียง และจำนวนรอบต่อวินาทีของการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ไฟล์เสียง

รูปที่ 2.22 Sound file

ไฟล์ .wav

เป็นไมโครซอฟท์และไอบีเอ็มรูปแบบไฟล์เสียงมาตรฐานสำหรับจัดเก็บ bitstream เสียงในเครื่องคอมพิวเตอร์ มันเป็นโปรแกรมของ Resource Interchange File Format (RIFF) รูปแบบ bitstream วิธีการในการจัดเก็บข้อมูลใน “chunks” และจึงยังอยู่ใกล้กับ8SVXและAIFF รูปแบบที่ใช้กับ Amiga และMacintoshคอมพิวเตอร์ตามลำดับ มันเป็นรูปแบบหลักที่ใช้บนวินโดวส์ระบบเสียงดิบและมักจะไม่มีการบีบอัด การเข้ารหัส bitstream คือ รูปแบบ Linear pulse-code modulation (LPCM)

แม้ว่าจะเป็นไฟล์ WAV สามารถมีการบีบอัดสัญญาณเสียงที่พบมากที่สุดรูปแบบเสียง WAV เป็นรูปแบบ Linear pulse-code modulation (LPCM) LPCMยังเป็นรูปแบบการเข้ารหัสเสียงมาตรฐานสำหรับเสียงซีดี LPCM เสียงที่ตัวอย่าง 44,100 ครั้งต่อวินาทีกับ 16 บิตต่อตัวอย่าง ตั้งแต่ LPCM คือไม่มีการบีบอัดและยังคงรักษาตัวอย่างทั้งหมดของแทร็กเสียงผู้ใช้มืออาชีพหรือผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงอาจจะใช้รูปแบบ WAV ด้วยเสียง LPCM ให้คุณภาพเสียงสูงสุดไฟล์ WAV นอกจากนี้ยังสามารถแก้ไขและจัดการได้อย่างง่ายดายในการใช้ซอฟต์แวร์

รูปแบบ WAV ถูก จำกัด ไปยังไฟล์ที่มีน้อยกว่า 4 GBเพราะการใช้งานของ32 บิตที่ไม่ได้ลงชื่อจำนวนเต็มในการบันทึกส่วนหัวขนาดไฟล์(บางโปรแกรม จำกัด ขนาดไฟล์ 2 GB). แม้ว่าจะเทียบเท่า ประมาณ 6.8 ชั่วโมงซีดีเพลงที่มีคุณภาพ (44.1 kHz, เสียงสเตอริโอ 16 บิต) บางครั้งก็เป็นสิ่งจำเป็นที่จะเกินขีด จำกัด นี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีมากขึ้นอัตราการสุ่มตัวอย่าง, มติบิตหรือช่องทางที่นับจะต้อง รูปแบบ W64 จึงถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการSound Forge มัน64 บิตส่วนหัวจะช่วยให้การบันทึกเวลานาน RF64 รูปแบบที่กำหนดโดยสหภาพยุโรปแพร่ได้รับการสร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟล์ Riff

ไฟล์ RIFF เป็นรูปแบบไฟล์ที่ติดแท็ก แต่ก็มีรูปแบบภาชนะที่เฉพาะเจาะจง (เป็นก้อน)ที่มีแท็กตัวละครที่สี่ (FOURCC)และขนาด (จำนวนไบต์) ของก้อน แท็กระบุว่าข้อมูลที่อยู่ภายในก้อนควรจะตีความและมีหลายแท็ก FOURCC มาตรฐาน แท็กทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยตัวอักษรแท็กที่สงวนไว้ อันนอกสุดของไฟล์ RIFF มี RIFF แท็กรูปแบบ; ครั้งแรกที่สี่ไบต์ของข้อมูลอันมี FOURCC ที่ระบุชนิดของรูปแบบและจะตามมาด้วยลำดับของ subchunks ในกรณีที่ไฟล์ WAV ที่บรรดาสี่ไบต์เป็น FOURCC WAVE ที่เหลือของข้อมูล RIFF คือลำดับของชิ้นอธิบายข้อมูลเสียงที่

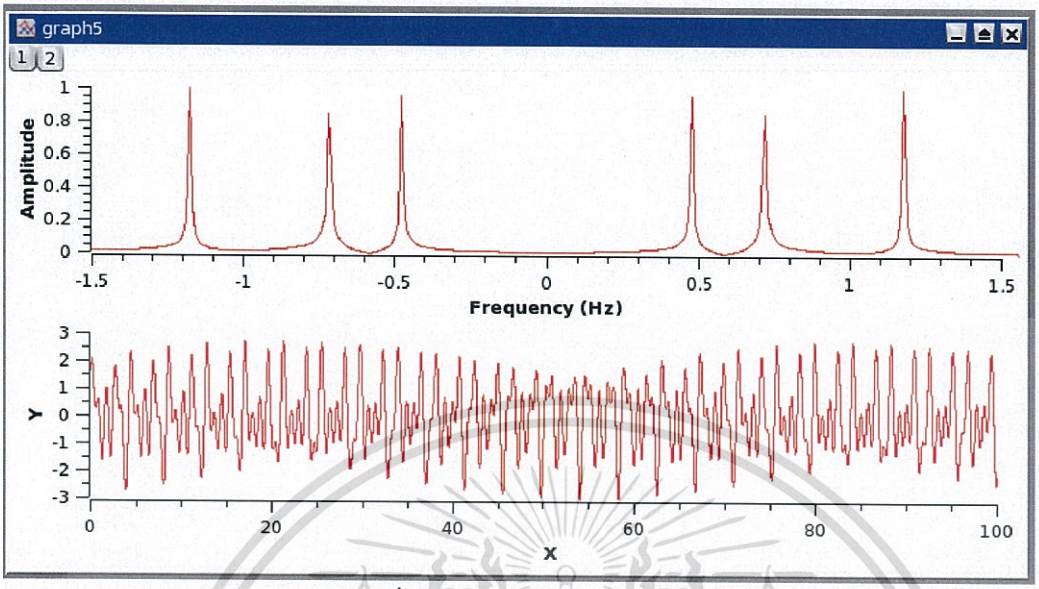
ประโยชน์จากรูปแบบไฟล์ที่ติดแท็กคือว่ารูปแบบสามารถขยายได้ในภายหลังโดยไม่ต้องสับสนผู้อ่านไฟล์ที่มีอยู่. กฎสำหรับ RIFF (หรือ WAV) ผู้อ่านก็คือว่ามันควรละเลยใด ๆ อันที่ติดแท็กที่ไม่รู้จัก. ผู้อ่านจะไม่สามารถที่จะใช้ข้อมูลใหม่ แต่ผู้อ่านไม่ควรจะสับสน

ข้อกำหนดสำหรับแฟ้ม RIFF รวมถึงความหมายของการที่ข้อมูลชิ้น อันอาจรวมถึงข้อมูลเช่นชื่อเรื่องของการทำงานที่ผู้เขียนวันที่สร้างและข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์แม้ว่าข้อมูลอันถูกกำหนดไว้ในรุ่น 1.0 ก้อนที่ไม่ได้อ้างถึงในสเปคอย่างเป็นทางการของไฟล์ WAV ถ้าก้อนมีอยู่ในไฟล์แล้วผู้อ่านควรรู้วิธีการแปลความหมายของมัน แต่ผู้อ่านหลายคนมีปัญหา ผู้อ่านบางคนจะยกเลิกเมื่อพวกเขาพบก้อนที่ผู้อ่านบางคนจะประมวลผลชิ้นหากมีก้อนแรกในรูปแบบแจ๊ส, และผู้อ่านอื่น ๆ จะดำเนินการได้หากมีการใช้ข้อมูลทั้งหมดที่คาดว่าจะรูปแบบของคลื่น ดังนั้นสิ่งที่ปลอดภัยที่สุดที่จะทำจากมุมมองแลกเปลี่ยนคือการละเว้นข้อมูลก้อนและนามสกุลอื่นๆ และส่งไฟล์ต่ำสุดทั่วไปส่วน อื่น ๆ ที่มีข้อมูลปัญหาการจัดวางก้อน

ไฟล์ RIFF คาดว่าจะนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมที่ต่างประเทศจึงมี cset ก้อนเพื่อระบุรหัสประเทศภาษาถิ่นและหน้ารหัสสำหรับสตริงในแฟ้มRIFF ได้. ตัวอย่างเช่นการระบุที่เหมาะสม cset อันจะช่วยให้ สตริงในข้อมูลอัน(และชิ้นอื่น ๆ ทั่วไฟล์ RIFF) เพื่อจะตีความว่าเป็นริลลิกหรือตัวอักษรภาษาญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 Fast Fourier Transform



รูปที่ 2.23 Fast Fourier Transform

FFT ได้รับการคิดค้นโดยนักคณิตศาสตร์2 ท่านชื่อ Cooley และ Tukey โดยได้นำเสนอการคิดค้นดังกล่าวต่อสาธารณในปี ค.ศ. 1965 หรือปี พ.ศ. 2508 เรียกวิธีการคำนวณตามหลักการของ Cooley และ Tukey ว่า Cooley-Tukey FFT หรือ CT-FFT สิ่งที่นำเสนอมีดังนี้

ให้x(n) เป็นลำดับเลขเชิงซ้อน หรือลำดับเลขจำนวนจริง จำนวนN = 2^k จุด โดย n = 0,1,2,....,N-1

แล้ว X(m) คือ DFT ของ x(n) ที่จุด m โดย m = 0,1,2,.....,N-1 จะได้

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nm/N} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{mn}$$

เมื่อ

$$W_N = e^{-j2\pi 1/N}$$

รูปที่ 2.24 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

คือรากที่N ของ 1 ตัวหลัก (a primitive N^th-root of unity)

ถ้าแบ่งอินพุท x(n) เป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่ตัวชี้เป็นเลขคู่และอีกส่วนหนึ่งเป็นเลขคู่แล้ว จะเขียน X(m) ใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)W_N^{2mn} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_N^{(2n+1)m}$$
$$= \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)(W_N^2)^{mn} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_N^m(W_N^2)^{mn}$$

และเนื่องจาก

$$W_N^2 = e^{-j2\pi 2/N} = e^{-j2\pi\frac{1}{N/2}} = W_{N/2}$$

รูปที่ 2.25 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

ซึ่งคือรากที่N/2 ของ 1 ตัวหลัก (a primitive (N/2)^th-root of unity) จะได้

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)W_{N/2}^{mn} + W_N^m \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_{N/2}^{mn}$$

จะเห็นว่า

$\sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)W_{N/2}^{mn}$ และ $\sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_{N/2}^{mn}$

รูปที่ 2.26 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

คือการคำนวน (N/2)-point DFT

โดยสามารถแบ่งตัวชี้mออกเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกัน โดยส่วนแรกคือm = 0 ,1, 2,..., (N/2)-1 ซึ่งใช้การคำนวณ และส่วนที่สองคือ m = N/2,....,N-1 ซึ่งเท่ากับตัวชี้ส่วนนี้จะเป็นm + N/2 เมื่อ m เป็นตัวชี้ในส่วนแรก พิจารณา X(m + N/2) โดยแทน m ด้วย m + N/2 ในสมการดังนี้

$$X(m+N/2) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)W_{N/2}^{(m+N/2)n} + W_N^{m+N/2} \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_{N/2}^{(m+N/2)n}$$
$$= \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)W_{N/2}^{mn}(W_{N/2}^{N/2})^n + W_N^m W_N^{N/2} \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_{N/2}^{mn}(W_{N/2}^{N/2})^n$$

และเนื่องจาก

$$W_{N/2}^{N/2} = e^{-j2\pi} = 1,$$

และ

$$W_N^{N/2} = e^{-j2\pi(N/2)/N} = e^{-j\pi} = -1$$

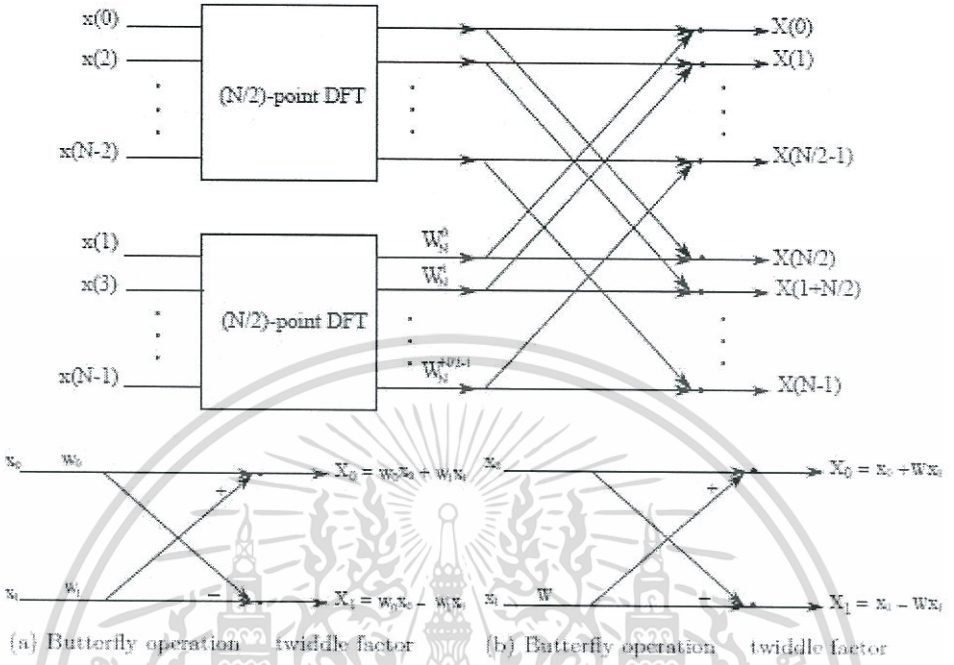
เราจะได้

$$X(m+N/2) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)W_{N/2}^{mn} - W_N^m \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_{N/2}^{mn}$$

รูปที่ 2.27 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าในการคำนวณ X(m + N/2) นั้น ต่างกับการคำนวณ X(m) เพียงการนำส่วนหลังไปลบออกจากส่วนหน้า แทนการไปบวก



รูปที่ 2.28 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

Butterfly operations ในรูปทั่วไปจะมีการคูณด้วย twiddle factor ทั้งด้านอินพุท x0 และอินพุท x1 แต่ในการคำนวณ FFT ของ Cooley-Tukey นั้น twiddle factor ที่คูณอยู่กับ x0 คือ W0 ในรูปจะมีค่าเป็น 1 ซึ่งจะได้ butterfly operation

การคำนวณ FFT ขนาด 8 จุดก็คือ การคำนวณ 8-point DFT ด้วยอัลกอริธึม FFT ในการแบ่งครั้งแรกตามสมการ จะได้

$$X(m) = \sum_{n=0}^{3} x(2n)W_4^{mn} + W_8^m \sum_{n=0}^{3} x(2n+1)W_4^{mn} = X_0(m) + W_8^m X_1(m)$$

$$X(m+4) = \sum_{n=0}^{3} x(2n)W_4^{mn} - W_8^m \sum_{n=0}^{3} x(2n+1)W_4^{mn} = X_0(m) - W_8^m X_1(m)$$

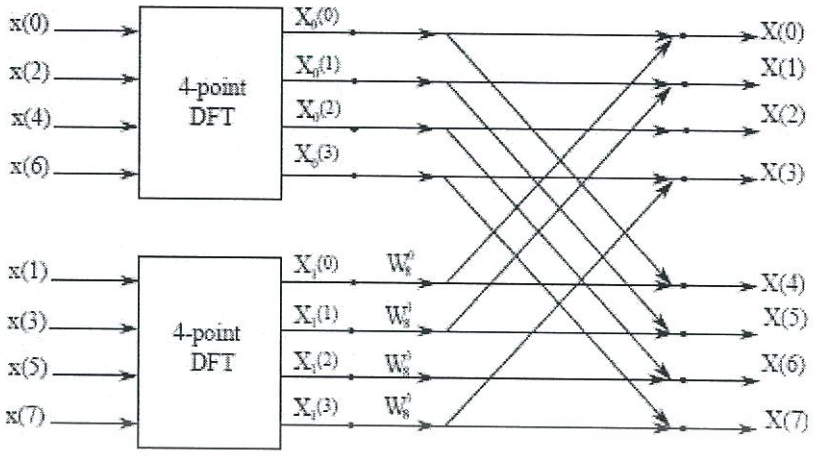
รูปที่ 2.29 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

โดย

- X0(m) เป็น DFT ขนาด 4 จุดของ x(0), x(2), x(4), x(6) และ
- X1(m) เป็น DFT ขนาด 4 จุดของ x(1), x(3), x(5), x(7)

รูปที่9 แสดงไดอะแกรมการไหลหลังการแบ่ง 8-point DFT เป็น 4-point DFT 2 ส่วน และ butterfly operations เพื่อรวมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

สำหรับ X0(m) จะหาได้จากการแบ่ง 4-point DFT เป็น 2-point DFT สองส่วนดังนี้

$$\begin{aligned} X_0(m) &= \sum_{n=0}^{1} x(4n)W_2^{mn} + W_4^m \sum_{n=0}^{1} x(4n+2)W_2^{mn} \\ &= X_{0,0}(m) + W_4^m X_{0,1}(m) \\ X_0(m+2) &= \sum_{n=0}^{1} x(4n)W_2^{mn} - W_4^m \sum_{n=0}^{1} x(4n+2)W_2^{mn} \\ &= X_{0,0}(m) - W_4^m X_{0,1}(m) \end{aligned}$$

รูปที่ 2.31 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

โดย

- X0,0(m) เป็น DFT ขนาด 2 จุดของ x(0), x(4)
- X0,1(m) เป็น DFT ขนาด 2 จุดของ x(2), x(6)

ทำนองเดียวกันสำหรับ X1(m) จะได้

$$\begin{aligned} X_1(m) &= \sum_{n=0}^{1} x(4n+1)W_2^{mn} + W_4^m \sum_{n=0}^{1} x(4n+3)W_2^{mn} \\ &= X_{1,0}(m) + W_4^m X_{1,1}(m) \\ X_1(m+2) &= \sum_{n=0}^{1} x(4n+1)W_2^{mn} - W_4^m \sum_{n=0}^{1} x(4n+3)W_2^{mn} \\ &= X_{1,0}(m) - W_4^m X_{1,1}(m) \end{aligned}$$

รูปที่ 2.32 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

โดย

- X1,0(m) เป็น DFT ขนาด 2 จุดของ x(1), x(5)
- X1,1(m) เป็น DFT ขนาด 2 จุดของ x(3), x(7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา 2-point DFT โดยมีx(0) และ x(1) เป็นอินพุท ตามนิยามจะได้

$$X(0) = \sum_{n=0}^{1} x(n)W_2^{0n} = x(0) + x(1)$$

$$X(1) = \sum_{n=0}^{1} x(n)W_2^{n} = x(0) - x(1)W_2 = x(0) - x(1)$$

เพราะ

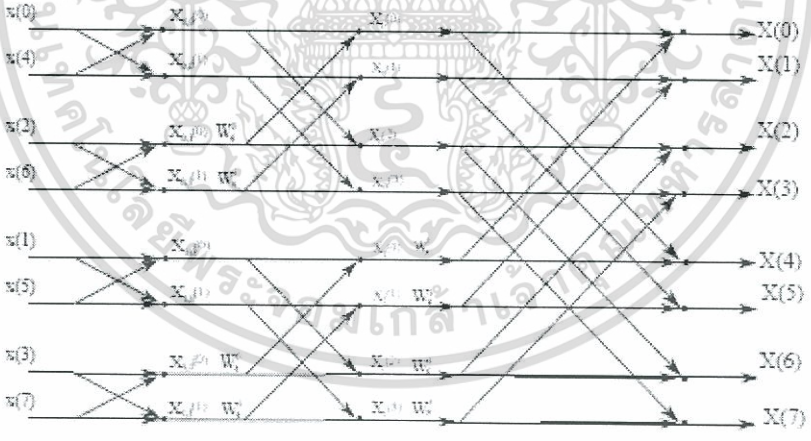
$$W_2 = e^{-j2\pi(1/2)} = e^{-j\pi} = -1$$

ซึ่งจะเห็นว่าหา 2-point DFT ได้จาก butterfly operation ที่มีtwiddle factor เท่ากับ 1 ดังนั้นจะได้

$$X_{0,0}(0) = x(0) + x(4)$$
$$X_{0,0}(1) = x(0) - x(4)$$
$$X_{0,1}(0) = x(2) + x(6)$$
$$X_{0,1}(1) = x(2) - x(6)$$
$$X_{1,0}(0) = x(1) + x(5)$$
$$X_{1,0}(1) = x(1) - x(5)$$
$$X_{1,1}(0) = x(3) + x(7)$$
$$X_{1,1}(1) = x(3) - x(7)$$

รูปที่ 2.33 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

ซึ่งได้จาก butterfly operations จำนวน 4 ตัว แต่ละตัวมีtwiddle factors เท่ากับ 1



รูปที่ 2.34 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

ผลจากการคำนวณ 2-point DFT ทั้ง 8 ค่าจะถูกนำไปคำนวณ X0(m) และ X0(m+2) สำหรับ m = 0, 1และคำนวณ X1(m) และ X1(m + 2) สำหรับ m = 0, 1 ตามสมการ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$
\begin{aligned}
X_0(0) &= X_{0,0}(0) + W_4^0 X_{0,1}(0) = X_{0,0}(0) + X_{0,1}(0) \\
X_0(2) &= X_{0,0}(0) - W_4^0 X_{0,1}(0) = X_{0,0}(0) - X_{0,1}(0) \\
X_0(1) &= X_{0,0}(1) + W_4^1 X_{0,1}(1) = X_{0,0}(1) - jX_{0,1}(1) \\
X_0(4) &= X_{0,0}(1) - W_4^1 X_{0,1}(1) = X_{0,0}(1) + jX_{0,1}(1)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
X_1(0) &= X_{1,0}(0) + W_4^0 X_{1,1}(0) = X_{1,0}(0) + X_{1,1}(0) \\
X_1(2) &= X_{1,0}(0) - W_4^0 X_{1,1}(0) = X_{1,0}(0) - X_{1,1}(0) \\
X_1(1) &= X_{1,0}(1) + W_4^1 X_{1,1}(1) = X_{1,0}(1) - jX_{1,1}(1) \\
X_1(4) &= X_{1,0}(1) - W_4^1 X_{1,1}(1) = X_{1,0}(1) + jX_{1,1}(1)
\end{aligned}
$$

