

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มีเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์



นางสาวณัฐนิชา ลากพิเชฐ
นายวันชนะ ทองหังสาย

๒/๗-

๑๖๓๓๕๒

เลขหมู่ ๒๕๓๙

เลขทะเบียน

วันเดือนปี



612551582

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

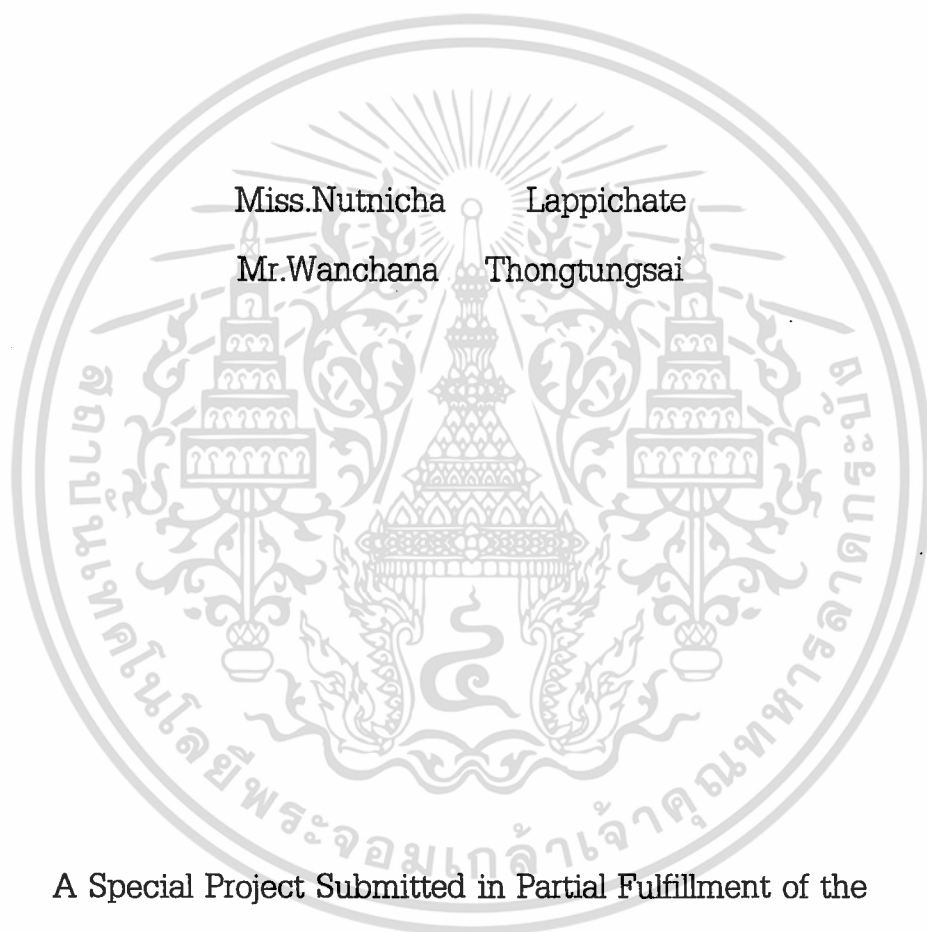
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๓๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Daily Insolation Meter



Miss.Nutnicha Lappichate
Mr.Wanchana Thongtungsai

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	มิเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์
โดย	นางสาวณัฐนิชา ลาภพิเชฐ นายวันชนะ ทองหั่งสาย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิต ศรีโชติ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2539

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ราคาถูก ซึ่งใช้วัดการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เรียกว่า มิเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ โดยการใช้กระแสจากอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกเป็นตัวตรวจวัดการแผ่รังสี โดยวิธีการดิจิตอลอินเกรตซึ่งจะใช้ตัวเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่ วงจรหลักของมิเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะประกอบด้วย 1) ส่วนแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า 2) ส่วนแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 โดยมีมิเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์สามารถวัดค่าเอาท์พุทสูงสุดได้ถึง 999.999 kWh/m² และสามารถใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์การแผ่รังสีแบบลำแสงและแบบกระเจิงแสงจากดวงอาทิตย์มายังพื้นผิวโลก

Special Project Title	Daily Insolation Meter
Name	Miss.Nutnicha Lappichate Mr.Wanchana Thongtungsai
Special Project Adviser	Asst. Prof. Wichit Sirichote
Department	Applied Physics
Academic Year	1996

Abstract

The purpose of this project is to develop a low-cost device used for measuring insolation from the Sun, namely Daily Insolation Meter. The radiation sensor employs a photo-voltaic device generating an output current, which in turn, was integrated by digital integration method using a V/F converter. Main circuit of the meter consists of 1) a photo-voltaic sensor, 2) a current-to-voltage amplifier, 3) a voltage-to-frequency converter, and 4) a microcontroller 89C2051. The measuring output provides a maximum reading of 999.999 kWhr/m². The prototype daily insolation meter can be used to study the effect of direct and diffuse components received at the earth surface.