รูปที่ 2.35 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

ผลจากการคำนวณ 2-point DFT ทั้ง 8 ค่าจะถูกนำไปคำนวณ X(m) และ X0(m + 4) สำหรับ m =0, 1, 2, 3 ตามสมการ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็น

$$
\begin{aligned}
X(0) &= X_0(0) + W_8^0 X_1(0) \\
X(4) &= X_0(0) - W_8^0 X_1(0) \\
X(1) &= X_0(1) + W_8^1 X_1(1) \\
X(5) &= X_0(1) - W_8^1 X_1(1) \\
X(2) &= X_0(2) + W_8^2 X_1(2) \\
X(6) &= X_0(2) - W_8^2 X_1(2) \\
X(3) &= X_0(3) + W_8^3 X_1(3) \\
X(7) &= X_0(3) - W_8^3 X_1(3)
\end{aligned}
$$

รูปที่ 2.36 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

เขียนไดอะแกรมการไหลของการคำนวณ 8-point FFT นี้ได้ตามแสดงในรูป โดยอินพุท x(n) มาทางด้านซ้ายเข้าสู่ butterfly operations สำหรับการคำนวณ 2-point DFT จำนวน 4 ตัว ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ X0,0(m),X0,1(m), X1,0(m) และ X1,1(m) สำหรับ m = 0, 1 เรียกการคำนวณนี้ว่าเป็น stage 1 ผลลัพธ์จากstage 1 จะเป็นอินพุทให้กับ butterfly operations จำนวน 4 ตัวใน stage 2 และผลจาก stage 2 ก็จะเป็นอินพุทให้กับ butterfly operations จำนวน 4 ตัวของ stage 3 จากรูปที่10 จะได้

$$
\begin{aligned}
\text{จำนวน buttery operations แต่ละ stage} &= N/4 \\
\text{จำนวน stages} &= \log_2 N = \log_2 2^k = k \\
\text{จำนวน buttery operations ทั้งหมด} &= \frac{N}{2}\log_2 N = \frac{N}{2}\log_2 2^k = \frac{kN}{2}
\end{aligned}
$$

รูปที่ 2.37 สมการการทำงานของ Fast Fourier Transform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก buttery operation หนึ่งตัวมีการคูณเลขเชิงซ้อน 1 ครั้งและการบวกเลขเชิงซ้อน 2 ครั้ง ในการคำนวณN-point DFT ด้วย N-point FFT มีการคูณเลขเชิงซ้อนทั้งหมด N/2 log2 N และมีการบวกเลขเชิงซ้อน N log2 N ครั้ง สำหรับการคำนวณตามนิยาม การคำนวณ DFT หนึ่งจุดต้องทำการคูณเลขเชิงซ้อนจำนวน N ครั้งและทำการบวก N-1 ครั้ง ดังนั้นการคำนวณ N-point DFT ตามนิยามต้องใช้การคูณทั้งหมด N2 ครั้ง และการบวกทั้งหมด (N-1)2

ตารางที่ 2.2 การคำนวณ DFT

FFT

k	$N = 2^k$	จำนวนครั้งของการบวก			จำนวนครั้งของการคูณ		
		ตามนิยาม	FFT	นิยาม/FFT	ตามนิยาม	FFT	นิยาม/FFT
4	16	225	64	3.5	256	32	8
6	64	3969	384	10.3	4096	192	21.3
8	256	65025	2048	31.8	65536	1024	64
10	1024	1.04×10^6	1.02×10^4	102.2	1.05×10^6	5.12×10^3	204.8
12	4096	1.68×10^7	4.92×10^4	341.2	1.68×10^7	2.46×10^4	682.7
14	16384	2.68×10^8	2.29×10^5	1.17×10^3	2.68×10^8	1.15×10^5	2.34×10^3
16	65536	4.29×10^9	1.05×10^6	4.09×10^3	4.29×10^9	5.24×10^5	8.19×10^3
18	262144	6.87×10^{10}	4.72×10^6	1.45×10^4	6.87×10^{10}	2.36×10^6	2.91×10^4
20	1048576	1.10×10^{12}	2.10×10^7	5.24×10^4	1.10×10^{12}	1.05×10^7	1.05×10^5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบด้าน Hardware

3.1 หลักการออกแบบ

1. Solar panel สามารถใช้งานได้ตลอดเวลาที่สามารถรับแสงได้ในแต่ละวัน
2. Sealed lead acid battery สามารถรับพลังงานจากการชาร์จพลังงานของแผง Solar panel
3. Sealed lead acid battery สามารถใช้งานติดต่อกันได้ในระยะเวลานาน โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหาย
4. วงจรสำหรับใช้ในการชาร์จโทรศัพท์สามารถชาร์จ Cellular phone ที่ใช้ในการทำงานได้ตลอดเวลา
5. อุปกรณ์โดยรวมสามารถใช้งานได้ติดต่อกันในระยะเวลานาน โดยไม่ต้องควบคุมการทำงาน

รูปที่ 3.1 การทำงานของอุปกรณ์ Hardware

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

1. ทำการศึกษาการทำงานของระบบต่างๆที่จะใช้ในการทำงาน อุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละส่วน รวบรวมข้อมูลในการใช้งาน

2. ทำการคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในระบบปฏิบัติการในการชาร์จโทรศัพท์ โดยทำการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ต่อวัน ค่าพลังงานที่รับได้จาก Solar panel ปริมาณและความจุของแบตเตอรี่

3. ทำทดสอบระบบการทำงานด้วยการทดสอบแต่ละระบบแยก ทีละระบบ แล้วจึงนำมารวมกัน

3.3 การกำหนด Input และ Output

สัญญาณ Input คือ สัญญาณทางเข้าเป็นพลังงานความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์ ตกกระทบมาที่แผง Solar panel โดยทำการแปลงค่าพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วผ่าน Sealed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

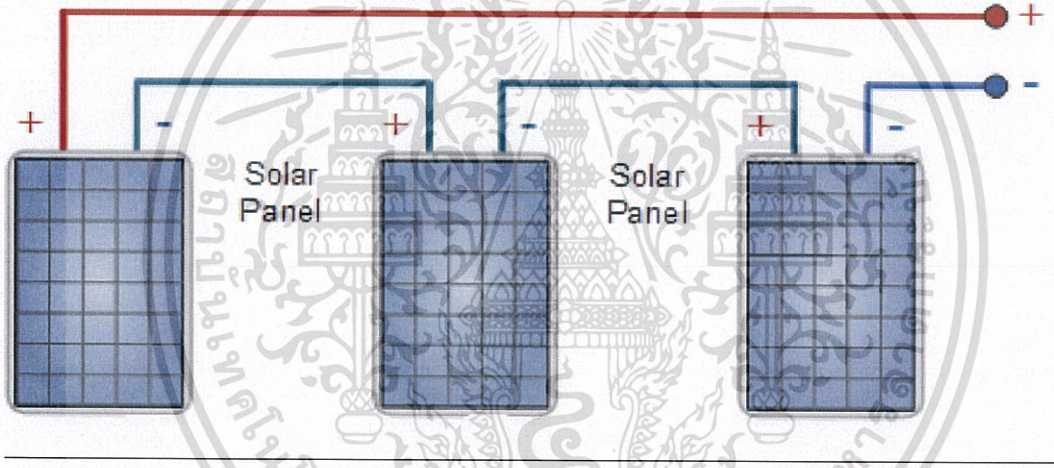
lead acid battery เพื่อทำการเก็บไว้พลังงานไฟฟ้าไว้ แล้วปล่อยพลังงานให้วงจรการปรับระดับความดันไฟฟ้าให้มีค่าคงที่เพื่อที่จะนำไปใช้ในวงจรชาร์จโทรศัพท์

สัญญาณ Output มีสัญญาณการชาร์จโทรศัพท์ที่ตัวเครื่อง เมื่อทำการทำงานตามระบบโทรศัพท์จะสามารถชาร์จพลังงานได้อัตโนมัติ

3.4 การออกแบบ SOLAR PANEL

การออกแบบการต่อระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าจาก Solar Cell นี้ ใช้การเชื่อมต่อของ Solar panel โดยทำการเชื่อมต่อกันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งานได้ตามต้องการ โดยทำการเชื่อมต่อกันรูปแบบผสม กล่าวคือ เชื่อมต่อ Solar panel ทั้งรูปแบบ อนุกรม และ รูปแบบ ขนาน โดยสามารถอธิบายการเชื่อมต่อกันทั้ง 2 รูปแบบได้ดังนี้

1. การเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Connecting Solar Panels in Series)

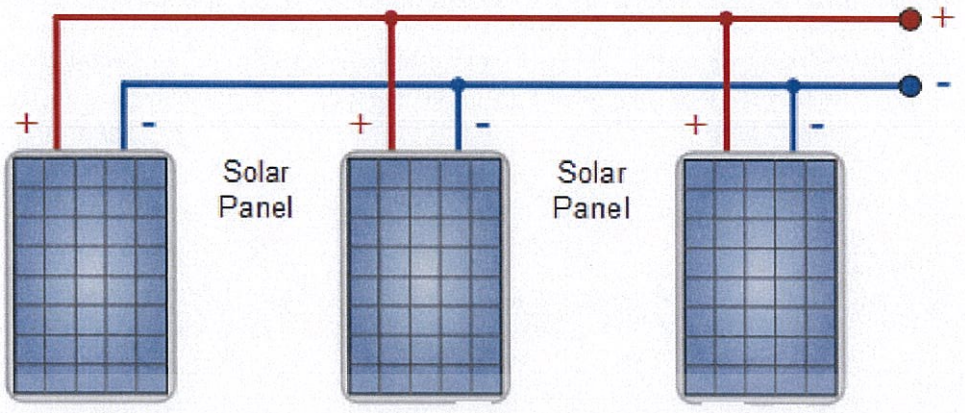


รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม

เป็นการเชื่อมต่อกันระหว่าง Solar panel เข้าด้วยกันแบบอนุกรม ซึ่งต่อระบบโดยให้สายไฟด้าน + ของ Solar panel เชื่อมต่อเข้ากับสายไฟด้าน – ของ Solar panel อีกแผ่นหนึ่งไปเรื่อยๆดังรูป โดยที่การเชื่อมต่อในระบบนี้ จะทำการเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Solar panel ให้มีการเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงดันและจำนวนของ Solar panel ที่มีการเชื่อมต่อกันไป โดยที่การเชื่อมต่อในรูปแบบนี้จะเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และ ค่ากำลังไฟฟ้า (P) ให้มีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Connecting Solar Panels in Series)



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อแบบขนาน

เป็นการเชื่อมต่อกันระหว่าง Solar panel เข้าด้วยกันแบบขนาน ซึ่งต่อระบบโดยให้สายไฟด้าน + ของ Solar panel เชื่อมต่อทั้งหมดเข้าด้วยกัน และ ให้สายไฟด้าน – ของ Solar panel เชื่อมต่อทั้งหมดเข้าด้วยกันดังรูป โดยที่การเชื่อมต่อในระบบนี้ จะทำการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จาก Solar panel ให้มีการเพิ่มขึ้นตามขนาดของกระแสไฟฟ้าและจำนวนของ Solar panel ที่มีการเชื่อมต่อกันไป โดยที่การเชื่อมต่อในรูปแบบนี้จะเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าไฟฟ้า (I) และ ค่ากำลังไฟฟ้า (P) ให้มีค่าเพิ่มขึ้น

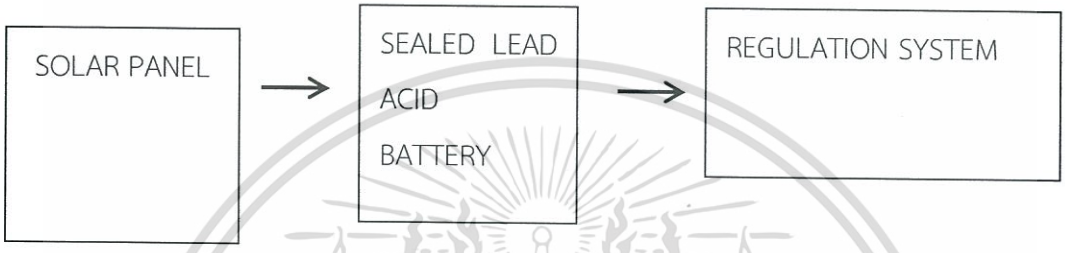
ซึ่งในการออกแบบระบบ Solar panel ในครั้งนี้ ได้ใช้แผ่น Solar panel ทั้งหมดจำนวน 24 แผ่นเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดย Solar panel ที่นำมาใช้ในระบบนี้ให้ค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า เท่ากันทั้งหมด ทำให้สามารถคำนวณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับ Battery ได้อย่างเหมาะสม โดยที่ Solar panel แต่ละแผ่นมีคุณสมบัติดังนี้

รูปที่ 3.4 Solar panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar panel specification: Power: 0.6W
Voltage: 2V
Current: 300mAh
Material: Monocrystalline
Size: 82x70x3mm
Weight: 21g

3.5 การออกแบบระบบ Solar cell



รูปที่ 3.5 การออกแบบระบบ Solar cell

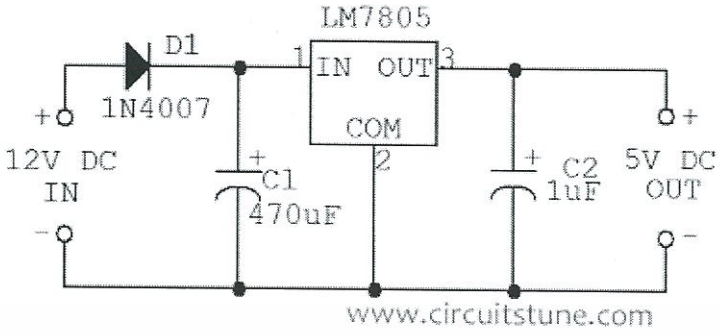
ทำการออกแบบระบบ solar cell เพื่อที่จะนำไปใช้ในวงจรปรับระดับแรงดันไฟต่อไป โดยใช้หลักการสร้างพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำการสร้างแรงดันไฟฟ้าออกจาก Solar panel ผ่านยัง Sealed lead acid battery เพื่อทำการกักเก็บพลังงานที่ได้รับมาและการจ่ายพลังงานออกจาก Battery ไปยังวงจรปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อที่จะใช้ในการให้พลังงานต่อไป

ในระบบนี้มีอุปกรณ์ในการออกแบบคือ

- Solar panel
- Sealed lead acid battery 12 v 1.2 Ah

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบวงจรปรับระดับแรงดันกระแสตรงที่ 5 volt



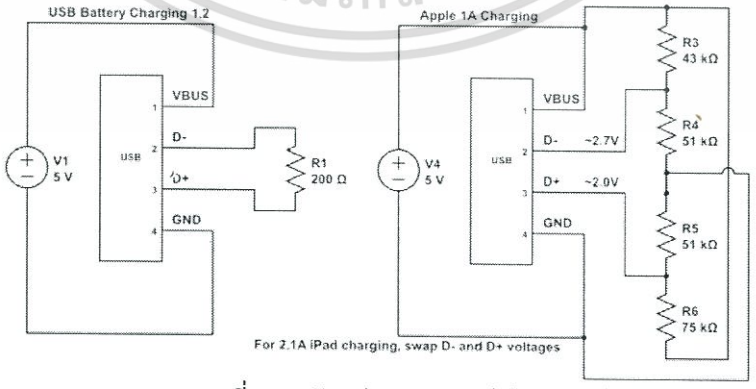
รูปที่ 3.6 รูปแบบวงจรปรับระดับแรงดันกระแสตรง

ทำการออกแบบวงจรจ่ายไฟกระแสตรงที่มีค่า 5 volt เพื่อที่จะนำไปใช้ในวงจรปรับระดับแรงดันไฟกระแสตรงที่มีค่า 12v ให้เหลือ 5v เพื่อใช้ในวงจร Delay time ต่อไป โดยใช้หลักการของ Regulator เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันของไฟตรงให้มีค่าคงที่ตลอดการทำงาน

ในวงจรนี้มีอุปกรณ์ในการออกแบบคือ

- Diode เบอร์ 1n4007
- Regulator เบอร์ Lm7805
- Capacitor ที่มีค่า 470uF
- Capacitor ที่มีค่า 1uF
- LED

3.7 การออกแบบวงจรชาร์จโทรศัพท์



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวงจรชาร์จโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการออกแบบวงจรชาร์จโทรศัพท์มือถือโดยใช้หลักการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่คงที่ให้เกิดการสร้างสัญญาณขึ้น โดยจะทำให้สามารถต่อเข้ากับ USB PORT ที่ใช้ในปัจจุบันได้โดยสร้างการวงจรต้านทานเพื่อสร้างสัญญาณขึ้น

ในวงจรนี้มีอุปกรณ์ในการออกแบบคือ

- Resistor
- USB port

3.8 การออกแบบการห่อหุ้ม Module

รูปที่ 3.8 การออกแบบการห่อหุ้มผลิตภัณฑ์

ในการห่อหุ้มอุปกรณ์และโทรศัพท์ให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและคงทนนั้น ได้ทำการนำอุปกรณ์ทั้งหมดไปใส่ไว้ในกล่องบรรจุ ซึ่งทำมาจากพลาสติกมาทำการบรรจุไว้ เพื่อป้องกันและคงสภาพอุปกรณ์ไว้

ในขณะที่การห่อหุ้มแผง Solar Panel ทั้งหมดภายนอกนั้น ได้ทำการติดตั้งแผงทั้งหมดไว้บนแผ่นโฟมพลาสติกชนิดเหนียว เพื่อที่จะทำการรองรับแผง Solar panel ให้ติดอยู่กับกล่องบรรจุอุปกรณ์ได้ ซึ่งแผ่นโฟมพลาสติกนี้แบ่งเป็น 2 ลักษณะตามการออกแบบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการติดตั้งให้ได้ผลกระทบจากการรับแสงมากที่สุด

ในการออกแบบการห่อหุ้มนี้นี้มีอุปกรณ์ในการออกแบบคือ

- กล่องบรรจุ ขนาด 19 * 12 * 5 ซม.
- แผ่นโฟมพลาสติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

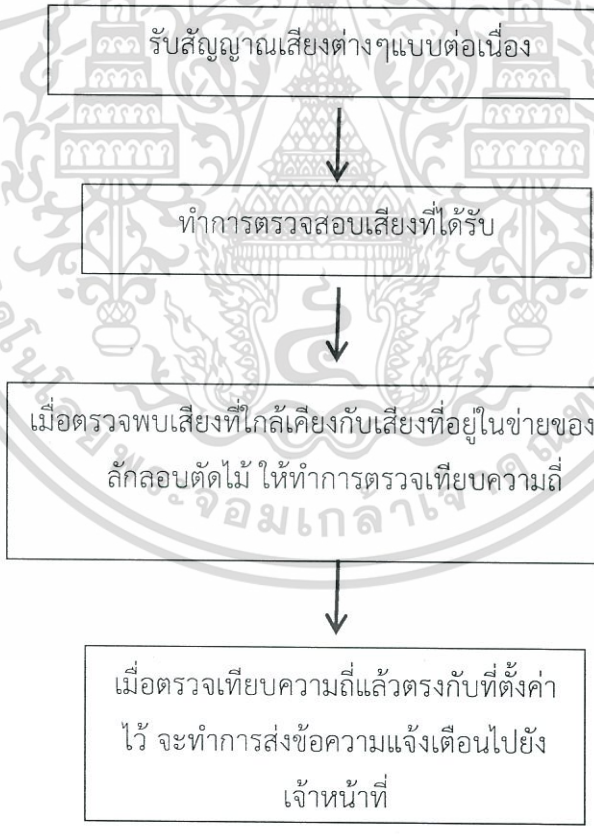
บทที่ 4

การออกแบบด้าน Software

4.1 หลักการออกแบบ

- Cell Phone สามารถรับและอัดเสียงได้ และสามารถ ส่งข้อความทาง SMS ได้ โดยผ่าน Application
- Cell Phone สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์คลื่นสัญญาณเสียงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้บันทึกไว้โดยผ่าน Application

โดยที่จะทำการออกแบบให้ทำงานแบบเรียลไทม์ และออกแบบให้เริ่มการทำงานของ Application โดยการกดเพียงครั้งเดียว



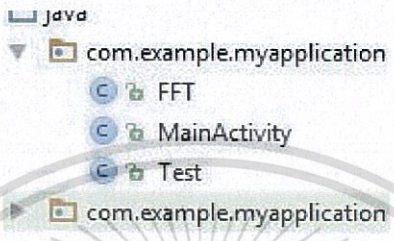
รูปที่ 4.1 การทำงานของระบบ Software

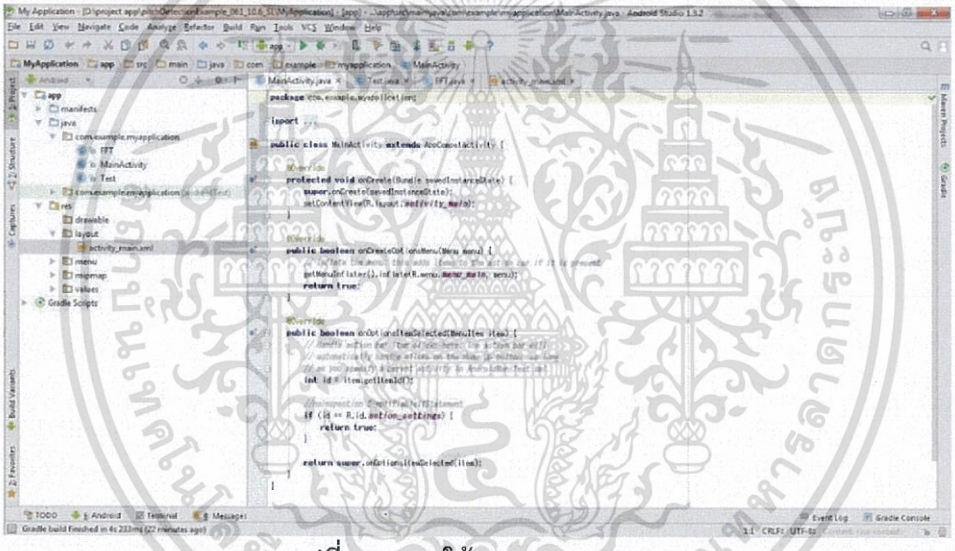
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การใช้งาน Android studio ในการสร้าง Application

ในการออกแบบ ใช้ภาษา java มาเขียนในโปรแกรม android studio เพื่อนำมาสร้าง application โดยแยกเป็นสองส่วนคือ Mainactivity และ Layout

Mainactivity คือส่วนประมวลผลหลัก โดยออกแบบการเขียนเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของ application ทั้งหมด ซึ่งสามารถ แยกออกเป็นหลายส่วนได้ เพื่อสร้างเป็นส่วนย่อยที่ต้องนำมาใช้ใน Mainactivity และยังมีส่วนของ Library ที่เป็นส่วนแยกอีกส่วน โดย Library นี้เป็นส่วนที่บาง applicationไม่จำเป็นต้องเพิ่มเข้าไปเพราะ มีอยู่แล้วในโปรแกรม Android Studio แล้ว

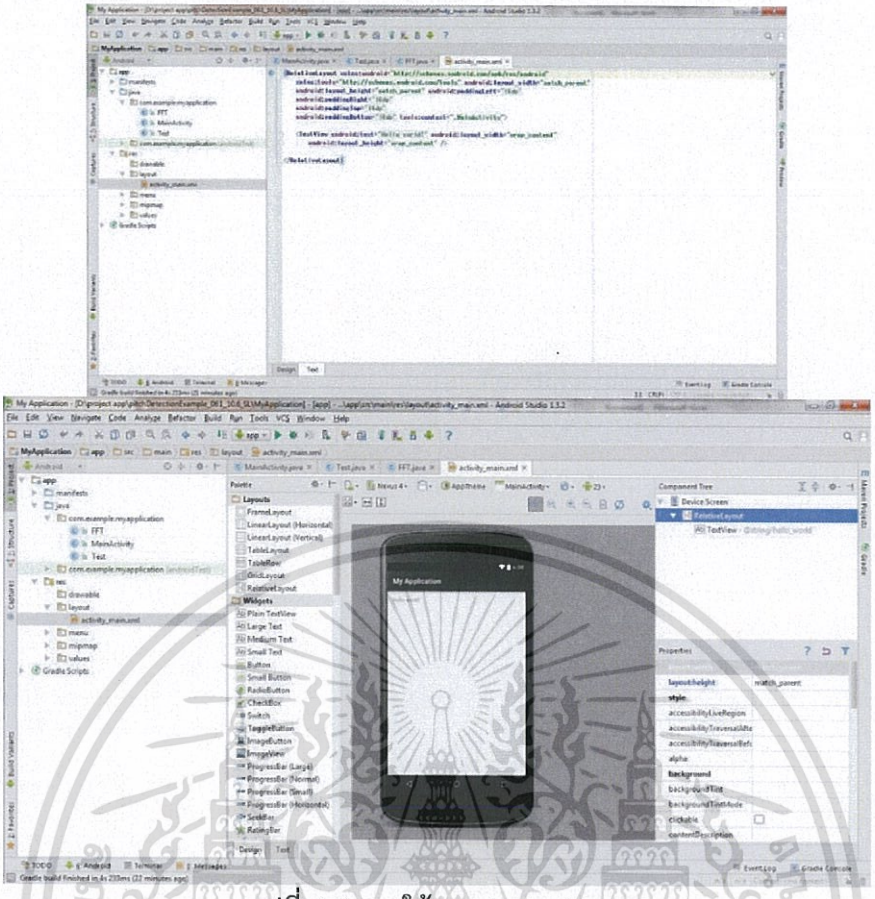




รูปที่ 4.2 การใช้งาน Android studio

Layout คือส่วนหน้าตาของ application ที่สร้างขึ้นมาโดยการออกแบบผ่านการเขียนหรือออกแบบโดยใช้ ส่วน Design ก็ได้ซึ่งในส่วน Layoutเกี่ยวข้องกับ Main activity โดยการออกคำสั่งการทำงาน หรือ แสดงผลบนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การใช้งาน Android studio

Android studio เป็นโปรแกรมที่สามารถทดสอบ application โดยผ่านโปรแกรมได้เลย หรือสามารถลง applicationเข้า cell phone โดยไม่ต้องผ่าน play store ซึ่งเป็นตัวช่วยในการประหยัดเวลาและสามารถทดสอบการทำงานของ application ที่เขียนขึ้นมาอีกด้วย ว่าเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ หรือว่าเกิด error/bug

รูปที่ 4.4 การใช้งาน Android studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานของapplication จะรับเสียงเข้ามาใน cell phone เพื่อทำการตรวจสอบคลื่นความถี่ของเสียงที่รับเข้ามาโดยหาจุดพีคของคลื่นความถี่เสียงว่ามีค่าที่ kHz โดยนำจุดพีคหลายในช่วงเวลาหนึ่งนั้นมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กำหนดไว้ว่าตรงกันหรือไม่ซึ่งถ้าหากไม่ตรง application จะตรวจสอบต่อไป แต่ถ้าหากเปรียบเทียบแล้วตรงกับค่าที่กำหนดไว้จะหยุดรับเสียงและส่งข้อความไปยังเจ้าหน้าที่พร้อมกับบันทึกเสียงบริเวรโดยรอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงรับเสียงและตรวจสอบต่อ

4.3 หลักการออกแบบ Application

1. Application สามารถรับเสียงและวิเคราะห์ความถี่ได้ตลอดเวลา โดยไม่ต้องควบคุมการทำงาน
2. Application สามารถส่งข้อความ SMS เพื่อเป็นการแจ้งเตือนและอัดเสียงเพื่อเก็บข้อมูลเสียงได้
3. Application สามารถเปรียบเทียบความถี่ของเสียงที่ต้องการได้

4.4 หลักการวิเคราะห์เสียงและความถี่

ในการรับสัญญาณเสียงผ่านโทรศัพท์มือถือนั้น ได้ทำการใช้ไมโครโฟนที่ติดตั้งอยู่ภายในโทรศัพท์ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเป็นเครื่องมือรับสัญญาณเสียงและความถี่

เนื่องจากในป่าอุทยานนั้นเป็นพื้นที่เปิด จึงทำให้เสียงไม่ก้องมากนักจึงทำให้ไม่มีเสียงรบกวนมาก ไม่ว่าจะเสียงร้องของสัตว์ป่า แมลง หรือ เสียงของลมที่พัดมากระทบกับต้นไม้ใบไม้ ซึ่งเสียงเหล่านี้มีค่าความถี่เสียงที่ต่างกันกับความถี่เสียงของเลื่อยยนต์หรือปืนไรเฟิลล่าสัตว์ที่ต้องการ

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างช่วงความถี่ของเสียง

แหล่งกำเนิดเสียง	ความถี่ในการเปล่งเสียง(Hz)
มนุษย์	85-1,100
ตั๊กแตน	7,000-100,000
กบ	50-8,000
ปืนไรเฟิลล่าสัตว์	1,000-1,2000
เลื่อยยนต์	900-1,900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 หลักการในการแจ้งเตือน

โดยอุปกรณ์ทำการส่งสัญญาณก็ต่อเมื่อเครื่องโทรศัพท์มือถือ ตรวจพบเสียงเลื่อยยนต์ หรือเสียงปืนล่าสัตว์ ที่ต้องการ

ในแจ้งเตือนจะทำการแจ้งเตือนโดยการส่งข้อความ SMS ไปหาเจ้าหน้าที่ของอุทยาน เนื่องจากในบริเวณที่ใช้ในการทดสอบมีเพียงสัญญาณ 2G เพียงเท่านั้น โดยส่งจากโทรศัพท์มือถือที่ใช้ติดตั้งอยู่ภายในโมดูลในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดสอบการเชื่อมต่อระบบ Solar cell

ทำการนำ Solar panel มาต่อเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในรูปแบบผสมซึ่งกล่าวคือ ทั้งรูปแบบอนุกรม และ รูปแบบขนาน โดยที่นำแบ่ง Solar panel ออกเป็น 6 ชุด ชุดละ 4 แผ่น ในแต่ละชุดจะทำการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทั้ง 4 แผ่น เพื่อเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า

เมื่อทำการเชื่อมต่อภายในของ Solar panel ทั้ง 6 ชุดแล้ว นำทั้ง 6 ชุดมาทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่ม เท่าๆกัน กลุ่มละ 3 ชุด โดยเมื่อแบ่งแล้วทำการเชื่อมต่อภายในกลุ่มในรูปแบบขนานทั้ง 2 กลุ่ม เพื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า

เมื่อทำการเชื่อมต่อภายในของ Solar panel ทั้ง 2 กลุ่มแล้ว ให้นำทั้ง 2 กลุ่มมาทำการเชื่อมต่อในรูปแบบอนุกรมอีกที เพื่อให้เพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าตามที่ต้องการ

Solar panel specification:	Power: 0.6W Voltage: 2V Current: 300mA

จะทำให้ได้ระบบ Solar cell ที่มีค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า ที่ได้ดังนี้

Power: 0.6W * 24 แผ่น = 14.4Watt

Voltage: 2V * 4 แผ่น = 8V (ชุด) * 2 กลุ่ม = 16V

Current: 300mA * 3 กลุ่ม = 900mA

จะทำให้ได้ระบบ Solar cell ที่มีพลังงานที่ต้องการเท่ากับ

Solar cell system	: Power: 14.4W Voltage: 16V Current: 900mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดสอบการจ่ายพลังงานของ Solar cell

ทำการทดสอบการจ่ายพลังงานของระบบ Solar cell ที่ออกแบบขึ้นเพื่อจ่ายให้กับ Sealed acid battery ขนาด 12V ซึ่งในต้องให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Solar cell นั้นมีค่าที่สูงกว่า 12V ของ Battery เพื่อที่จะสามารถทำการชาร์จพลังงานเข้าไปยัง Battery ได้

ทำการทดสอบการรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆในรอบวัน จำนวน 2 ครั้ง เพื่อทำการหาค่าแรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้าที่ระบบ Solar cell สามารถรับและจ่ายพลังงานได้ โดยผลการทดสอบแสดงในตารางดังนี้

ตารางที่ 5.1 การจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสในแต่ละช่วงเวลา

เวลา	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
	แรงดันไฟฟ้า [Volt]	กระแสไฟฟ้า [Amp]	แรงดันไฟฟ้า [Volt]	กระแสไฟฟ้า [Amp]
8.00 น.	15.45	0.01	14.77	0.01
10.00 น.	16.55	0.02	15.99	0.02
12.00 น.	16.74	0.02	16.24	0.02
14.00 น.	16.89	0.02	16.18	0.02
16.00 น.	15.77	0.01	15.20	0.01
18.00 น.	14.22	0.01	14.01	0.01

5.3 การทดสอบการใช้งานวงจรชาร์จโทรศัพท์

ทำการทดสอบการชาร์จโทรศัพท์มือถือผ่านทางวงจรที่ออกแบบขึ้นเพื่อการชาร์จ โดยที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าจาก Battery ผ่านวงจรปรับระดับแรงดัน ให้เหลือค่าที่ต้องการ และนำเข้าวงจรชาร์จโทรศัพท์เพื่อทดสอบการใช้งาน

โทรศัพท์ที่ใช้ทดสอบ : Samsung galaxy core prime

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจาก Battery : 12.67 volt

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ออกจาก Battery : 1.42 Amp

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เมื่อผ่านวงจรปรับระดับแรงดัน : 4.99 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสไฟฟ้าที่เมื่อผ่านวงจรปรับระดับแรงดัน : 0.95 Amp

ค่าแรงดันที่เข้าไปยัง USB Port ในแต่ละ Channel มีค่าดังนี้

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าแรงดันที่ USB port

Channel ของ USB port	ค่าแรงดันที่คำนวณได้	ค่าแรงดันที่วัดได้
VBUS	5 volt	4.98 volt
D-	2.7 volt	2.62 volt
D+	2.0 volt	1.94 volt
GND	0 volt	0 volt

5.4 การทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ห่อหุ้ม Module

ทำออกแบบผลิตภัณฑ์ห่อหุ้ม module ขึ้นมา ซึ่งใช้การห่อหุ้มอุปกรณ์และโทรศัพท์ให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและคงทนนั้น โดยได้ทำการนำอุปกรณ์ทั้งหมดไปใส่ไว้ในกล่องบรรจุ ซึ่งทำมาจากพลาสติกมาทำการบรรจุไว้ เพื่อป้องกันและคงสภาพอุปกรณ์ไว้

โดยผลการทดสอบการใช้งานนั้น สามารถติดตั้ง Module ได้อย่างมั่นคงโดยใช้การยึดติดกับต้นไม้ได้โดยการใช้ Tapping wire มาทำการยึดติดกับต้นไม้

รูปที่ 5.1 การทดสอบติดตั้งโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

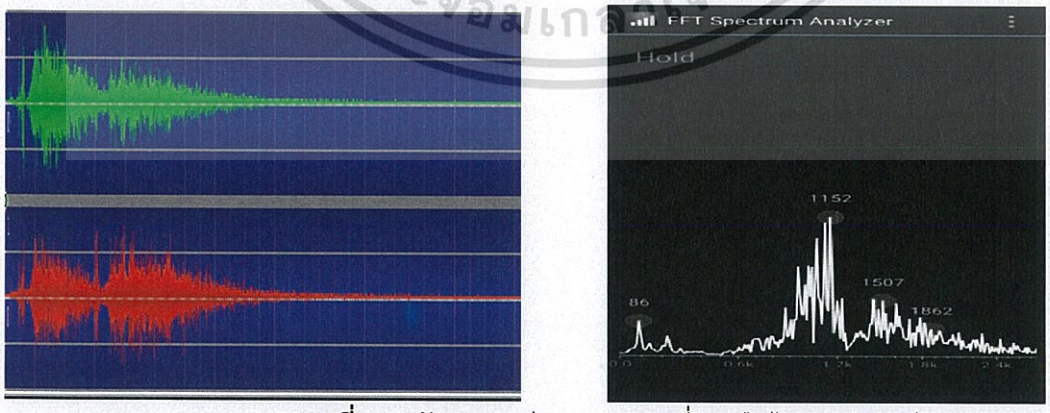
ในการทดสอบการใช้งานต่อเนื่องของ Module สามารถติดตั้งได้อย่างต่อเนื่องในสภาพปกติ และ ฝนตก โดยเป็นสภาพปกติในบริเวณป่า สามารถทำงานได้อย่างไม่มีปัญหา ยกเว้นจะเกิดเหตุการณ์ที่มี พายุ หรือ ภัยธรรมชาติต่างๆ ซึ่งอาจเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ได้

5.5 การทดสอบการรับเสียงและความถี่

รูปที่ 5.2 การทดสอบรับเสียงและความถี่

รูปภาพทั้งสองภาพด้านบนนี้เป็นรูปการรับเสียงเข้ามาในแอพพริเคชั่นแล้วทำการประมวลผลเป็นกราฟความถี่เพื่อแสดงถึงเสียงต่างๆที่ได้รับเข้ามาจากรอบข้าง

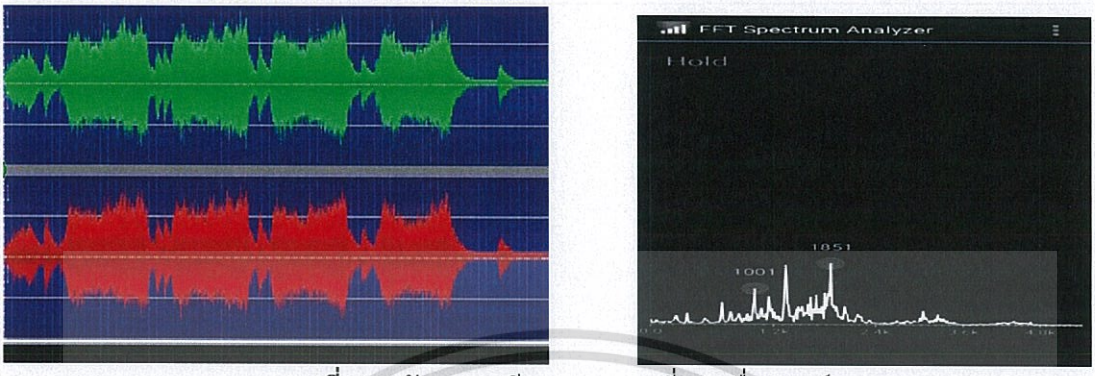
5.6 การทดสอบวิเคราะห์และแยกแยะเสียงและความถี่



รูปที่ 5.3 สัญญาณเสียงและความถี่ของปืนไรเฟิลล่าสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพ เป็นความถี่เสียงของปืนไรเฟิลล่าสัตว์ จากที่สังเกตจะพบว่าค่าแอพปริจูดของเสียงปืนจะค่าความถี่หนึ่งที่สูงมาก ซึ่งค่าที่ทดสอบได้จะมีค่าอยู่ในระหว่าง 1,000- 1,200 Hz

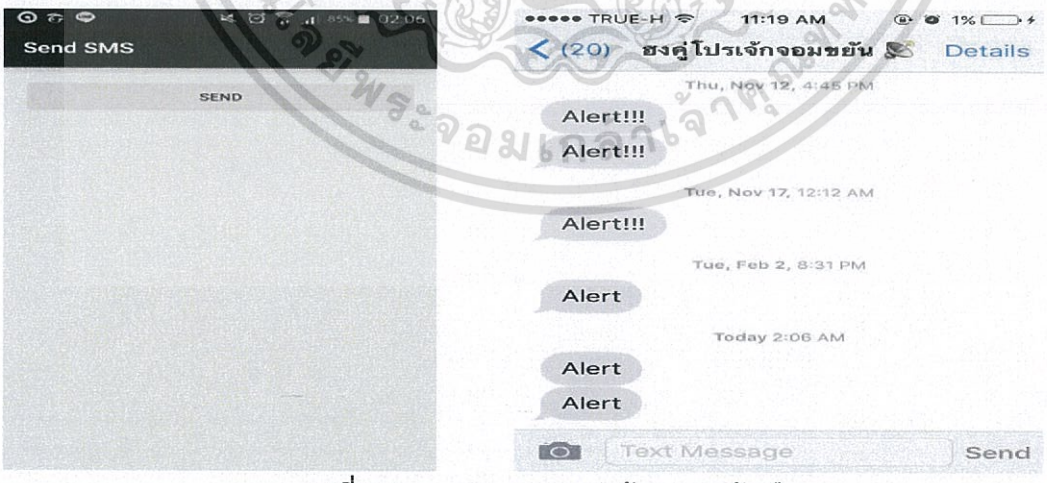


รูปที่ 5.4 สัญญาณเสียงและความถี่ของเลื่อยยนต์

จากภาพชุด ข. เป็นความถี่ของเสียงเลื่อยยนต์ ซึ่งจะมีค่าแอมปริจูดที่มีค่าใกล้เคียงกันหลายค่า ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าความถี่ที่มีแอมปริจูดใกล้เคียงกันจะมีระยะห่างกันประมาณ 400 – 500 Hz จากรูปภาพ ค่าตรงกลางจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1,400 Hz
และค่าใกล้เคียงทั้งสองข้าง คือ1,001 Hz และ 1851 Hz

5.7 การทดสอบการส่งข้อความแจ้งเตือน

ในการทดสอบการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้รับ ในกรณีที่ทำการตรวจจับเสียงที่ตรงตามที่ต้องการได้แล้วนั้นให้ส่งข้อความไปยังผู้รับโดยทันที



รูปที่ 5.5 การทดสอบการส่งข้อความแจ้งเตือน

ซึ่งในการทดสอบพบว่า สามารถส่งข้อความไปยังผู้รับได้อย่างถูกต้อง โดยได้รับข้อความแจ้งเตือนขึ้นในโทรศัพท์ของผู้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดสอบและการใช้งาน

จากการทดสอบการใช้งาน Solar panel มาทำการเชื่อมต่อกันแบบเป็นระบบผสม (เชื่อมต่อกันทั้งแบบอนุกรม และแบบขนาน) เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ ปรากฏว่าสามารถเชื่อมต่อได้ตามที่กำหนดไว้ โดยได้รับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ

จากการทดสอบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ Battery พบว่า ระบบ Solar panel ได้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้ดี โดยทำการติดตั้ง Blocking diode ไว้ที่ Output ของระบบ Solar panel เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแสในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าจาก Solar cell ที่ขนาดน้อยกว่า Battery และจะตัดการชาร์จเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Solar panel มีค่าน้อยกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการชาร์จซึ่งทำให้สามารถใช้งาน Battery ได้เป็นเวลานานโดยไม่เกิดความเสียหายต่อ Solar panel และ Battery ที่ใช้งาน

จากการทดสอบพบว่า วงจรชาร์จโทรศัพท์สามารถทำงานได้อย่างดี โดยจะเกิดการชาร์จพลังงานโทรศัพท์ด้วยอัตราที่คงที่ตลอดเวลาที่ทำการชาจน์ ซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนที่วงจรปรับระดับแรงดันที่ต้องทำงานอย่างหนักในระหว่างการชาร์จ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่จุดนี้ได้โดยการใช้ Heatsink มาทำการระบายความร้อนออกจากตัว LM7805 เพื่อทำให้วงจรไม่เสียหาย โดยค่าแรงดันที่ใช้ในการชาร์จโทรศัพท์จะมีค่าคงที่ในการเชื่อมต่อเข้าไปในแต่ละ Channel ของ USB port

จากการทดสอบพบว่าโทรศัพท์สามารถรับสัญญาณเสียงและความถี่ในบริเวณรอบๆออกมาได้เป็นสัญญาณความถี่ ตามที่ได้ออกแบบไว้ในแอปพิเคชั่น ซึ่งสามารถแสดงออกมาได้เป็นสัญญาณกราฟความถี่

จากการทดสอบพบว่าแอปพิเคชั่นเมื่อรับสัญญาณเสียงและความถี่มาทำการวิเคราะห์ค่าความถี่และค่าแอมพริจูดของเสียงภายในบริเวณรอบๆแล้วตรวจสอบออกมาเป็นกราฟแสดงความถี่เพื่อทำการหาค่าที่ตรงกับที่ตั้งไว้

จากการทดสอบพบว่าแอปพิเคชั่นจะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนผู้รับได้อย่างดี โดยสามารถกำหนดข้อความที่ใช้ในการแจ้งเตือนได้ รวมถึงสามารถบอกตำแหน่งของโทรศัพท์นั้นๆได้ด้วยการวางระบบเครือข่ายของโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำทุกการทดสอบมารวมเข้าด้วยกัน พบว่าโมดูลนี้สามารถทำงานภายในบริเวณพื้นที่ป่าได้ดี เนื่องจากการออกแบบมาเพื่อใช้ในสถานการณ์ต่างๆได้ โดยที่มีระบบจ่ายพลังงานของ Solar cell เป็นระบบพลังงานหลักเพื่อที่จะใช้ในการหมุนเวียนพลังงานกับ Battery ให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยโทรศัพท์ภายในกล่องบรรจุจะอยู่ในสภาวะทำงานตลอดเวลาอย่างคงที่ โดยใช้การทำงานในแอปพริเคชั่นที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อตรวจสอบสัญญาณเสียงและความถี่ได้ดี และส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้รับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Peter Wurfel (2009) : "Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts"

[2] Ryan Mayfield (2010) : "Photovoltaic Design and Installation For Dummies 1st Edition"

[3] Ali Keyhani (2011) : "Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems"

[4] Robert Sedgewick and Kevin Wayne (2002) : "Introduction to Programming in Java"

[5] Adam Gerber and Clifton Craig (2015) : "Learn Android Studio" , "Build Android Apps Quickly and Effectively 2015th Edition"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tree Physiology 32, 1066–1081
doi:10.1093/treephys/tps064

Tree Physiology review

Sunflecks in trees and forests: from photosynthetic physiology to global change biology

Danielle A. Way[1,2,4] and Robert W. Pearcy[3]

[1]Nicholas School of the Environment, Duke University, Durham, NC 27708, USA; [2]Department of Biology, University of Western Ontario, London, ON, Canada N6A 5B8; [3]Section of Evolution and Ecology, Division of Biological Sciences, University of California, Davis, CA 95616, USA; [4]Corresponding author (danielle.way@duke.edu)

Received April 5, 2012; accepted May 29, 2012; published online August 9, 2012; handling Editor Ram Oren

Sunflecks are brief, intermittent periods of high photon flux density (PFD) that can significantly improve carbon gain in shaded forest understories and lower canopies of trees. In this review, we discuss the physiological basis of leaf-level responses to sunflecks and the mechanisms plants use to tolerate sudden changes in PFD and leaf temperature induced by sunflecks. We also examine the potential effects of climate change stresses (including elevated temperatures, rising CO_2 concentrations and drought) on the ability of tree species to use sunflecks, and advocate more research to improve our predictions of seedling and tree carbon gain in future climates. Lastly, while we have the ability to model realistic responses of photosynthesis to fluctuating PFD, dynamic responses of photosynthesis to sunflecks are not accounted for in current models of canopy carbon uptake, which can lead to substantial overestimates of forest carbon fixation. Since sunflecks are a critical component of seasonal carbon gain for shaded leaves, sunfleck regimes and physiological responses to sunflecks should be incorporated into models to more accurately capture forest carbon dynamics.

Keywords: induction gain, induction loss, isoprene, light stress, photosynthetic induction, xanthophyll.

Introduction

Sunflecks create a continually changing pattern of sun and shade patches, both within a tree canopy and on understory forest plants. Despite being present in any given location in these environments <10% of the time, sunflecks contribute 10–80% of the photon flux density (PFD) available for photosynthesis by understory plants (Chazdon 1988, Pfitsch and Pearcy 1989*a*, Leakey et al. 2005). Thus, factors that affect sunfleck utilization can be important determinants of the carbon balance of understory plants, such as establishing tree seedlings and saplings, as well as of leaves within the canopy itself.

Here, we review the responses of photosynthetic physiology to sunflecks and the ecological relevance of sunflecks, concentrating on tree species and forest ecosystems. The emphasis of this paper is to survey the sunfleck literature published since Pearcy (1990) reviewed the field, and to emphasize the potential implications of sunflecks on trees and forests in the light of global change pressures, such as rising CO_2, increasing temperatures and drought.

The nature of sunfleck light regimes

Quantifying sunflecks is somewhat arbitrary since they are typically defined as a continuous excursion above some threshold just above the background diffuse light level or some physiologically relevant level. The threshold therefore varies depending on the species or canopy conditions. The characteristics of sunfleck light regimes in an understory or in a tree canopy depend on attributes such as the canopy height, and canopy structural characteristics such as the clumping of foliage, the flexibility of branches and petioles, and leaf size. Overcast skies block direct beam radiation and can be important in determining the daily or seasonal pattern of sunfleck occur-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
© The Author 2012. Published by Oxford University Press. All rights reserved. For Permissions, please email: journals.permissions@oup.com

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

ence, while intermittent clouds add to light regime dynamics. Penumbral effects, where leaves in the canopy partially block direct sun from reaching lower leaves, cause sunflecks to have a numbra with full direct beam solar irradiance surrounded by a penumbra where irradiances are gradually reduced towards the diffuse light background (or umbra). At any given point in the penumbra, the sunfleck PFD is a function of the fraction of the solar disk that is obscured by canopy; small gaps in tall canopies create sunflecks that are entirely penumbral, but as gap size increases, a larger and larger fraction is numbra. Due to the slight (0.5°) divergence of the solar beam, sunflecks are spread over a larger area as height to the canopy gap increases. This spreading of the penumbra, while causing the PFD at any given point within it to be dimmer, increases the probability that a given plant or canopy leaf will be in a sunfleck, significantly enhancing photosynthesis (Stenberg 1998, Palmroth et al. 1999). And because the response of photosynthesis to PFD is non-linear, canopy photosynthesis is enhanced when penumbral effects redistribute the PFD from high PFD sunflecks more evenly throughout the canopy, ensuring more leaves receive PFD below the light saturation point of photosynthesis (Stenberg 1998, Palmroth et al. 1999). Simulations show that this enhancement in photosynthesis due to spreading of the PFD of a sunfleck over a larger area can vary from 15 to 140% with depth in a single conifer canopy, or by as much as 200–500% in model systems with varying proportions of numbra and penumbra as compared with simulations with no penumbral effects (Stenberg 1998; H. Tong and R. W. Pearcy, unpublished results). This effect of canopy structure is an important but poorly studied aspect of sunfleck use.

The temporal nature of sunfleck regimes in understories is determined in part by the earth's rotation and by wind-driven canopy movements. Frequently, sunflecks in forest understories are clustered into periods of multiple sunflecks separated by longer periods with few or no sunflecks (Vierling and Wessman 2000). On a clear day, a leaf in the understory may receive only a few sunflecks in the most shaded microsites or up to 300 or more sunflecks. Most of these are shorter than 10 s and only 1–2% are typically large enough to approach full sunlight PFDs because of penumbral effects (Pearcy 1983, Chazdon 1988, Singsaas et al. 2000). However, sunflecks longer than 120 s, which represent only 5% of all sunflecks in forest understories, contribute >75% of the total daily sunfleck PFD (Pearcy et al. 1994). In a recent paper, Miyashita et al. (2012) characterized sunfleck distributions in a Japanese temperate deciduous and coniferous forest understory, as well as in gap sites in each forest type, over an entire year. Unsurprisingly, the evergreen forest understory had the lowest daily accumulated PFD over the year, but also many fewer sunfleck events (PFD > 50 μmol m^{-2} s^{-1}) than the deciduous or gap plots, since evergreen plots had high leaf area indices year-round. All of the high-intensity sunflecks (PFD > 1000 μmol m^{-2} s^{-1}) that did occur in the evergreen plot were in the growing season (May to October), while the deciduous plot experienced high-intensity light events as early as February (Miyashita et al. 2012).

Sunfleck regimes within forest canopies have not been well studied because of access problems, and some high-frequency measurements of PFD on individual leaves throughout a canopy are only presented as a daily integrated light regime (Posada et al. 2009). From the limited measurements available, strong gradients in sunfleck activity occur through tree canopies: there are many short duration sunflecks reaching full direct-beam PFDs because of canopy movements in the upper layers, but few sunflecks with much lower maximum PFDs (because of penumbral effects) in the bottom layers (Küppers et al. 1996, Vierling and Wessman 2000). The small leaf size in coniferous canopies causes penumbral PFD to be a significant component of the light regime (Stenberg 1998, Palmroth et al. 1999), more so than in broad-leaved evergreen or deciduous canopies (Baldocchi and Collineau 1994). Models have shown that this diffuse light caused by penumbral effects in conifers can improve canopy photosynthesis by up to 40% (Stenberg 1998). In *Populus fremontii* S. Watson and *Populus tremuloides* Michx. canopies, the flattened petioles allow for leaf flutter even at low wind speeds, which creates rapidly varying PFD both on the fluttering leaf surfaces themselves as well as deeper in the canopy (Roden and Pearcy 1993*a*).

The physiology of sunfleck utilization

Responses of CO_2 assimilation rates to sunflecks are complex because several components of the photosynthetic apparatus with markedly different time constants (τ, the time to reach 63% of the full response) are involved. Light harvesting and energy transfer essentially occur instantaneously relative to the timescales usually considered in physiology, while the initial adjustments in photosynthetic carbon reduction cycle metabolites following a change in PFD take no more than a second or so. Regulation of energy dissipation via non-photochemical quenching of photosystem II does exhibit a dynamic behavior on timescales of seconds to minutes (Porcar-Castell et al. 2006). It is unclear as to whether these regulatory processes play a direct role in the dynamics of photosynthetic CO_2 exchange during the sunfleck itself. However, the slow relaxation of non-photochemical quenching following a sunfleck could transiently limit carbon gain following an intense sunfleck.

In response to a sunfleck, a rapid buildup of high-energy metabolites consisting of ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) and its immediate precursors in the carbon reduction cycle occurs, forming a pool that is available to support a few seconds of continued CO_2 assimilation after the sunfleck. Electron transport initially becomes uncoupled from CO_2 fixation, as evidenced by a burst of O_2 evolution that exceeds CO_2 assimilation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

rates at the beginning of a sunfleck (Kirschbaum and Pearcy 1988*c*). Within a few seconds, however, electron transport and carbon fixation become coupled as metabolite pools become filled. After the sunfleck, CO_2 assimilation supported by this high-energy pool can continue at a decreasing rate for a few seconds, while O_2 evolution decreases almost instantaneously. For short sunflecks (<10 s), this post-lightfleck CO_2 fixation (region 2 in Figure 1) can significantly enhance total carbon gain attributable to a sunfleck by 150–200% as compared with a hypothetical case where the responses to step changes in PFD are instantaneous. However, for longer sunflecks, carbon assimilation during the sunfleck itself dominates, so the additional contribution of post-lightfleck CO_2 assimilation is insignificant.

At timescales of minutes, the utilization of sunflecks is limited by the induction requirement of CO_2 assimilation. Photosynthetic induction in leaves has been shown to involve light regulation of key photosynthetic enzymes and stomatal opening which requires 20 or more minutes for completion and in effect limits the maximum assimilation rate that can be achieved during a sunfleck. Following a long period of shade, the maximum CO_2 assimilation rates achieved during a sunfleck will be strongly limited by the induction state of the leaf (Figure 1a). However, if the leaf is first exposed to saturating PFD before being briefly shaded, then the response to a subsequent sunfleck will be much greater than that in an uninduced leaf (Figure 1b and c). Similarly, assimilation will increase during a series of sunflecks as induction limitations relax. In effect, induction during one sunfleck primes the leaf so that it is better able to utilize subsequent sunflecks.

The induction requirement consists of two phases. First, when an uninduced leaf is exposed to a light increase there is an initial, almost instantaneous increase in assimilation to a low rate allowed by the metabolite pool sizes and enzyme activation state present in the low light (Figure 1). This is not part of the induction response per se, but it is followed by a fast induction phase lasting 1–1.5 min that is due to the rapid light activation of enzymes in the RuBP regeneration pathway (Kirschbaum and Pearcy 1988*b*, Sassenrath-Cole and Pearcy 1992). The fast induction phase is most apparent when a fully induced leaf is shaded for a few minutes before the light is increased again (Figure 1b and c). Under these conditions, the

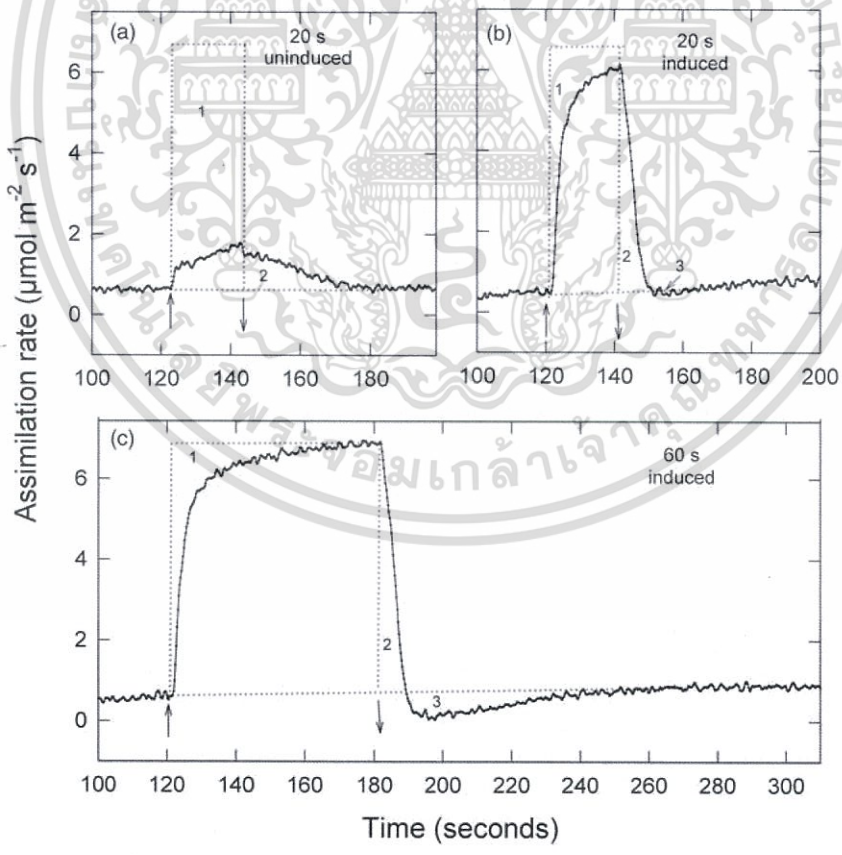


Figure 1. Representative responses of the net CO_2 assimilation rate of *A. macrorrhiza* to 20 s lightflecks (a,b) and to a 60 s lightfleck (c) as measured in a fast-response gas exchange apparatus that completely responded to a step change in CO_2 concentration in 2 s (Kirschbaum and Pearcy 1988*c*). Panel a is for an uninduced leaf while panels b and c are for an induced leaf. The areas bounded by the dotted lines and the response itself are: (1) the assimilation lost because of induction limitations; (2) the net assimilation gained because of post-lightfleck CO_2 assimilation; and (3) the photorespiratory post-illumination CO_2 burst. (From Pearcy et al. 1996, with permission.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

nitial concentration of RuBP available to RuBP carboxylase/ oxygenase (Rubisco) is low, but it builds up to saturating levels over ~1 min. With longer periods in the shade, deactivation of Rubisco and stomatal closure become more limiting and the fast induction phase becomes less apparent.

The second, much slower phase of induction is due to the light activation requirement of the primary carboxylating enzyme, Rubisco, combined with an increase in stomatal conductance (g_s). Light activation of Rubisco is relatively slow, with a τ of 4–5 min. Maximum activation is reached within ~10 min, while deactivation following a light decrease is much slower and more variable, with a τ of 20 to 28 min (Seemann et al. 1988, Woodrow and Mott 1989). The reason for the down-regulation being slower than up-regulation is not clear, but this hysteresis is important in the carryover and enhancement of induction from one sunfleck to another. Light regulation of Rubisco involves a reversible addition of Mg^+ and CO_2 to the active site that causes a conformational change in Rubisco (carbamylation) and by the binding of sugar phosphates, especially RuBP, to the inactive enzyme. An auxiliary enzyme, Rubisco activase (that is itself light activated), is necessary for Rubisco activation (Portis 1995) via its facilitation of sugar phosphate removal from Rubisco. Experiments with antisense-mediated reductions of Rubisco activase in tobacco (Mate et al. 1996, Mott et al. 1997) reveal much slower rates of induction that are proportional to leaf activase content. This observation has formed the basis of an interesting model that predicts the optimum allocation of protein between Rubisco and Rubisco activase in different light environments (Mott and Woodrow 2000). In constant light, the distribution of protein between Rubisco and Rubisco activase that maximizes steady-state photosynthetic rates will be the optimum. The increase in CO_2 assimilation rate that can be achieved by allocating more to activase and less to Rubisco is less than that achieved by allocating more to Rubisco, even though Rubisco will not be fully activated because of limiting activase content. In fluctuating light, the optimal allocation predicted by the model is more complex. Shorter sunflecks should favor greater allocation to Rubisco activase at the expense of Rubisco, increasing the rate of activation and hence induction. On the other hand, shorter low-light periods between sunflecks should favor greater allocation to Rubisco. This model awaits empirical tests in sun versus shade plants and in plants acclimated to different light environments.

The role of g_s in the dynamics of induction is quite variable, depending on species, growth conditions and the environment. Increases in g_s during induction typically exhibit a short lag before increasing to a maximum over another 10–60 min (Kirschbaum and Pearcy 1988*a*, Tinoco-Ojanguren and Pearcy 1993*b*). When g_s is high, the limitation to induction shifts mostly to Rubisco regulation and the induction response is hyperbolic in shape. Conversely, when g_s is low and more limiting, induction follows a more sigmoidal increase. Studies of the relative role of stomatal versus Rubisco limitations revealed the important role of initial g_s in the shade (Tinoco-Ojanguren and Pearcy 1993*b*, Valladares et al. 1997, Allen and Pearcy 2000*b*). The initial g_s, and hence the induction response, has been shown to differ between the morning and afternoon (Pfitsch and Pearcy 1989*b*, Allen and Pearcy 2000*a*) and between the wet and dry season (Allen and Pearcy 2000*a*). The reasons for the daily variation were not clear since there were no obvious environmental correlates, and leaf water potentials (Ψ) and relative humidity hardly differed between the early wet season and the early dry season when measurements were made in these studies. Calculation of the limitations imposed by biochemistry (RuBP regeneration and Rubisco) showed little change over a wide range of initial g_s values, but then showed a sharp increase over a small range of low initial g_s (Figure 2). Thus, in cases where initial g_s was low, and therefore intercellular CO_2 concentrations (c_i) were low during induction, biochemical limitations also relaxed slowly. This is consistent with a co-ordination between Rubisco activation and stomatal conductance at low c_i. Mott and Woodrow (1993) observed a strong dependence of Rubisco activation time on c_i, probably because low c_i slows the rate of CO_2 and Mg^{2+} binding to the Rubisco active site.

In response to a sunfleck, stomata exhibit a distinct pulse response (Kirschbaum et al. 1988, Assmann 1988). This pulse response consists of an initial lag followed by an increase in g_s that continues in low light long after the sunfleck itself (Figure 3). An often slower closing response is then initiated that returns g_s back to the initial levels measured prior to the sunfleck. Tinoco-Ojanguren and Pearcy (1992) compared a pioneer tree, *Piper auritum* Kunth, and a shade-tolerant shrub,

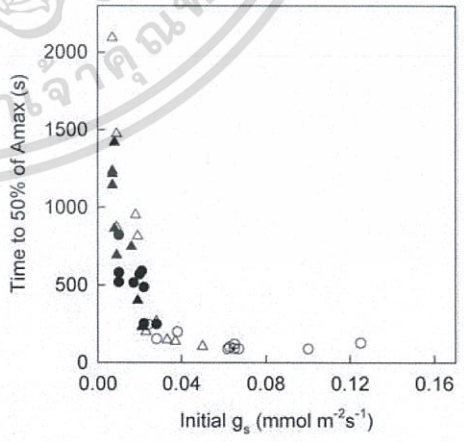


Figure 2. Relationship between initial stomatal conductance (g_s) of *P. marginata* leaves in low PFD before induction and the time required to reach 50% of the fully induced photosynthetic rate. Circles show morning measurements while triangles are for afternoon measurements. Filled symbols are wet-season measurements while open symbols are for dry-season measurements. (From Allen and Pearcy 2000*a*, with permission.)

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

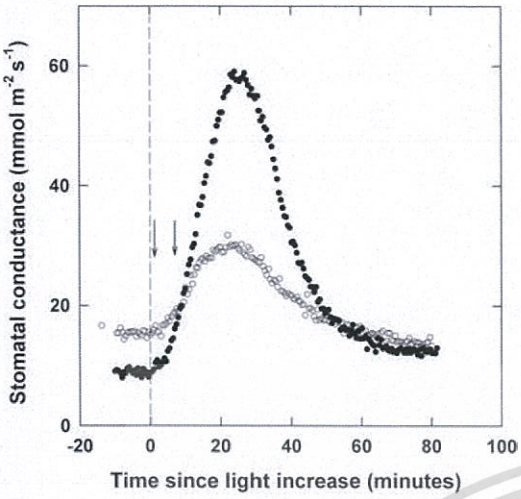


Figure 3. The pulse response of stomatal conductance of leaves of a tropical forest understory shrub to a 1 min (open circles) and an 8 min (filled circles) lightfleck. The dashed line shows the time when the PFD was increased while the down-arrows show when it was decreased. Note that the maximum stomatal conductances were not achieved until 21 min after the 1 min lightfleck and 16 min after the 8 min lightfleck. (From Tinoco-Ojanguren et al. 1992, with permission.)

Piper aequale Vahl., acclimated to high and low light and found that despite essentially identical steady state responses of g_s when both were grown in the shade, the pulse responses were markedly different. Although the opening response in both species continued after a sunfleck for 20–40 min, the pulse response was much lower and more symmetrical in *P. auritum* than *P. aequale*. Conversely, when grown in high light the pulse response was much greater in *P. auritum* than *P. aequale*. The large and hysteretic pulse response in *P. aequale* was shown to improve carbon gain by 30–200%, depending on sunfleck duration. In contrast, the small stomatal response to sunflecks in *P. auritum* shade plants resulted in no significant improvement in the use of subsequent sunflecks. High vapor pressure deficit (VPD) caused stomatal closing in *P. aequale* to be faster and the pulse response to become more symmetrical than what was observed at low VPD, which is consistent with greater water conservation (Tinoco-Ojanguren and Pearcy 1993*a*). While a pulse response would seem to be wasteful in terms of water, the resulting water loss would be quite low at the high humidity characteristic of tropical forest understories.

The past 25 years have yielded many studies of induction responses comparing plants with different ecological preferences such as shady understories versus sunny gaps, and also for plants grown under different environmental conditions. The pattern that emerges from these studies is that plants in shady understories or grown under low-light conditions usually have, with some exceptions (Rijkers et al. 2000, Naumberg and Ellsworth 2000), faster rates of induction and reach 90% of full induction in a shorter time than plants in more open habitats or grown in high-light environments (Tang et al. 1994, Küppers et al. 1996, Ogren and Sundin 1996, Chen and Klinka 1997, Valladares et al. 1997, Urban et al. 2007, Montgomery and Givnish 2008). Similar comparisons of early, mid- and late successional species reveal generally faster induction and slower induction loss in the latter groups, while induction was also faster in Panamanian tropical forest understory species with short as compared with long leaf longevities (Kursar and Coley 1993, Zhang et al. 2012). Much of the faster induction response appears to be explained by the higher initial g_s prior to a light increase (Figure 2) (Valladares et al. 1997, Han et al. 1999, Allen and Pearcy 2000*a*, 2000*b*, Wong et al. 2012). Meta-analyses, however, have mostly failed to reveal consistent differences related to successional status or growth conditions. Vico et al. (2011) compiled a database of τ for increases and decreases in g_s from over 60 published studies and found smaller values for increases than decreases, but also found that values for increases and decreases were strongly correlated. Time constants were smaller for graminoids and for species from drier habitats, but otherwise there was no consistent factor explaining the variation in τ. A somewhat smaller database compiled by Naumberg and Ellsworth (2000) revealed no consistent relationship between shade tolerance and induction times; the only apparent trend was for gymnosperms to exhibit slower induction than angiosperms. However, comparisons between studies are not straightforward because of differences in methodology and environment. For example, leaves that were in darkness prior to induction exhibit slower induction responses than those that were in shade light (Naramoto et al. 2001). As discussed earlier, the time of day and season can affect the rate of induction and the partitioning of limitations to stomata versus biochemistry. Additionally, induction has been found to be faster in plants in situ in the understory than in potted plants in a growing house (Kursar and Coley 1993) and to vary with leaf age (Urban et al. 2008).

How much do sunflecks contribute to carbon gain?

The daily contribution of sunfleck utilization by leaves can be determined by integrating the diurnal course of photosynthesis and PFD and separating carbon gain due to sunflecks from that due to background diffuse PFD. The carbon gain can then be compared with a steady-state model to address the question of how limitations or enhancements to sunfleck use influence carbon gain. The few available studies of this type reveal wide variation, with sunflecks contributing from 30 to 60% of the daily carbon gain in tropical forest understories (Björkman et al. 1972, Pearcy and Calkin 1983, Pearcy 1987) but as little as 10–20% for deciduous forest tree seedlings (Schulze 1972, Weber et al. 1985). The low contributions in the deciduous forest may be due to the higher diffuse light level in this habitat

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and also the low photosynthetic capacity of the seedlings. The contribution of sunfleck utilization to the diurnal carbon gain of *Adenocaulon bicolor* Hook. on clear days in different microsites in a redwood forest understory revealed a wide variation from 30 to 65% (Pfitsch and Pearcy 1989*a*); this variation was more due to differences in sunfleck PFD ($r^2 = 0.81$) and less to differences in diffuse PFD ($r^2 = 0.54$) among the microsites. Of course, cloudy days reduce the annual contribution of sunflecks. Pearcy and Pfitsch (1991) assessed the annual contribution for *A. bicolor* in a redwood forest understory by measuring $\delta^{13}C$ ratios of the biomass that depend on the intercellular CO_2 pressure at the time the carbon was fixed (Farquhar et al. 1982). Intercellular CO_2 pressures are lower and $\delta^{13}C$ are higher for carbon fixed during sunflecks as compared with carbon fixed during diffuse light. The annual contribution of photosynthesis during sunflecks derived in this way ranged from 9% in sites with the least annual sunfleck PFD to 46% for sites with the greatest sunfleck PFD. Thus, sunflecks can be a significant driver of carbon gain on both a daily and annual basis.

Comparisons of the diurnal course of leaf level carbon assimilation to the predictions of a steady-state model can provide insights into the physiological and biochemical limitations to sunfleck utilization. The steady-state model is parameterized from a light response curve and then applied to the diurnal course of PFD (e.g., Posada et al. 2009, Miyashita et al. 2012). Several different equations describing the light response of photosynthesis have been used, but the essential point is that step change in PFD yields an instantaneous step change in assimilation in a model of this type. Using this approach, Pfitsch and Pearcy (1989*a*) found that the steady-state model overestimated daily carbon assimilation by 20 to 30% on clear days with substantial sunfleck activity, but by only 3% on cloudy days when there was no sunfleck activity, which is consistent with a significant induction limitation to sunfleck use in the understory. A similar overestimation by a steady-state model as compared with measurements was found for *Fagus sylvatica* L. seedlings in a deciduous forest understory (Schulte et al. 2003).

Further insights into the contribution of sunfleck utilization can be gained by the application of dynamic models of photosynthesis (Figure 4). Several dynamic models directed at understanding sunfleck use have been developed that start with the widely used Farquhar et al. (1980) model. This model is then modified to make it dynamic by including relevant metabolite pool sizes and light regulation of key enzymes and coupling it to a dynamic stomatal model (Kirschbaum et al. 1988). The models of Pearcy et al. (1997), Kirschbaum et al. (1998) and Naumberg and Ellsworth (2002) are all derived from the model of Gross et al. (1991). The model of Stegemann et al. (1999) is more empirical, focusing on differential equations to simulate induction gain and loss. These models have all been used to reveal large dynamic limitations to daily carbon

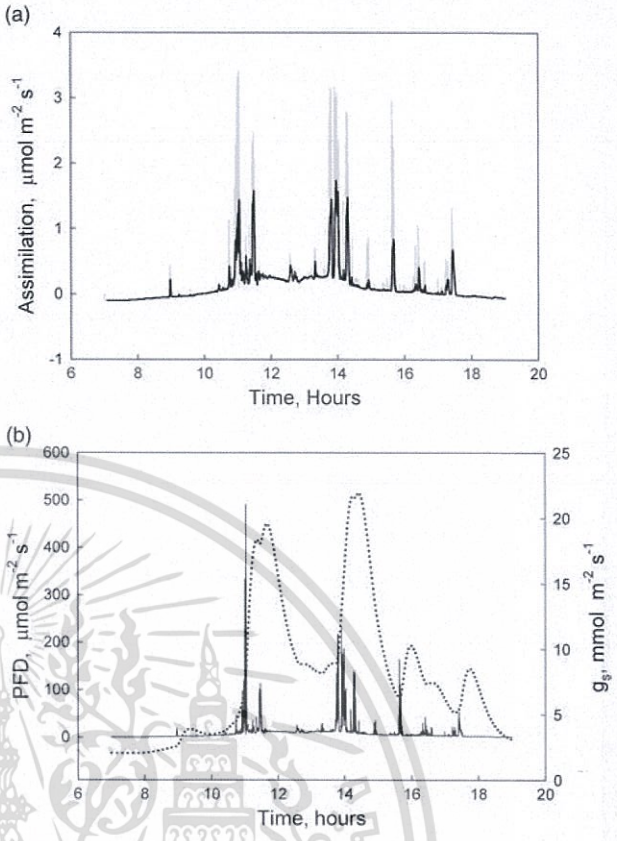


Figure 4. Simulated diurnal course of net CO_2 assimilation and stomatal conductance of *Psychotria marginata* in response to a PFD time series recorded at 1-s intervals in the understory of an Australian tropical forest. Panel a shows the dynamic simulation (black line) with the Pearcy et al. (1997) model and the steady-state simulation (gray line) with the same model. Panel b shows the measured PFD input (black line) and the dynamic simulation of stomatal conductance (dotted line).

assimilation in understories, and thus offer a cautionary note regarding reliance on the much simpler steady-state models for understanding carbon budgets of understory plants; similar caveats are likely to apply to tree canopies. Application of the Pearcy et al. (1997) model to simulate assimilation and stomatal conductance of an understory herb, *Alocasia macrorrhiza* (L.) G. Don, predicted a daily carbon gain 1 to 25% lower than a steady-state output of the model, with the greatest difference occurring when sunflecks contributed more than 50% of the PFD (Pearcy 2007). Changing parameters to selectively eliminate different dynamic limitations showed that dynamic stomatal responses (Figure 4b) imposed the greatest limitation, followed by limitations on sunfleck use imposed by light regulation of Rubisco. In contrast, post-lightfleck CO_2 assimilation made no contribution to carbon gain because short sunflecks, for which it is a significant contributor, made up only a small fraction of the sunfleck PFD. Naumberg and Ellsworth (2002) compared the simulated dynamic and steady-state carbon gain for four tree species and found similar overestimations by the steady-state model that also depended on species-specific

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dynamic responses. Thus, the fast induction gain and slow loss found for *Liriodendron tulipifera* L. resulted in closer agreement between the steady-state and dynamic simulations than that found in *Acer rubrum* L., which had lower steady-state g_s and also faster induction loss. Montgomery and Givnish (2008) utilized the Naumburg and Ellsworth model to predict the crossover point in daily carbon gain for two Hawaiian *Lobelia* species occurring along a light gradient and showed that the crossover point, where carbon gain in one species became superior to that of the other, was close to the observed crossover in the relative dominance of the two species along the light gradient. Overall, these studies show that ignoring dynamic responses could yield misleading inferences about the performance of understory plants. And as sunflecks can contribute a substantial portion of daily light and carbon fixation in forest canopies, it is not surprising that incorporating sunfleck processes into models of forest carbon fluxes improves their performance. Alton et al. (2007) found that adding functions for both leaf orientation within forest canopies and a probability distribution for sunfleck occurrence to the land-surface scheme JULES improved its ability to predict how gross primary productivity responded to light in three different forest types.

Despite the importance of incorporating dynamic light responses into models of forest carbon gain (as seen in Alton et al. 2007), to date there has been relatively little attention given to the role of sunflecks in tree canopies. While there has been recognition of the importance of how canopy structure alters penumbral effects in tree canopies (Stenberg 1998, Palmroth et al. 1999), these models and those that account for detailed PFD regimes in various canopy layers (Kim et al. 2008, Sterck and Schieving 2011) or high-frequency light intensity data (Posada et al. 2009, Miyashita et al. 2012) do not incorporate dynamic photosynthetic responses, instead relying on simpler static models of photosynthesis that are likely to overestimate forest carbon gain. Küppers et al. (1996) have shown with arrays of multiple quantum sensors that there are strong gradients of sunfleck activity from the upper to lower crown, both in an understory tree and within a tree crown in a canopy gap; similar results were obtained by Vierling and Wessman (2000) for a tropical forest tree canopy. Thus, it could be expected that the dynamic responses of photosynthesis to PFD changes would impact on crown carbon gain. Aspen (*P. tremuloides*) and cottonwood (*P. fremontii*) canopies present interesting cases because leaf fluttering occurs at a threshold wind speed of only ~1 m s^{-1}. Leaf fluttering creates a highly dynamic light environment in aspen canopies, both at the top of the crown and deeper due to increased direct beam penetration (Roden and Pearcy 1993*a*). Fluttering leaves at the top of the canopy intercepted less light, whereas lower canopy leaves intercepted more light as compared with still conditions. Simulations of the fluttering of individual leaves with the Pearcy et al. (1997) model with PFDs recorded at 10 Hz revealed that post-lightfleck CO_2 fixation increased photosynthesis by 10–15% in fluttering versus fixed leaves (Roden 2003). Overall canopy carbon gain was estimated to be increased by 10% due to increased light penetration and post-lightfleck CO_2 fixation as compared with still conditions (Roden and Pearcy 1993*b*). Further studies are needed within tree canopies to understand the role of the dynamic light environment in determining forest carbon gain and of the effects of crown structure and leaf morphology on creating these dynamic light environments.

Sunfleck tolerance mechanisms

While sunflecks can be critical to the survival of understory plants, they can be a mixed blessing. At the two ends of the continuum of leaf responses to light are shade and sun leaves (Boardman 1977, Givnish 1988). The characteristics of a shade leaf maximize light capture, but reduce the costs of maintaining excess photosynthetic machinery: shade leaves have a high specific leaf area with few layers of palisade mesophyll cells and high chlorophyll concentrations per unit dry mass, but low concentrations of Rubisco and nitrogen (table 1 in Givnish 1988). Sun leaves generally have the opposite traits to maintain a high maximum photosynthetic rate. Because the relatively low investment in photosynthetic proteins yields a low light-saturated photosynthetic rate, a classic shade leaf risks photoinhibition and damage from the high PFD of sunflecks, while a classic sun leaf will be ill-suited to shade conditions, overinvesting in photosynthetic proteins that cannot be fully utilized. The sudden and large variations in PFD mean that understory leaves exposed to sunflecks must not only be able to regularly function as shade leaves, but also be able to minimize the potential for damage associated with these crucial, brief bouts of bright light. For example, a recent study of three woody species found a significant reduction in the quantum efficiency of photosystem II (i.e., dark-adapted F_v/F_m) after exposure to a PFD of 2000 µmol m^{-2} s^{-1}, with the most photoinhibition occurring in leaves grown at 10% of full sunlight (Wong et al. 2012). And this type of damage appears to have ecological consequences for seedling recruitment. Exposure to high-PFD sunflecks has been correlated with reduced survival of *Abies magnifica* A. Murray seedlings, whereby recruitment was high in plots that received short sunflecks in the morning, but establishment was inhibited in plots with gaps overhead that produced midday sunflecks of high PFD (Ustin et al. 1984).

The ability to tolerate sunflecks can involve numerous mechanisms. Physical movement to avoid excess PFD is one option that operates on multiple scales. Inside chloroplasts, there can be restructuring of the thylakoid grana size and stacking within 10 min of exposure to a high PFD (Rozak et al. 2002). Work on the understory species *Alocasia brisbanensis* (F.M. Bailey) Domin has shown that chloroplasts are positioned periclinally

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

(parallel to the leaf surface) at low PFD to optimize absorption (Williams et al. 2003); when the same leaf is exposed to a high PFD, chloroplasts reposition themselves anticlinally (perpendicular to the leaf surface) to minimize absorption within as little as two minutes of the change in PFD. The rapidity of this change makes it a viable mechanism for leaves to reduce excess PFD interception during sunflecks, while allowing a return to the previous state soon after the sunfleck disappears. At the whole leaf level, a change in leaf angle at the onset of a sunfleck would reduce PFD absorption, although the default angle for understory leaves may be horizontal to maximize PFD absorption (Valladares and Pearcy 2002). The same appears to hold true within a tree canopy: Posada et al. (2009) reported that leaves with a lower daily PFD were oriented nearly horizontal, while leaves of the same tree receiving higher daily PFD were more steeply angled. For most species, these changes are fixed during development with little later plasticity. However, in a few species, such as *Oxalis oregana* Nutt., leaves can rapidly fold from a horizontal to a vertical position during a sunfleck and then recover in a few minutes after the sunfleck (Powles and Björkman 1981). For those species incapable of rapid leaf movements, other tolerance mechanisms come into greater prominence. A second mechanism for increasing sunfleck tolerance is high g_s, to allow for substantial latent heat loss and rapid diffusion of CO_2 into the leaf (Young and Smith 1979). While this strategy can reduce heat stress and support higher photosynthetic rates, it necessitates access to abundant water, making it unsuitable when water is limiting.

Leaf pigments (including anthocyanins and carotenoids) constitute another set of mechanisms for tolerating the light stress that accompanies sunflecks. In a detailed analysis of the localization of anthocyanins within the canopy of the tree species *Quintinia serrata* A. Cunn., Gould et al. (2000) found evidence for a primary role of anthocyanins in protecting photosynthesis during sunflecks. Within a leaf, anthocyanins were preferentially located in photosynthetic mesophyll tissue, with leaf anthocyanin concentrations increasing with expected annual PFD exposure from nearby gaps (Gould et al. 2000). This likely represents a relatively static response to the sunfleck exposure environment of a specific leaf, but other pigment-based defenses, such as the xanthophyll cycle, are more dynamic.

If intercepted light levels are too great to process through photosynthesis, leaves must safely dissipate excess light energy through mechanisms such as electron channeling through photorespiration (Niinemets et al. 1999) or up-regulation of antioxidants to offset the formation of damaging reactive oxygen species (Grace and Logan 1996, Posch et al. 2008). While these topics have received considerable attention in studies examining responses to different light environments, the most well-studied sunfleck tolerance mechanism in tree species involves a group of carotenoids known as xanthophylls, including lutein and neoxanthin (Demmig-Adams and Adams 1996, Logan et al. 1997, Königer et al. 1998, Adams et al. 1999, Demmig-Adams and Adams 2006). Sunfleck stress tolerance often involves the xanthophyll cycle, which consists of conversions between three xanthophyll pigments. Under low light, violaxanthin is the predominant xanthophyll cycle representative in leaves. When PFD increases above the light saturation point of photosynthesis, the resulting acidification of the thylakoid lumen leads to the successive removal of two epoxy groups from violaxanthin (V), generating the intermediate molecule antheraxanthin (A), and then zeaxanthin (Z), in a process called de-epoxidation. Zeaxanthin absorbs energy from excited chlorophyll molecules and dissipates it as heat. When PFD declines again, zeaxanthin is epoxidized and the pools of violaxanthin are reformed, preventing wasteful dissipation of light energy through the xanthophyll cycle. A similar cycle, involving the xanthophyll lutein and lutein epoxidase, has been found in some species (including woody plants), and is thought to also facilitate light energy dissipation under high-PFD conditions (García-Plazaola et al. 2007).

Within a tree canopy, concentrations of xanthophyll cycle pigments increase with canopy height, reaching their greatest concentrations in the upper canopy where PFDs are highest (Posch et al. 2008). The xanthophyll cycle ($V+A+Z$) fraction of total leaf carotenoids is positively correlated with daily integrated PFD intercepted, rather than the maximum PFD, such that leaves exposed to sunflecks have intermediate values to deep-shade and sun leaves (Logan et al. 1997, Adams et al. 1999, Tausz et al. 2005). While the proportion of xanthophyll cycle pigments in the de-epoxidized state does not fall to zero overnight in leaves that experience sunflecks during the growing season, pre-dawn values of de-epoxidation (given as the ratio $(A+Z)/(V+A+Z)$) range from as low as 0.04 to as high as 0.50 depending on the individual leaf and species (Logan et al. 1997, Adams et al. 1999, Tausz et al. 2005). The percentage of de-epoxidized xanthophylls rises after a sunfleck, with higher post-sunfleck percentages in leaves that had higher overnight percentages: in *A. brisbanensis*, up to a third of the xanthophyll cycle pool was de-epoxidized after the first day's sunfleck (Logan et al. 1997) and *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) Oerst leaves had half of their xanthophyll pool de-epoxidized (Tausz et al. 2005), while in two vine species (*Stephania japonica* (Thunb.) Miers and *Smilax australis* R.Br.), between 70 and 80% of the pool was de-epoxidized (Adams et al. 1999). Despite these differences, relatively little epoxidation occurred between sunflecks in *A. brisbanensis* and the vines, or after 10 min of shade in *N. cunninghamii*, such that the protective capacity of the xanthophyll cycle developed after a single sunfleck tended to remain through the day (Logan et al. 1997, Adams et al. 1999, Tausz et al. 2005). While the retention of de-epoxidized xanthophylls between sunflecks might be expected to reduce the efficiency of light-energy transfer to photosynthesis and hence possibly limit carbon gain in these

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

low-light periods, the thermal dissipation of light energy by the xanthophyll cycle is dependent not only on $Z + A$, but also on the trans-thylakoid pH gradient (Logan et al. 1997, Adams et al. 1999). Thus, although these changes are not instantaneous, rapid increases in electron transport during transient high PFDs acidify the thylakoid lumen and engage the xanthophyll cycle, while sudden decreases in electron transport after a sunfleck inhibit energy dissipation via the xanthophyll cycle, allowing high photosynthetic light use efficiency instead. Differences in de-epoxidation may also correlate with life history strategies: late-successional tree species had higher values of xanthophyll cycle pool de-epoxidation than early-successional species, which may reflect an adaptation to regenerating in shaded understories with frequent sunflecks (Zhang et al. 2012).

Safely dissipating excess light is critical for preventing damage from sunflecks to leaves, but it does little to protect plants from the direct effects of the rise in leaf temperature that occurs during sunflecks. Leaf temperature increases rapidly during sunflecks as the radiative load on the leaf rises, with temperature increases of up to 10 °C in both tree canopies and understory seedlings (Young and Smith 1979, Singsaas and Sharkey 1998, Leakey et al. 2003). In some species, tolerance of photosynthesis to these temperature increases is provided by isoprene emission. Isoprene (2-methyl-1,3-butadiene) is the most abundant biogenic, volatile organic compound emitted by vegetation, and emissions can account for up to 5–10% of net carbon gain (Sharkey et al. 2001). The benefit of isoprene production to plants appears to be primarily in improving abiotic stress tolerance, particularly the types of stress imposed by sunflecks.

The support for isoprene as a sunfleck tolerance mechanism that protects photosynthetic function comes from a number of lines of evidence. Emission rates are stimulated by both high-light levels and leaf temperatures, such that isoprene emission ramps up rapidly during sunflecks and declines when the sunfleck ends (Figure 5a; Singsaas et al. 1997, Singsaas and Sharkey 1998, Behnke et al. 2010, Way et al. 2011). Blocking isoprene synthesis with inhibitors lowers the temperature at which irreversible heat damage to photosynthesis occurs, while resupplying it exogenously restores the original thermotolerance level (Sharkey and Singsaas 1995, Singsaas et al. 1997, Sharkey et al. 2001), indicating that isoprene emission improves photosynthetic thermotolerance. Similarly, studies using transgenically modified poplars have shown that photosynthesis is less inhibited by repeated sunfleck stresses in naturally isoprene-emitting lines than in lines where isoprene synthesis has been suppressed using RNAi technology (Behnke et al. 2010, Way et al. 2011). Lastly, many of the species that emit isoprene are trees and woody plants that experience sunflecks in their canopy or in forest understories, while isoprene production is rare in plant species that experience chronic, constant high temperatures and irradiances in their environment (Sharkey et al. 2001).

Isoprene appears to function by protecting photosynthesis during transient heat stress and alleviating oxidative damage during high-light and high-temperature events. An early hypothesis was that isoprene stabilizes chloroplast membranes at supraoptimal temperatures, minimizing leakiness across the thylakoid membrane (Singsaas et al. 1997). Isoprene is lipophilic and extremely volatile, and modeling of the molecule's behavior in lipid bilayers supports a role for increasing membrane stability during high temperatures (Siwko et al. 2007). Recently, Velikova et al. (2011) found the first direct evidence for isoprene's role in improving the thermal stability of thylakoid

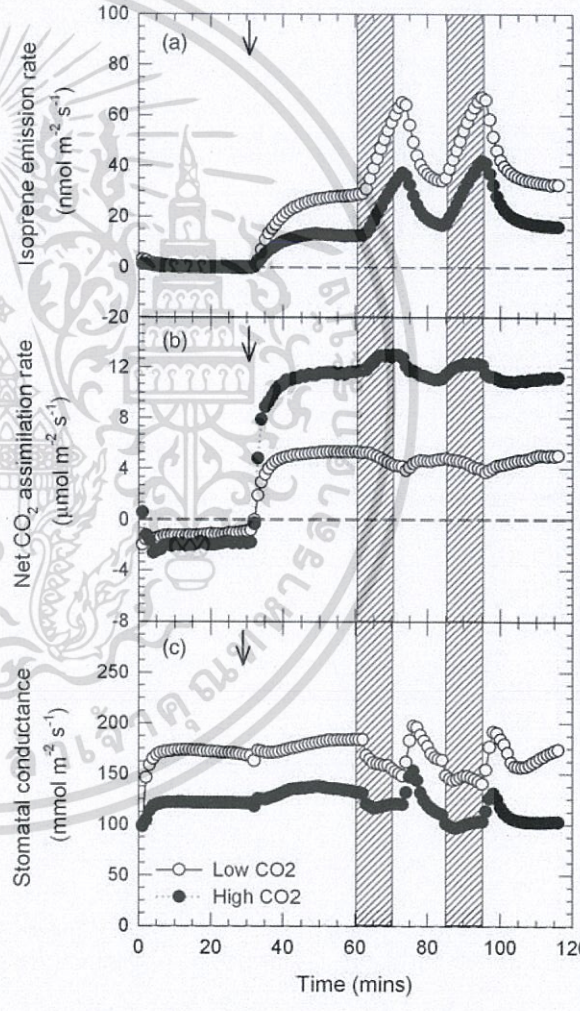


Figure 5. Average response of (a) isoprene emission rates; (b) net CO_2 assimilation rates and; (c) stomatal conductance in *Populus* × *canescens* (Aiton.) Sm. leaves to fluctuations in PFD and leaf temperature when grown and measured at either low (290 ppm, open circles, solid lines) or high (590 ppm, filled circles, dashed lines) CO_2 concentrations. Leaves were dark acclimated for 30 min at 30 °C; arrows indicate when light was applied (700 μmol photons m^{-2} s^{-1}). Hatched bars indicate when light and heat flecks were applied (1600 μmol photons m^{-2} s^{-1}, 39 °C) before being allowed to recover to pre-fleck levels. Figure 5a and data for Figure 5b and c used with permission from Way et al. 2011.

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

membranes, using three independent methods. In comparing both wild-type, non-isoprene-emitting *Arabidopsis thaliana* L. Heynh with *A. thaliana* that was genetically modified to produce isoprene and naturally emitting *Platanus orientalis* L. with *P. orientalis* where isoprene emissions were suppressed, Velikova et al. (2011) found thylakoid membranes were more stable and photosynthesis was enhanced at high temperatures when isoprene was present compared to when it was suppressed. The second way that isoprene can increase sunfleck tolerance is by preventing oxidative damage from reactive oxygen species and ozone through its antioxidant properties (Loreto and Velikova 2001, Affek and Yakir 2002, Velikova et al. 2004, Vickers et al. 2009). While these roles for isoprene are often advocated separately, there is no a priori reason to think that they are mutually exclusive, and both are likely to play a role in sunfleck tolerance in woody species that emit isoprene.

How will global change factors interact with sunflecks?

Heat and drought stress

Anthropogenic activities, such as land use change and fossil fuel use, are already increasing air temperatures, with a projected global average warming of ~3 °C by the year 2100 (IPCC 2007). Associated with rising temperatures are changes in precipitation patterns, such that droughts are expected to become more frequent and severe (IPCC 2007). High temperatures and water stress can both limit photosynthesis, and since carbon assimilation during sunflecks is necessary to maintain positive carbon gain in many understory plants and shaded leaves, the effect of these stresses on sunfleck use could alter plant survival and forest succession.

A need to conserve water during drought periods should correlate with tighter stomatal regulation and lower g_s to prevent unnecessary evaporative losses (Valladares and Pearcy 2002). With regard to stomatal movements during sunflecks, water stress might be expected to reduce the speed of stomatal opening during induction gain, reduce the lag times evident in the pulse responses (see Figure 3), and increase stomatal closure during induction loss to minimize transpiration, but these effects would also limit carbon gain during sunflecks (Vico et al. 2011). However, across a wide-range of plant species and functional types, species from dry climates tend to open their stomata faster during sunflecks than species from wet climates, although both groups have similar rates of stomatal closure (Vico et al. 2011). This unexpected result may have to do with the initial g_s pre-sunfleck in xeric and mesic conditions. During dry periods, g_s in shaded leaves usually declines (Valladares and Pearcy 2002, Allen and Pearcy 2000*a*). Compared with wet season measurements, dry season g_s in the shade was reduced in each of four woody Rubiaceae species, imposing a greater induction limitation on sunfleck use (Allen and Pearcy 2000*a*). But this low g_s in the shade during dry periods would necessitate a greater degree of stomatal opening to sunflecks (and thus a faster stomatal response time) if leaves are to reach the same maximum g_s they achieve in the wet season and thus reduce stomatal limitations to photosynthesis compared with the wet season.

In a recent meta-analysis, Vico et al. (2011) found that the stomata of trees and shrubs have longer response times (i.e., higher τ) to step changes in PFD than grasses (consistent with the results of Knapp and Smith 1989), with woody gymnosperms having especially high values of τ. While there is little information on stomatal behavior to sunflecks in gymnosperms, the available data show that they are the only functional group that takes longer to open their stomata when exposed to high PFD than to close them when re-exposed to shade (Vico et al. 2011). Interestingly, the τs of gymnosperms from wet climates are more similar to those of woody angiosperms from dry climates than those from wet climates (Vico et al. 2011). Although the link between stomatal response times to light and tree xylem structure has not been investigated, this is consistent with a hypothesis that plants with high hydraulic conductivity (such as ring-porous trees from mesic climates) might have faster stomatal responses to changes in PFD than diffuse-porous or tracheid-bearing trees with lower hydraulic conductivity (Zhang et al. 2012), since tighter g_s regulation may be needed to prevent excessive transpiration when water transport is rapid. Figure 6 plots τ for stomatal opening and closure for woody species from Vico et al. (2011) against stem-specific hydraulic conductivity rates (k_s) taken from various studies in the literature for the same species (compiled in Manzoni et al. 2012). In cases where τ could not be estimated in Vico et al. (2011) because it was much larger than the time allowed for sun or shade flecks, we used a conservative estimate of τ (three times the duration of the sunfleck in the original study). In general, gymnosperms inhabit the left top corner of the graphs with relatively low k_s and large τ values, while angiosperms have faster stomatal movements and higher k_s (Figure 6). However, *P. tremuloides* (open circle in Figure 6) has much slower stomatal responses than expected from these general trends, which is consistent with the lack of g_s response to PFD changes seen in *Populus* species in recent studies (Tang and Liang 2000, Tomimatsu and Tang 2012; Robert W. Pearcy, personal observation). Studies explicitly linking the rate of stomatal responses to the hydraulic capacity of trees within the same individual could more clearly address this hypothesis.

Because low light levels reduce radiant heat loads and the need for latent heat loss through transpiration, water stress may be expected to be lessened in shaded understory environments, but studies on woody species often find the opposite (Abrams and Mostoller 1995, Valladares and Pearcy 2002). While both shade- and sun-grown *Heteromeles arbutifolia* (Lindl.) M. Roem. had similar pre-dawn Ψ of −0.5 MPa during a moist spring and the shaded shrubs exhibited less negative midday Ψ than the

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

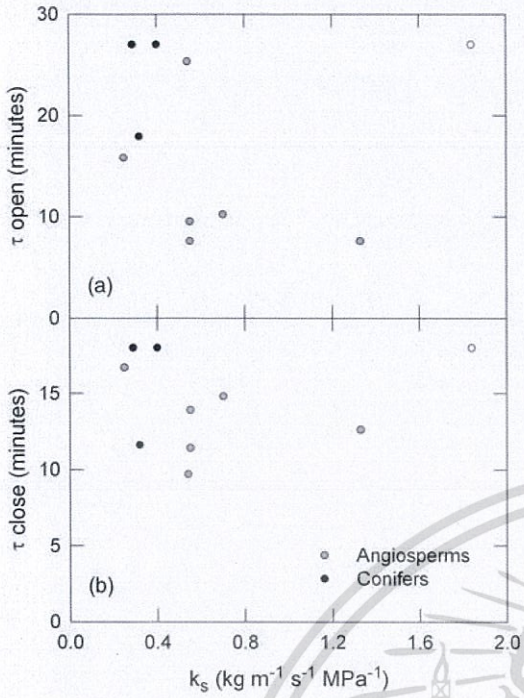


Figure 6. Relationship between stem specific hydraulic conductivity (k_s) and the time constant (τ, from Vico et al. 2011) for (a) stomatal opening; and (b) stomatal closing in response to changes in light in both woody angiosperms (grey circles) and woody conifers (black circles). *Populus tremuloides* is indicated by an open circle; note the different *y*-axes values.

exposed plants, this pattern was reversed during an exceptionally dry summer (Valladares and Pearcy 2002). Leaf water status decreased in both groups, but significantly more in the shaded plants: both pre-dawn and midday Ψ dropped to −4 MPa in understory *H. arbutifolia*, compared with remaining above −2 and −3 MPa, respectively, in sun plants (Valladares and Pearcy 2002). Similarly, pre-dawn Ψ was lower in shaded, understory leaves than in exposed leaves from six species of temperate tree saplings, although midday measurements were lower in exposed leaves (Abrams and Mostoller 1995). These patterns may be related to the lower root-to-shoot ratio in shade plants as compared with sun plants, a strategy that maximizes leaf area and hence potential carbon gain: this reduction in the root-to-shoot ratio occurs in oak seedlings grown under increasing sunfleck conditions (Holmes 1995). But a lower root-to-shoot ratio also lowers potential drought tolerance (Givnish 1988, Valladares and Pearcy 2002). Since open-grown tree species are better able to recover from low midday Ψ than shaded conspecifics (Abrams and Mostoller 1995), understory plants may be particularly vulnerable to droughts. This is also consistent with data showing that plots with long, intense sunflecks have lower tree seedling densities than plots with shorter, lower-intensity sunflecks on south-facing slopes in North America, which may reflect either cumulative light stress or increased water stress from high radiation loads (Ustin et al. 1984).

The stronger drought stress imposed on understory woody plants compared with full-sun individuals is also reflected in their ability to fix carbon. The sharp decline in Ψ during drought in both sun and shade *H. arbutifolia* coincided with a reduction in g_s, but while sun-exposed leaves maintained substantial daily carbon gain during the drought, understory leaves that depended on sunflecks were barely capable of achieving positive daily carbon balance (Valladares and Pearcy 2002). Reductions in photosynthesis were attributable to stomatal closure, but also to reduced carboxylation efficiency during the drought, severely limiting the carbon gain of understory *H. arbutifolia* in comparison with sun plants (Valladares and Pearcy 2002). Initial g_s is strongly correlated with induction gain time (Figure 2, see also Wong et al. 2012), so leaves that close their stomata during low PFD due to water stress will be less capable of using sunflecks. This is supported by work from Tang and Liang (2000) who showed that in a poplar species with stomata that were relatively insensitive to changes in PFD, drought stress increased the induction time for low-light, but not for high-light, leaves.

While drought can affect leaves that depend on sunflecks more than leaves grown in open light, so can heat. As discussed above, sudden increases in radiation during sunflecks lead to concomitant rises in leaf temperature (Young and Smith 1979, Singsaas and Sharkey 1998, Leakey et al. 2003), a combination of stresses that can be particularly damaging to leaves (Königer et al. 1998). Large leaf sizes, horizontal orientations and low wind speeds in the understory are conducive to achieving high leaf temperatures during sunflecks. In one of the few studies to investigate how high temperatures modify sunfleck use, Leakey et al. (2003) found that carbon gain in forest seedlings during a series of sunflecks was 59% lower in leaves measured at 38 versus 28 °C. This was partly due to enhanced photorespiration rates, but steady-state measurements of net photosynthesis predicted a 40% inhibition in carbon gain by the higher temperatures, indicating that heat stress was less deleterious under continuous light. The extra effect of heat stress on plants experiencing fluctuating light was caused by a 14% inhibition of light use efficiency at high measurement temperatures, due to a faster induction loss (Leakey et al. 2003). After 10 min of shade, leaves at 38 °C retained only 16% of their induction state and had reduced g_s by ~60%, compared with the 83% retention of induction state and 18% reduction in g_s in the cooler leaves. An increase in the rate of induction loss was also found between 15 and 25 °C in *F. sylvatica* seedlings (although there was evidence for a decline in the rate of induction loss at 35 °C), but induction gain was generally enhanced by increasing temperatures (Küppers and Schneider 1993). However, leaves that receive naturally fluctuating light and temperature may be better able to handle changes imposed by sunflecks: leaf temperature would normally decline between sunflecks, which would help offset the decrease in light use

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

efficiency caused by enhanced photorespiration when leaf temperatures remain elevated during post-irradiance periods. Thus, while many sunfleck experiments are done with step changes in irradiance but constant or only slightly varying leaf temperatures, a more realistic approach may be to vary both irradiance and temperature (as in Figure 5).

Elevated CO_2

Elevated CO_2 concentrations increase carbon fixation by raising c_i and also cause lower g_s (Ainsworth and Rogers 2007). Both of these effects could improve sunfleck use since high c_i could enhance Rubisco activation (Mott and Woodrow 1993), reducing the time needed for biochemical induction gain, while lower maximum g_s could reduce the time needed to open the stomata fully during a sunfleck (Kosvancova et al. 2009). Studies examining sunfleck utilization in tree species find that, as expected, growth at elevated CO_2 (from ambient + 200 ppm CO_2 to as much as a 1000 ppm CO_2 growth environment) increases steady-state photosynthetic rates (Naumberg and Ellsworth 2000, Leakey et al. 2002, Kosvancova et al. 2009, Tomimatsu and Tang 2012). But there is more variability in the findings regarding how CO_2 concentrations affect induction gain and loss. While high CO_2 did not affect induction gain (measured after 1 min) in four temperate species (Naumberg and Ellsworth 2000), *F. sylvatica*, *Picea abies* (L.) H. Karst. and two different *Populus* species all reached a higher induction state after 50–60 s of high light when grown at elevated CO_2 (Kosvancova et al. 2009, Tomimatsu and Tang 2012). *Populus euramericana* Guinier and *P. abies* also took less time to reach 90% of maximum steady-state photosynthetic rates (A_{max}) when grown at high CO_2 than at ambient CO_2, but CO_2 effects were not significant in *F. sylvatica* or *Populus koreana* × *trichocarpa* (Kosvancova et al. 2009, Tomimatsu and Tang 2012). Leakey et al. (2002) found that the shape of the photosynthetic response to a sunfleck was altered in *Shorea leprosula* Miq., a tropical dipterocarp, such that the time to reach 50% of A_{max} was increased, but the time to reach 90% of A_{max} was decreased, by growth at elevated CO_2. Thus, while high CO_2 increases induction gain in some species, it appears to have little effect in others; variation in the elevated CO_2 concentration used is unlikely to explain these differences, since different species within a given study responded in opposite manners. Part of this difference may be due to species-specific variation in stomatal behavior. By comparing two *Populus* species with varying stomatal responses to light intensity, Tomimatsu and Tang (2012) showed that the effect of elevated CO_2 on induction gain was stronger in the species with greater light-induced regulation of g_s. When light levels were increased sharply, g_s rose markedly in *P. koreana* × *trichocarpa* and quickly reached a maximum regardless of growth CO_2, effectively minimizing stomatal limitations and promoting fast induction gain. However, *P. euramericana* took longer to gain full induction at ambient CO_2 than high CO_2 because slower stomatal opening at ambient CO_2 led to a longer duration where both stomatal and biochemical limitations reduced carbon fixation (Tomimatsu and Tang 2012).

In contrast, there seems to be general agreement that high CO_2 growth conditions decrease the rate of induction loss (Naumberg and Ellsworth 2000, Leakey et al. 2002). The slower loss of induction also increases photosynthesis in subsequent sunflecks in high CO_2-grown saplings, compounding the 1.4–1.6 times direct enhancement of maximum photosynthetic rates derived from elevated CO_2 (Naumberg and Ellsworth 2000, Leakey et al. 2002). Species-specific differences in induction loss have also been reported, whereby *A. rubrum* lost induction more rapidly than *L. tulipifera* (Naumberg and Ellsworth 2000).

The effects of elevated CO_2 on leaf sunfleck use can also alter seedling growth by increasing carbon gain. Leakey et al. (2002) showed that while elevated CO_2 increased seedling carbon gain and growth under both constant light and a shade/sunfleck treatment, the relative enhancement of carbon gain by high CO_2 compared with ambient CO_2 was much greater in the sunfleck treatment (89%) than under uniform light (59%), as was growth, where the relative enhancement by high CO_2 was 60% in sunflecks and only 25% under constant irradiance. The greater response to high CO_2 in the dynamic light regime was caused by two factors. First, elevated CO_2 increased net photosynthesis most significantly at low light levels, thus providing more of a benefit to the leaves experiencing long periods of deep shade (Leakey et al. 2002). Secondly, high CO_2 increased post-lightfleck CO_2 assimilation (region 2 in Figure 1) and almost completely erased the post-illumination CO_2 burst caused by photorespiration (region 3 in Figure 1), increasing the ability of the high CO_2-grown seedlings to maximize sunfleck use for CO_2 fixation (Leakey et al. 2002). Thus, the benefit of rising CO_2 for increasing tree seedling growth may be greatest in dynamic light environments, such as forest understories and lower canopy layers.

Elevated CO_2 also feeds back onto traits that increase sunfleck tolerance. Isoprene emissions in leaves are negatively correlated with atmospheric CO_2 concentrations (Wilkinson et al. 2009): high CO_2 suppresses isoprene production (Figure 5a) and therefore could reduce the ability to tolerate sunflecks in isoprene-emitting species. Instead, elevated CO_2 suppresses photorespiration and increases the thermal optimum for photosynthesis, so high leaf temperatures and PFDs during sunflecks increase net photosynthesis (Figure 5b), even as the sunfleck reduces g_s (Figure 5c); the opposite response in net photosynthesis is seen at low CO_2 concentrations (Figure 5b). Because of these effects, plants with suppressed isoprene emission capability recover photosynthetic capacity from sunfleck-induced stress equally well as isoprene-emitting lines when grown at high CO_2, since photosynthesis is already more heat tolerant (Way et al. 2011). However, the ability to

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Patterns of response in sunfleck physiological parameters to various climate change stresses. Arrows indicate the direction of the response of the parameter (up = increase, down = decrease), a dash represents no change in the parameter, a question mark shows that we have insufficient data to establish a pattern.

	Elevated CO_2	High temperatures	Drought
g_s	↓	–	↓
Induction gain	↑/–	↑	?
Induction loss	↓	↑	?

produce isoprene has a protective function on photosynthetic sunfleck tolerance when plants develop at low CO_2 concentrations, implying that isoprene-based sunfleck tolerance will be less effective in a future high CO_2 climate (Way et al. 2011).

Because increases in atmospheric CO_2 will happen concurrently with increases in temperature and drought stress, predicting the effects of climate change on sunfleck physiology requires thinking about these changes together. Other global change factors may also be influenced by physiological responses to sunflecks. The ability to use sunflecks or alter the sunfleck regimes experienced by competitors appears to facilitate invasive species success in some studies (Horton and Neufeld 1998, Brantley and Young 2009), which may in turn affect forest community composition and tree seedling survival (Flory and Clay 2009, Marshall et al. 2009). Unfortunately, there are no multi-factor global change experiments addressing sunfleck use. We can, however, search for commonalities where responses to individual drivers may reinforce each other (Table 1). Both CO_2 and drought reduce g_s, while warming effects on g_s are less certain and are often related to associated increases in VPD. Lower initial g_s could mean greater stomatal limitations in the future, unless there are also offsetting τ decreases. The rate of induction gain tends to increase in both elevated CO_2 and temperature studies, implying that if stomatal limitations do not dominate, leaves may be able to make more efficient use of sunflecks in a future climate. In contrast, induction loss responses to CO_2 and temperature appear to be opposing, making it difficult to predict whether post-lightfleck CO_2 assimilation will be altered in a consistent manner. As well, the impacts of drought on changes in induction gain and loss are not clear, and could override physiological responses to warming and high CO_2.

Conclusions

Despite the prevalence of sunflecks in tree canopies and forest understories, the use of sunfleck dynamics and dynamic photosynthetic responses to changing PFD in models of forest carbon fluxes has lagged. Since assuming static responses of photosynthesis to sunflecks can overestimate carbon gain by over 20%, incorporating realistic photosynthetic responses to variable PFD should be a research priority. However, to accomplish this, we also need a much better understanding not only of how to generalize these dynamic responses (such as by shade tolerance or functional group), but also of how climate change will alter these dynamics. Given the importance of the capacity to use sunflecks for the establishment and growth of forest understory species, addressing these uncertainties should be a goal for both modelers and physiologists.

Acknowledgments

We thank Gaby Katul, Stefano Manzoni and Giulia Vico for sharing data and providing stimulating discussions, and Ram Oren for the invitation to write this review and his constructive comments.

Conflict of interest

None declared.

Funding

D.A.W. was supported by the USDA (#2011-67003-30222) and the US Department of Energy (DOE), Office of Science, Biological and Environmental Research (DE-SC0006967).

References

Abrams MD, Mostoller SA (1995) Gas exchange, leaf structure and nitrogen in contrasting successional tree species growing in open and understory sites during a drought. Tree Physiol 15:361–370.

Adams WW III, Demmig-Adams B, Logan BA, Barker DH, Osmond CB (1999) Rapid changes in xanthophyll cycle-dependent energy dissipation and photosystem II efficiency in two vines, *Stephania japonica* and *Smilax australis*, growing in the understory of an open Eucalyptus forest. Plant Cell Environ 22:125–136.

Affek HP, Yakir D (2002) Protection by isoprene against singlet oxygen in leaves. Plant Physiol 129:269–277.

Ainsworth EA, Rogers A (2007) The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO_2]: mechanisms and environmental interactions. Plant Cell Environ 30:258–270.

Allen MT, Pearcy RW (2000*a*) Stomatal behavior and photosynthetic performance under dynamic light regimes in a seasonally dry tropical rain forest. Oecologia 122:470–478.

Allen MT, Pearcy RW (2000*b*) Stomatal versus biochemical limitations to dynamic photosynthetic performance in four tropical rainforest shrub species. Oecologia 122:479–486.

Alton PB, North PR, Los SO (2007) The impact of diffuse sunlight on canopy light-use efficiency, gross photosynthetic product and net ecosystem exchange in three forest biomes. Global Change Biol 13:776–787.

Assmann SM (1988) Enhancement of the stomatal response to blue light by red light, reduced intercellular concentrations of CO_2, and low vapor pressure differences. Plant Physiol 87:226–231.

Baldocchi D, Collineau S (1994) The physical nature of solar radiation in heterogeneous canopies: spatial and temporal attributes. In: Caldwell MM, Pearcy RW (eds) Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Academic Press, San Diego, pp 21–71.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

Behnke K, Loivamaki M, Zimmer I, Rennenberg H, Schnitzler JP, Sandrine L (2010) Isoprene emission protects photosynthesis in sunfleck exposed grey poplar. Photosynth Res 104:5–17.

Björkman O, Ludlow M, Morrow P (1972) Photosynthetic performance of two rain-forest species in their habitat and analysis of their gas exchange. Carnegie Institution of Washington Yearbook 71:94–102.

Boardman NK (1977) Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Annu Rev Plant Physiol 28:355–377.

Brantley ST, Young DR (2009) Contribution of sunflecks is minimal in expanding shrub thickets compared to temperate forest. Ecology 90:1021–1029.

Chazdon R (1988) Sunflecks and their importance to forest understory plants. Adv Ecol Res 18:1–63.

Chen HYH, Klinka K (1997) Light availability and photosynthesis of *Pseduotsuga menziesii* seedlings grown in the open and in the forest understory. Tree Physiol 17:23–29.

Demmig-Adams B, Adams WW III (1996) The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. Trends Plant Sci 1:21–26.

Demmig-Adams B, Adams WW III (2006) Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. New Phytol 172:11–21.

Farquhar GD, von Caemmerer S, Berry JA (1980) A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. Planta 149:78–90.

Farquhar GD, O'Leary MH, Berry JA (1982) On the relationship between carbon isotope discrimination and intercellular carbon dioxide concentration in leaves. Aust J Plant Physiol 9:121–137.

Flory SL, Clay K (2009) Invasive plant removal method determines native plant community responses. J Appl Ecol 46:434–442.

García-Plazaola JI, Matsubara S, Osmond CB (2007) The lutein epoxide cycle in higher plants: its relationship to other xanthophyll cycles and possible functions. Funct Plant Biol 34:759–773.

Givnish TJ (1988) Adaptation to sun and shade: a whole plant perspective. Aust J Plant Physiol 15:63–92.

Gould KS, Markham KR, Smith RH, Goris JJ (2000) Functional role of anthocyanins in the leaves of *Quintinia serrata* A. Cunn. J Exp Bot 51:1107–1115.

Grace SC, Logan BA (1996) Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species. Plant Physiol 112:1631–1640.

Gross LJ, Kirschbaum MUF, Pearcy RW (1991) A dynamic model of photosynthesis in varying light taking account of stomatal conductance, C3-cycle intermediates, photorespiration and RuBisCO activation. Plant Cell Environ 14:881–893.

Han Q, Yamaguchi E, Odaka N, Kakubari Y (1999) Photosynthetic induction responses to variable light under field conditions in three species grown in the gap and understory of a *Fagus crenata* forest. Tree Physiol 19:625–634.

Holmes TH (1995) Woodland canopy structure and the light response of juvenile *Quercus lobata* (Fagaceae). Am J Bot 82:1432–1442.

Horton JL, Neufeld HS (1998) Photosynthetic responses of *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus, a shade-tolerant, C4 grass, to variable light environments. Oecologia 114:11–19.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 pp.

Kim HS, Oren R, Hinkley TM (2008) Actual and potential transpiration and carbon assimilation in an irrigated poplar plantation. Tree Physiol 28:559–577.

Kirschbaum MUF, Pearcy RW (1988*a*) Gas exchange analysis of the relative importance of stomatal and biochemical factors in photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. Plant Physiol 86:782–785.

Kirschbaum MUF, Pearcy RW (1988*b*) Gas exchange analysis of the fast phase of photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. Plant Physiol 87:818–821.

Kirschbaum MUF, Pearcy RW (1988c) Concurrent measurements of oxygen-and carbon-dioxide exchange during lightflecks in *Alocasia macrorrhiza* (L.) G. Don. Planta 174:527–533.

Kirschbaum MUF, Gross LJ, Pearcy RW (1988) Observed and modelled stomatal responses to dynamic light environments in the shade plant *Alocasia macrorrhiza*. Plant Cell Environ 11:111–121.

Kirschbaum MUF, Küppers M, Schneider H, Giersch C, Noe S (1998) Modelling photosynthesis in fluctuating light with inclusion of stomatal conductance biochemical activation and pools of key photosynthetic intermediates. Planta 204:16–26.

Knapp AK, Smith WK (1989) Influence of growth form on ecophysiological responses to variable sunlight in subalpine plants. Ecology 70:1069–1082.

Königer M, Harris GC, Pearcy RW (1998) Interaction between photon flux density and elevated temperatures on photoinhibition in *Alocasia macrorrhiza*. Planta 205:214–222.

Kosvancova M, Urban O, Sprtova M, Hrstka M, Kalina J, Tomaskova I, Spunda V, Marek MV (2009) Photosynthetic induction in broad-leaved *Fagus sylvatica* and coniferous *Picea abies* cultivated under ambient and elevated CO_2 concentrations. Plant Sci 177:123–130.

Küppers M, Schneider H (1993) Leaf gas exchange of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in lightflecks: effects of fleck length and leaf temperature in leaves grown in deep and partial shade. Trees Struct Funct 7:160–168.

Küppers M, Timm H, Orth F, Stegemann J, Stober R, Scneider H, Paliwal K, Karunaichamy KSTK, Ortiz R (1996) Effects of light environment and successional status on lightfleck use by understory trees of temperate and tropical forests. Tree Physiol 16:69–80.

Kursar TA, Coley PD (1993) Photosynthetic induction times in shade-tolerant species with long and short-lived leaves. Oecologia 93:165–170.

Leakey ADB, Press MC, Scholes JD, Watling JR (2002) Relative enhancement of photosynthesis and growth at elevated CO_2 is greater under sunflecks than uniform irradiance in a tropical rain forest tree seedling. Plant Cell Environ 25:1701–1714.

Leakey ADB, Press MC, Scholes JD (2003) High-temperature inhibition of photosynthesis is greater under sunflecks than uniform irradiance in a tropical rain forest tree seedling. Plant Cell Environ 26:1681–1690.

Leakey ADB, Scholes JD, Press MC (2005) Physiological and ecological significance of sunflecks for dipterocarp seedlings. J Exp Bot 56:469–482.

Logan BA, Barker DH, Adams WW III, Demmig-Adams B (1997) The response of xanthophyll cycle-dependent energy dissipation in *Alocasia brisbanensis* to sunflecks in a subtropical rainforest. Aust J Plant Physiol 24:27–33.

Loreto F, Velikova V (2001) Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Plant Physiol 127:1781–1787.

Manzoni S, Vico G, Porporato A, Katul GG (2012) Biological constraints on water transport in the soil-plant-atmosphere system. Adv Water Resour. doi:10.1016/j.advwatres.2012.03.016.

Marshall JM, Buckley DS, Franklin JA (2009) Competitive interaction between *Microstegium vimineum* and first-year seedlings of three central hardwoods. J Torrey Bot Soc 136:342–349.

Mate CJ, von Caemmerer S, Evans JR, Hudson GS (1996) The relationship between CO_2-assimilation rate, Rubisco carbamylation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

and Rubisco activase content in activase-deficient transgenic tobacco suggests a simple model of activase action. Planta 198:604–613.

Miyashita A, Sugiura D, Sawakami K, Ichihashi R, Tani T, Tateno M (2012) Long-term, short-interval measurements of the frequency distributions of the photosynthetically active photon flux density and net assimilation rates of leaves in a cool-temperate forest. Agric For Meteorol 152:1–10.

Montgomery RA, Givnish TJ (2008) Adaptive radiation of photosynthetic physiology in the Hawaiian lobeliads: dynamic photosynthetic responses. Oecologia 155:455–467.

Mott KA, Woodrow IE (1993) Effects of O_2 and CO_2 on nonsteady-state photosynthesis. Plant Physiol 102:859–866.

Mott KA, Woodrow IE (2000) Modelling the role of Rubisco activase in limiting non-steady-state photosynthesis. J Exp Bot 51:399–406.

Mott KA, Snyder GW, Woodrow IE (1997) Kinetics of Rubisco activation as determined from gas-exchange measurements in antisense plants of *Arabidopsis thaliana* containing reduced levels of Rubisco activase. Aust J Plant Physiol 24:811–818.

Naramoto M, Han Q, Kakubari Y (2001) The influence of previous irradiance on photosynthetic induction in three species grown in the gap and understory of a *Fagus crenata* forest. Photosynthetica 39:545–552.

Naumberg E, Ellsworth DS (2000) Photosynthesis sunfleck utilization potential of understory saplings growing under elevated CO_2 in FACE. Oecologia 122:163–174.

Naumberg E, Ellsworth DS (2002) Short-term light and leaf photosynthetic dynamics affect estimates of daily understory photosynthesis in four tree species. Tree Physiol 22:393–401.

Niinemets U, Bilger W, Kull O, Tenhunen JD (1999) Responses of foliar photosynthetic electron transport, pigment stoichiometry, and stomatal conductance to interacting environmental factors in a mixed species forest canopy. Tree Physiol 19:839–852.

Ogren E, Sundin U (1996) Photosynthetic response to dynamic light: a comparison of species from contrasting habitats. Oecologia 106:18–27.

Palmroth S, Palva L, Stenberg P, Kotisaari A (1999) Fine scale measurement and simulation of penumbral radiation formed by a pine shoot. Agric For Meteorol 95:15–25.

Pearcy RW (1983) The light environment and growth of C_3 and C_4 tree species in the understory of a Hawaiian forest. Oecologia 58:19–25.

Pearcy RW (1987) Photosynthetic gas exchange responses of Australian tropical forest trees in canopy, gap and understory microenvironments. Funct Ecol 1:169–178.

Pearcy RW (1990) Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol 41:421–453.

Pearcy RW (2007) Responses of plants to heterogeneous light environments. In: Pugnaire FI, Valladares F (eds) Functional plant ecology. CRC Press, Boca Raton, pp 213–257.

Pearcy RW, Calkin HW (1983) Carbon dioxide exchange of C_3 and C_4 tree species in the understory of a Hawaiian forest. Oecologia 58:26–32.

Pearcy RW, Pfitsch WA (1991) Influence of sunflecks on the $\delta^{13}C$ of *Adenocaulon bicolor* plants occurring in contrasting forest understory microsites. Oecologia 86:457–462.

Pearcy RW, Chazdon RL, Gross LJ, Mott KA (1994) Photosynthetic utilization of sunflecks: a temporally patchy resource on a time scale of seconds to minutes. In: Caldwell MM, Pearcy RW (eds) Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Academic Press, San Diego, pp 175–208.

Pearcy RW, Krall JP, Sassenrath-Cole GF (1996) Photosynthesis in fluctuating light. In: Baker NR (ed.) Photosynthesis and the environment. Kluwer Academic Publishers, New York, NY, USA, pp 321–346.

Pearcy RW, Gross LJ, He D (1997) An improved dynamic model of photosynthesis for estimation of carbon gain in sunfleck light regimes. Plant Cell Environ 20:411–424.

Pfitsch WA, Pearcy RW (1989*a*) Daily carbon gain by *Adenocaulon bicolor* (Asteraceae), a redwood forest herb, in relation to its light environment. Oecologia 80:465–470.

Pfitsch WA, Pearcy RW (1989*b*) Steady-state and dynamic photosynthetic response of *Adenocaulon bicolor* (Asteraceae) in its redwood forest habitat. Oecologia 80:471–476.

Portis AR (1995) Regulation of Rubisco by Rubisco activase. J Exp Bot 46:1285–1291.

Porcar-Castell A, Back J, Juurola E, Hari P (2006) Dynamics of energy flow through photosystem II under changing light conditions: a model approach. Funct Plant Biol 33:229–239.

Posada JM, Lechowicz MJ, Kitajima K (2009) Optimal photosynthetic use of light by tropical tree crowns achieved by adjustment of individual leaf angles and nitrogen content. Ann Bot 103:795–805.

Posch S, Warren CR, Adams MA, Guttenberger H (2008) Photoprotective carotenoids and antioxidants are more affected by canopy position than by nitrogen supply in 21-year-old *Pinus radiata*. Funct Plant Biol 35:470–482.

Powles SB, Björkman O (1981) Leaf movement in the shade species *Oxalis oregana*. II. Role in protection against injury by intense light. Carnegie Institution of Washington Yearbook 63–66.

Roden JS (2003) Modeling the light interception and carbon gain of individual fluttering aspen (*Populus tremuloides* Michx) leaves. Trees 17:117–126.

Rijkers T, de Vries PJ, Pons TL, Bongers F (2000) Photosynthetic induction in saplings of three shade-tolerant tree species: comparing understorey and gap habitats in a French Guiana rain forest. Oecologia 125:331–340.

Roden JS, Pearcy RW (1993*a*) Effect of leaf flutter on the light environment of poplars. Oecologia 93:201–207.

Roden JS, Pearcy RW (1993*b*) Photosynthetic gas exchange response of poplars to steady-state and dynamic light environments. Oecologia 93:208–214.

Rozak PR, Seiser RM, Wacholtz WF, Wise RR (2002) Rapid, reversible alterations in spinach thylakoid appression upon changes in light intensity. Plant Cell Environ 25:421–429.

Sassenrath-Cole GF, Pearcy RW (1992) The role of ribulose-1,5-biscposphate regeneration in the induction requirement of photosynthetic CO_2 exchange under transient light conditions. Plant Physiol 99:227–234.

Schulze ED (1972) Die wirking von Licht und Temperatur auf den CO_2-gaswechel verschiedener Lebensformen aus der Kractschicht eines montanen Buchenwaldes. Oecologia 9:223–234.

Schulte M, Offer C, Hansen U (2003) Induction of CO_2-gas exchange and electron transport: comparison of dynamic and steady-state responses in *Fagus sylvatica* leaves. Trees Struct Funct 17:153–163.

Seemann JR, Kirschbaum MUF, Sharkey TD, Pearcy RW (1988) Regulation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity in response to step changes in irradiance. Plant Physiol 88:148–152.

Sharkey TD, Singsaas EL (1995) Why plants emit isoprene. Nature 374:769.

Sharkey TD, Chen X, Yeh S (2001) Isoprene increases thermotolerance of fosmidomycin-fed leaves. Plant Physiol 125:2001–2006.

Singsaas EL, Sharkey TD (1998) The regulation of isoprene emission responses to rapid leaf temperature fluctuations. Plant Cell Environ 21:1181–1188.

Singsaas EL, Lerdau M, Winter K, Sharkey TD (1997) Isoprene increases thermotolerance of isoprene-emitting species. Plant Physiol 115:1413–1420.

Singsaas EL, Ort DR, DeLucia EH (2000) Diurnal regulation of photosynthesis in understory saplings. New Phytol 145:39–49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

Siwko ME, Marrink SJ, de Vries AH, Kozubek A, Schoot Uiterkamp AJM, Mark AE (2007) Does isoprene protect plant membranes from thermal shock? A molecular dynamics study. Biochim Biophys Acta 1768:198–206.

Stenberg P (1998) Implications of shoot structure on the rate of photosynthesis at different levels in a coniferous canopy using a model incorporating grouping and penumbra. Funct Ecol 12:82–91.

Stegemann J, Timm HC, Küppers MF (1999) Simulation of photosynthetic plasticity in response to highly fluctuating light: an empirical model integrating dynamic photosynthetic induction and capacity. Trees 14:145–160.

Sterck F, Schieving F (2011) Modelling finctional trait acclimation for trees of different height in a forest light gradient: emergent patterns driven by carbon gain maximization. Tree Physiol 31:1024–1037.

Tang Y, Liang NS (2000) Characterization of the photosynthetic induction response in a Populus species with stomata barely responding to light changes. Tree Physiol 20:969–976.

Tausz M, Warren CR, Adams MA (2005) Dynamic light use and protection from excess light in upper canopy and coppice leaves of *Nothofagus cunninghamii* in an old growth, cool temperate rainforest in Victoria, Australia. New Phytol 165:143–156.

Tang Y, Hiroshi K, Mitsumasa S, Izumi W (1994) Characteristics of transient photosynthesis in *Quercus serrata* seedlings grown under lightfleck and constant light regimes. Oecologia 100:463–469.

Tinoco-Ojanguren C, Pearcy RW (1992) Dynamic stomatal behavior and its role in carbon gain during lightflecks of a gap phase and an understory species acclimated to high and low light. Oecologia 92:222–228.

Tinoco-Ojanguren C, Pearcy RW (1993*a*) Stomatal dynamics and its importance to carbon gain in two rainforest *Piper* species. 1. VPD effects on the transient stomatal response to lightflecks. Oecologia 94:388–394.

Tinoco-Ojanguren C, Pearcy RW (1993*b*) Stomatal dynamics and its importance to carbon gain in two rainforest *Piper* species: II. Stomatal versus biochemical limitations during photosynthetic induction. Oecologia 94:388–394.

Tomimatsu H, Tang Y (2012) Elevated CO_2 differentially affects photosynthetic induction response in two *Populus* species with different stomatal behavior. Oecologia 169:869–878.

Urban O, Kosvancova M, Marek MV, Lichtenthaler HK (2007) Induction of photosynthesis and importance of limitations during the induction phase in sun and shade leaves of five ecologically contrasting tree species from the temperate zone. Tree Physiol 27:1207–1215.

Urban O, Sprtova M, Kosvancova M, Tomaskova I, Lichtenthaler HK, Marek MV (2008) Comparison of photosynthetic induction and transient limitations during the induction phase in young and mature leaves from three poplar clones. Tree Physiol 28:1189–1197.

Ustin SL, Woodward RA, Barbour MG, Hatfield JL (1984) Relationships between sunfleck dynamics and red fir seedling distribution. Ecology 65:1420–1428.

Valladares F, Pearcy RW (2002) Drought can be more critical in the shade than in the sun: a field study of carbon gain and photo-inhibition in a Californian shrub during a dry El Nino year. Plant Cell Environ 25:749–759.

Valladares F, Allen MT, Pearcy RW (1997) Photosynthetic responses to dynamic light under field conditions in six tropical rainforest shrubs occurring along a light gradient. Oecologia 111:505–514.

Velikova V, Edreva A, Loreto F (2004) Endogenous isoprene protects *Phragmites australis* against singlet oxygen. Physiol Plant 122:219–225.

Velikova V, Varkonyl Z, Szabo M et al. (2011) Increased thermostability of thylakoid membranes in isoprene-emitting leaves probed with three biophysical techniques. Plant Physiol 157:905–916.

Vickers CE, Possell M, Cojocariu CI, Laothawornkitkul J, Ryan A, Mullineaux PM, Hewitt CN (2009) Isoprene synthesis protects tobacco plants from oxidative stress. Plant Cell Environ 32:520–531.

Vierling LA, Wessman CA (2000) Photosynthetically active radiation heterogeneity within a monodominant Congolese rain forest canopy. Agric For Meteorol 103:265–278.

Vico G, Manzoni S, Palmroth S, Katul GG (2011) Effects of stomatal delays on the economics of leaf gas exchange under intermittent light regimes. New Phytol 192:640–652.

Way DA, Schnitzler JP, Monson RK, Jackson RB (2011) Enhanced isoprene-related tolerance of heat- and light-stressed photosynthesis at low, but not high, CO_2 concentrations. Oecologia 166:273–282.

Weber JA, Jurik TW, Tenhunen JD, Gates DM (1985) Analysis of gas exchange in seedlings of *Acer saccharum*: integration of field and laboratory studies. Oecologia 65:338–347.

Wilkinson MJ, Monson RK, Trahan N, Lee S, Brown E, Jackson RB, Polley HW, Fay PA, Fall R (2009) Leaf isoprene emission rate as a function of atmospheric CO_2 concentration. Glob Change Biol 15:1189–1200.

Williams WE, Gorton HL, Witiak SM (2003) Chloroplast movements in the field. Plant Cell Environ 26:2005–2014.

Wong SL, Chen CW, Huang HW, Weng JH (2012) Using combined measurements for comparison of light induction of stomatal conductance, electron transport rate and CO_2 fixation in woody and fern species adapted to different light regimes. Tree Physiol 32:535–544.

Woodrow IE, Mott KA (1989) Rate limitation of non-steady-state photosynthesis by ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase in spinach. Aust J Plant Physiol 16:487–500.

Young DR, Smith WK (1979) Influence of sunflecks on the temperature and water relations of two subalpine understory congeners. Oecologia 43:195–205.

Zhang Q, Chen YJ, Song LY, Liu N, Sun LL, Peng CL (2012) Utilization of lightflecks by seedlings of five dominant tree species of different subtropical forest successional stages under low-light growth conditions. Tree Physiol 32:545–553.

Downloaded from http://treephys.oxfordjournals.org/ by guest on February 11, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

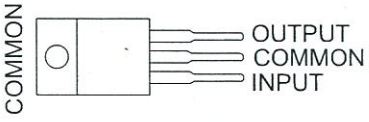
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μA7800 SERIES
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

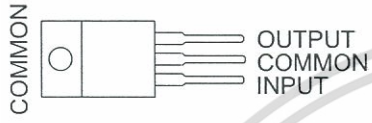
SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation

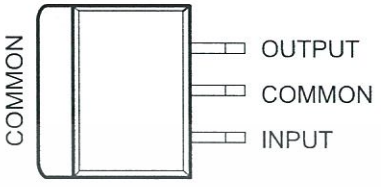
KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



KCS (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



KTE PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T_J	$V_{O(NOM)}$ (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7815CKCS	
	24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

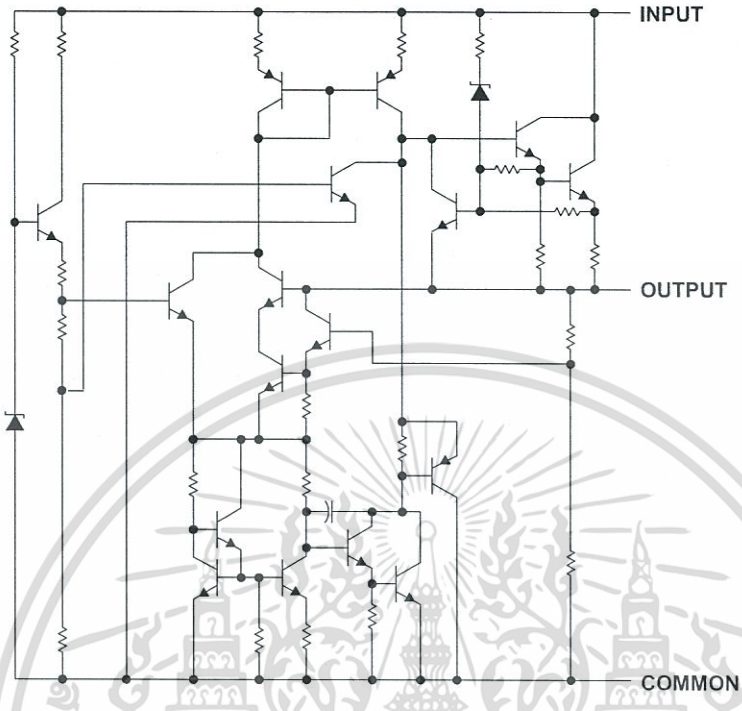
Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_I: μA7824C . . . . . 40 V
All others . . . . . 35 V
Operating virtual junction temperature, T_J . . . . . 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds . . . . . 260°C
Storage temperature range, T_{stg} . . . . . –65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

recommended operating conditions

			MIN	MAX	UNIT
V_I	Input voltage	μA7805C	7	25	V
		μA7808C	10.5	25	
		μA7810C	12.5	28	
		μA7812C	14.5	30	
		μA7815C	17.5	30	
		μA7824C	27	38	
I_O	Output current			1.5	A
T_J	Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, V_I = 10 V, I_O = 500 mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS		T_J†	μA7805C			UNIT
				MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I_O = 5 mA to 1 A, $P_D \le 15$ W	V_I = 7 V to 20 V,	25°C	4.8	5	5.2	V
			0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	V_I = 7 V to 25 V		25°C		3	100	mV
	V_I = 8 V to 12 V				1	50	
Ripple rejection	V_I = 8 V to 18 V,	f = 120 Hz	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	I_O = 5 mA to 1.5 A		25°C		15	100	mV
	I_O = 250 mA to 750 mA				5	50	
Output resistance	f = 1 kHz		0°C to 125°C		0.017		Ω
Temperature coefficient of output voltage	I_O = 5 mA		0°C to 125°C		–1.1		mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz		25°C		40		μV
Dropout voltage	I_O = 1 A		25°C		2		V
Bias current			25°C		4.2	8	mA
Bias current change	V_I = 7 V to 25 V		0°C to 125°C			1.3	mA
	I_O = 5 mA to 1 A					0.5	
Short-circuit output current			25°C		750		mA
Peak output current			25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, V_I = 14 V, I_O = 500 mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J†	μA7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I_O = 5 mA to 1 A, V_I = 10.5 V to 23 V, $P_D \le 15$ W	25°C	7.7	8	8.3	V
		0°C to 125°C	7.6		8.4	
Input voltage regulation	V_I = 10.5 V to 25 V	25°C		6	160	mV
	V_I = 11 V to 17 V			2	80	
Ripple rejection	V_I = 11.5 V to 21.5 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	55	72		dB
Output voltage regulation	I_O = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	160	mV
	I_O = 250 mA to 750 mA			4	80	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C		0.016		Ω
Temperature coefficient of output voltage	I_O = 5 mA	0°C to 125°C		–0.8		mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C		52		μV
Dropout voltage	I_O = 1 A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	V_I = 10.5 V to 25 V	0°C to 125°C			1	mA
	I_O = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		450		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, V_I = 17 V, I_O = 500 mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J†	μA7810C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I_O = 5 mA to 1 A, V_I = 12.5 V to 25 V, $P_D \le 15$ W	25°C	9.6	10	10.4	V
		0°C to 125°C	9.5	10	10.5	
Input voltage regulation	V_I = 12.5 V to 28 V	25°C		7	200	mV
	V_I = 14 V to 20 V			2	100	
Ripple rejection	V_I = 13 V to 23 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	I_O = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	200	mV
	I_O = 250 mA to 750 mA			4	100	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	I_O = 5 mA	0°C to 125°C		–1		mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C		70		μV
Dropout voltage	I_O = 1 A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	V_I = 12.5 V to 28 V	0°C to 125°C			1	mA
	I_O = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		400		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, V_I = 19 V, I_O = 500 mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J†	μA7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I_O = 5 mA to 1 A, V_I = 14.5 V to 27 V, $P_D \le 15$ W	25°C	11.5	12	12.5	V
		0°C to 125°C	11.4		12.6	
Input voltage regulation	V_I = 14.5 V to 30 V	25°C		10	240	mV
	V_I = 16 V to 22 V			3	120	
Ripple rejection	V_I = 15 V to 25 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	I_O = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	240	mV
	I_O = 250 mA to 750 mA			4	120	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	I_O = 5 mA	0°C to 125°C		–1		mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C		75		μV
Dropout voltage	I_O = 1 A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	V_I = 14.5 V to 30 V	0°C to 125°C			1	mA
	I_O = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		350		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, V_I = 23 V, I_O = 500 mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J†	μA7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I_O = 5 mA to 1 A, V_I = 17.5 V to 30 V, $P_D \le 15$ W	25°C	14.4	15	15.6	V
		0°C to 125°C	14.25		15.75	
Input voltage regulation	V_I = 17.5 V to 30 V	25°C		11	300	mV
	V_I = 20 V to 26 V			3	150	
Ripple rejection	V_I = 18.5 V to 28.5 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	54	70		dB
Output voltage regulation	I_O = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	300	mV
	I_O = 250 mA to 750 mA			4	150	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C		0.019		Ω
Temperature coefficient of output voltage	I_O = 5 mA	0°C to 125°C		–1		mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C		90		μV
Dropout voltage	I_O = 1 A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.4	8	mA
Bias current change	V_I = 17.5 V to 30 V	0°C to 125°C			1	mA
	I_O = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		230		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, V_I = 33 V, I_O = 500 mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J†	μA7824C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I_O = 5 mA to 1 A, V_I = 27 V to 38 V, $P_D \le 15$ W	25°C	23	24	25	V
		0°C to 125°C	22.8		25.2	
Input voltage regulation	V_I = 27 V to 38 V	25°C		18	480	mV
	V_I = 30 V to 36 V			6	240	
Ripple rejection	V_I = 28 V to 38 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	50	66		dB
Output voltage regulation	I_O = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	480	mV
	I_O = 250 mA to 750 mA			4	240	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C		0.028		Ω
Temperature coefficient of output voltage	I_O = 5 mA	0°C to 125°C		–1.5		mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C		170		μV
Dropout voltage	I_O = 1 A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.6	8	mA
Bias current change	V_I = 27 V to 38 V	0°C to 125°C			1	mA
	I_O = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		150		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

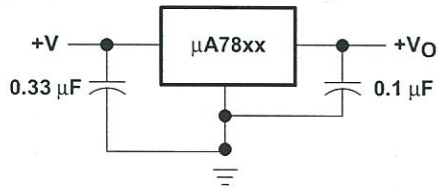


Figure 1. Fixed-Output Regulator

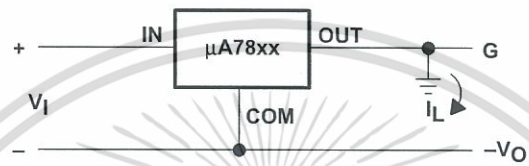
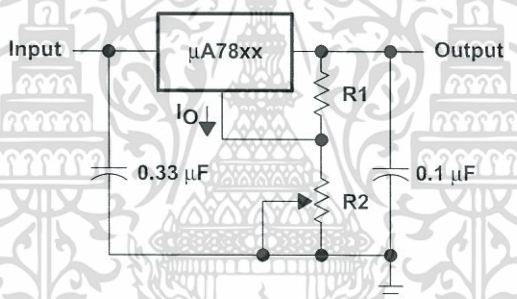


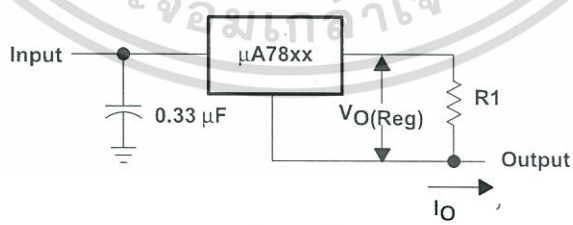
Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration (V_I Must Float)



NOTE A: The following formula is used when V_{xx} is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_Q\right)R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator



$I_O = (V_O/R1) + I_O$ Bias Current

Figure 4. Current Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

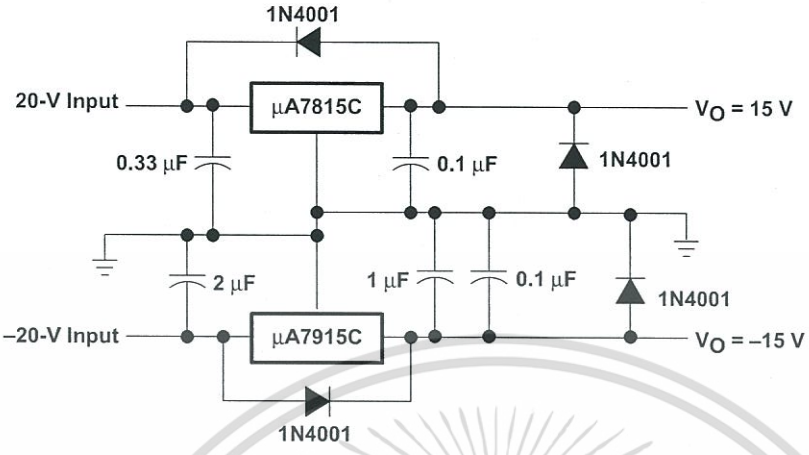


Figure 5. Regulated Dual Supply

operation with a load common to a voltage of opposite polarity

In many cases, a regulator powers a load that is not connected to ground but, instead, is connected to a voltage source of opposite polarity (e.g., operational amplifiers, level-shifting circuits, etc.). In these cases, a clamp diode should be connected to the regulator output as shown in Figure 6. This protects the regulator from output polarity reversals during startup and short-circuit operation.

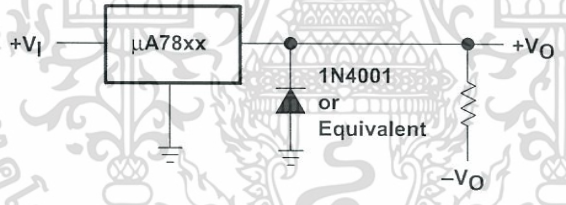


Figure 6. Output Polarity-Reversal-Protection Circuit

reverse-bias protection

Occasionally, the input voltage to the regulator can collapse faster than the output voltage. This can occur, for example, when the input supply is crowbarred during an output overvoltage condition. If the output voltage is greater than approximately 7 V, the emitter-base junction of the series-pass element (internal or external) could break down and be damaged. To prevent this, a diode shunt can be used as shown in Figure 7.

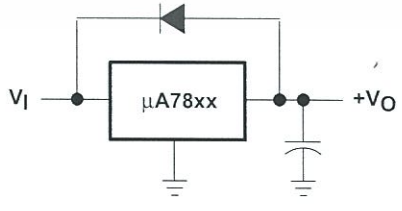


Figure 7. Reverse-Bias-Protection Circuit

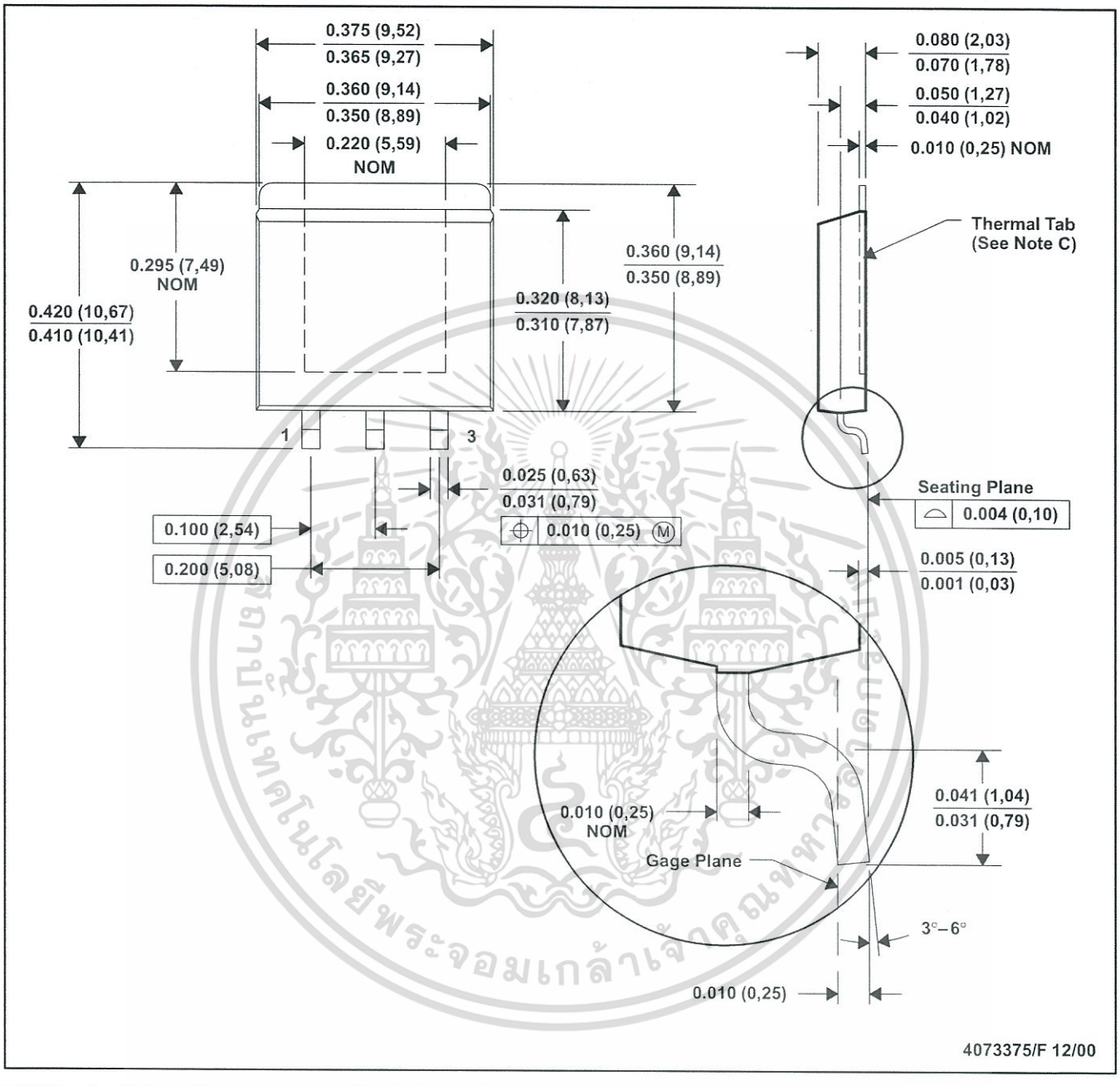
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MPFM001E – OCTOBER 1994 – REVISED JANUARY 2001

KTE (R-PSFM-G3)

PowerFLEX™ PLASTIC FLANGE-MOUNT

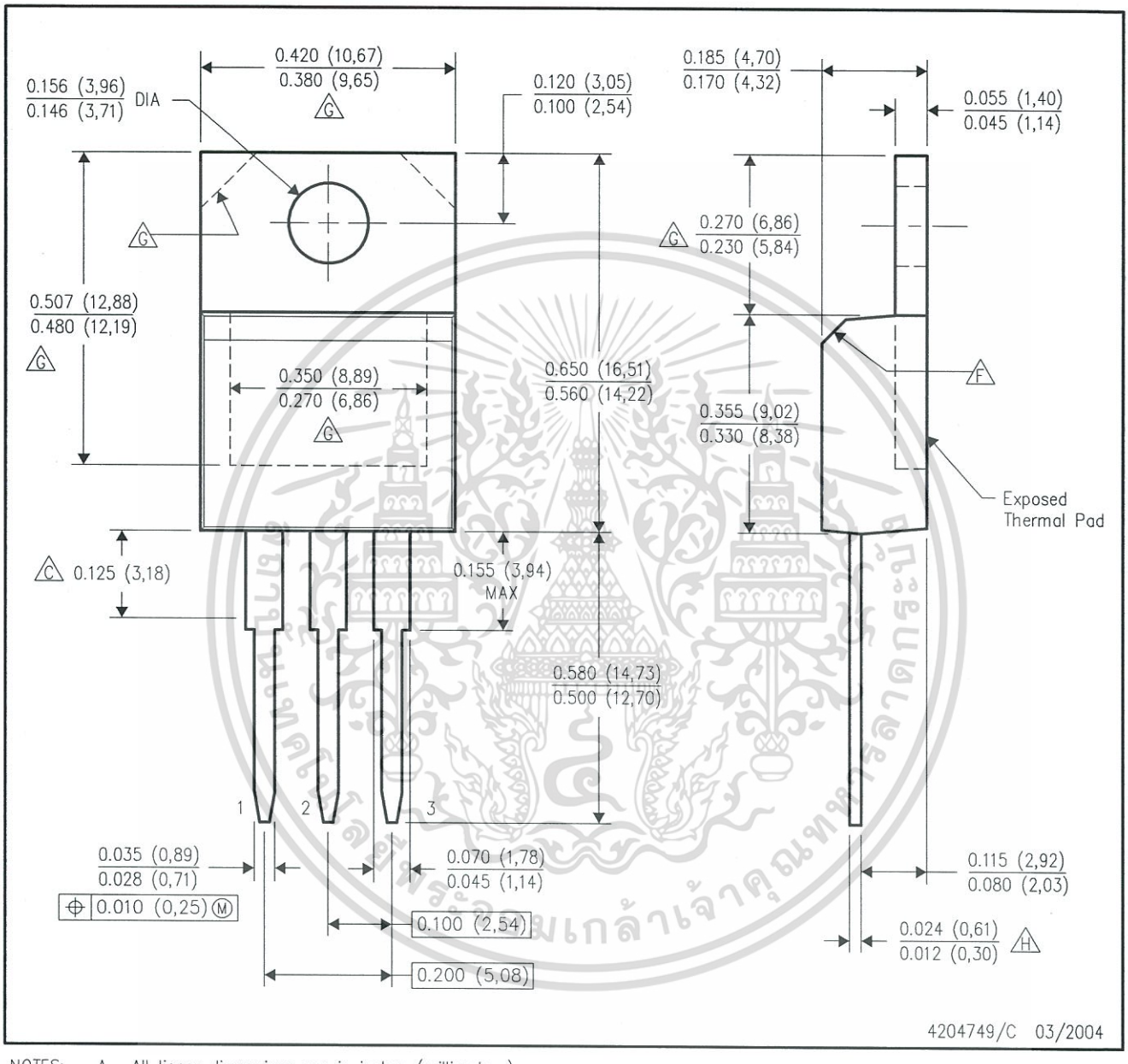


NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. The center lead is in electrical contact with the thermal tab.
D. Dimensions do not include mold protrusions, not to exceed 0.006 (0,15).
E. Falls within JEDEC MO-169

PowerFLEX is a trademark of Texas Instruments.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

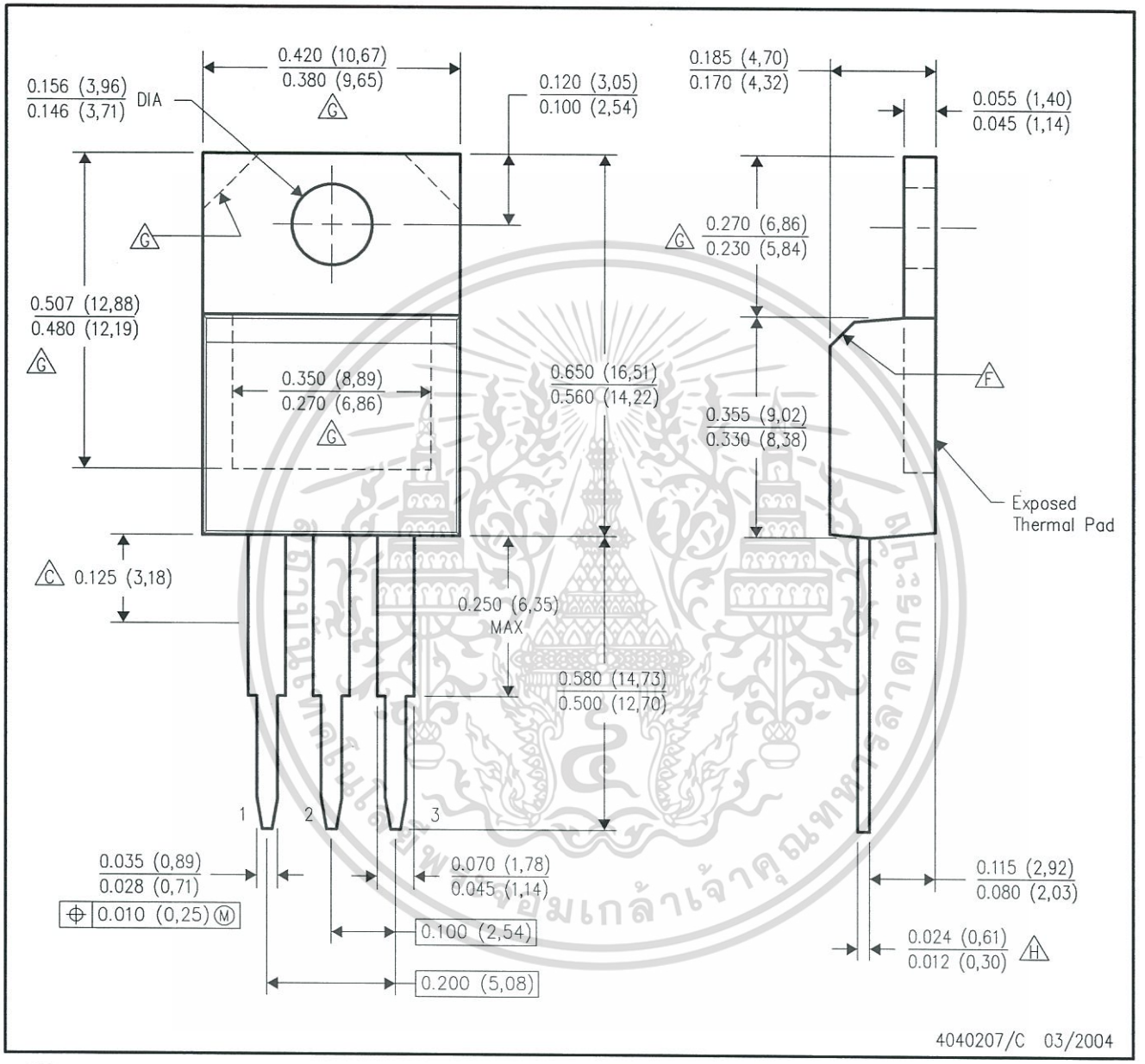
KCS (R–PSFM–T3) PLASTIC FLANGE–MOUNT PACKAGE



NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Lead dimensions are not controlled within this area.
D. All lead dimensions apply before solder dip.
E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
F. The chamfer is optional.
G. Thermal pad contour optional within these dimensions.
H. Falls within JEDEC TO–220 variation AB, except minimum lead thickness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KC (R–PSFM–T3) PLASTIC FLANGE–MOUNT PACKAGE



NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
- B. This drawing is subject to change without notice.
- C. Lead dimensions are not controlled within this area.
- D. All lead dimensions apply before solder dip.
- E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
- F. The chamfer is optional.
- G. Thermal pad contour optional within these dimensions.
- H. Falls within JEDEC TO–220 variation AB, except minimum lead thickness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		**Applications**	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	Broadband	www.ti.com/broadband
Interface	interface.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Logic	logic.ti.com	Military	www.ti.com/military
Power Mgmt	power.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Security	www.ti.com/security
		Telephony	www.ti.com/telephony
		Video & Imaging	www.ti.com/video
		Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้