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายดังนี้

บิดา-มารดา

ผู้ที่ได้ให้ชีวิต และการศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ

ผู้ให้วิชาความรู้ และคำแนะนำต่างๆ

อาจารย์ธวัชชัย สุวรรณคำ

ผู้ให้คำแนะนำ และเอื้อเฟื้ออุปการณ์

สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี

คุณบรรณัฐ ปิ่นหวังกูร

ผู้ให้ความช่วยเหลือในการพิมพ์รายงาน

คุณเสาวณีย์ อารีย์พงศา

ผู้ให้ความช่วยเหลือในการพิมพ์รายงาน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

สถานที่ให้วิชาความรู้ต่างๆ มากมาย

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รวมทั้งเพื่อนๆ และพี่น้องทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ มากมาย

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณทุกๆ ท่านทั้งที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามด้วยความจริงใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 วิธีดำเนินการ	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ดวงอาทิตย์	3
2.1.1 ระบบของจักรวาล	3
2.1.2 ปฏิกริยาการรวมตัวของแสงอาทิตย์	6
2.1.3 ลักษณะทางกายภาพของดวงอาทิตย์	7
2.1.4 การศึกษาเรขาคณิตของแสงอาทิตย์	8
2.1.5 เวลาของแสงอาทิตย์	11
2.1.6 ข้อสงสัยในแสงอาทิตย์	13
2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	15
2.2.1 พลังงานจากดวงอาทิตย์	15
2.2.2 ทิศทางของการแผ่รังสีแบบเป็นลำแสงมายังโลก	17
2.2.3 การแผ่รังสีในแนวเฉียงกับผิวโลก	23
2.3 การวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	26
2.3.1 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	26
2.3.2 ตัวตรวจวัดสำหรับเครื่องมือวัดการแผ่รังสี	27
2.3.3 การปรับค่าไพราโนมิเตอร์ให้ถูกต้องตามมาตรฐาน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	การดำเนินการวิจัย	
3.1	เครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์	32
3.1.1	วงจรรขยายสัญญาณ	32
3.1.2	วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่	33
3.1.3	ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051	34
3.2	การทำงานของโปรแกรม	37
บทที่ 4	การทดลอง	
4.1	การเปรียบเทียบค่ากับไพราโนมิเตอร์มาตรฐาน	40
4.2	ข้อมูลในการวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์	43
บทที่ 5	บทสรุป	
5.1	การประยุกต์ใช้งาน	44
5.2	แนวทางในการพัฒนาโครงการ	44
ภาคผนวก ก	โปรแกรมการทำงาน	
ภาคผนวก ข	วงจรการทำงาน	
ภาคผนวก ค	ข้อมูลอุปกรณ์	
เอกสารอ้างอิง		
ประวัติผู้เขียน		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 แสดงวัฏจักรชีวิตของดวงดาว	4
รูป 2.2 แสดงการโคจรของดาวต่าง ๆ รอบดาวศูนย์กลาง	5
รูป 2.3 แสดงชั้นต่างๆ ของดวงอาทิตย์	7
รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและความยาวคลื่นต่างๆ	8
รูป 2.5 แสดงลักษณะการโคจรและการเกิดฤดูกาลต่างๆ	9
รูป 2.6 แสดงทิศทางเส้นไอโซสำหรับฤดูร้อนและฤดูหนาว	10
รูป 2.7 แสดงการประมาณมุมลาดเอียงแต่ละวันในหนึ่งปี	10
รูป 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของมุมลาดเอียงกับวันในหนึ่งปี	11
รูป 2.9 แสดงให้เห็นค่าเวลาที่ 110 W	12
รูป 2.10 แสดงส่วนผิปกติที่ผิวของดวงอาทิตย์	14
รูป 2.11 แสดงลักษณะปกติของดวงอาทิตย์	14
รูป 2.12 การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ	16
รูป 2.13 แสดงลักษณะของมวลอากาศที่ตกกระทบทำมุม	16
รูป 2.14 สเปคตรัมของแสงอาทิตย์	17
รูป 2.15 การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์	18
รูป 2.16 ระนาบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ากับระนาบ ecliptic	18
รูป 2.17 แผ่นรับแสงอาทิตย์ทำมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	19
รูป 2.18 มุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งตำแหน่งแผ่นรับแสงที่จุด P ซึ่งอยู่ละติจูด POC	21
รูป 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นรับแสงที่เอียงทำมุม S ที่ละติจูด กับแผ่นรับแสงที่วางในแนวระดับที่ละติจูดบนผิวโลก	22
รูป 2.20 ไดอะแกรมการแผ่รังสีบนระนาบแนวเฉียง	24
รูป 2.21 แสดงค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีที่เมืองบาร์เซโลนา	26
รูป 2.22 รูปแบบของ hermoelectric sensor	29
รูป 2.23 สารกึ่งตัวนำในรอยต่อพีเอ็น	29
รูป 3.1 ไดอะแกรม Daily Insolation Meter	32
รูป 3.2 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า	33
รูป 3.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่	33
รูป 3.4 แสดงขาสัญญาณและไดอะแกรมวงจรภายในของ 89C2051	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.5	แผนผังแสดงลำดับการทำงานของ Daily Insolation Meter	37
รูป 3.6	แผนผังแสดงลำดับการทำงานของ Daily Insolation Meter (ต่อ)	38
รูป 3.7	เครื่อง Daily Insolation Meter ที่สมบูรณ์	39
รูป 4.1	ไดอะแกรมของการทดลองเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน	41
รูป 4.2	เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลขณะเปรียบเทียบ	41
รูป 4.3	แสดงลักษณะของการเปรียบเทียบ	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงค่าสมการเวลา (นาที่ : วินาที)	13
ตาราง 2.2 แสดงข้อมูลค่าความแตกต่างของระนาบที่กำหนดทิศในการวัด ที่ประเทศสเปน เมืองบาร์เซโลนา บนชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียน	25
ตาราง 4.1 การเปรียบเทียบค่าเอาต์พุทระหว่างไพราโนมิเตอร์มาตรฐาน กับ Daily Insolation Meter	40
ตาราง 4.2 ผลการทดลองวัดค่าปริมาณความเข้มแสง	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้จำนวนอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในด้านการผลิตและอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากขึ้น จึงได้มีการนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากธรรมชาติมาทดแทนพลังงานที่ได้รับจากน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในปัจจุบันได้มีการพัฒนาพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์มาใช้มากขึ้น จากแนวความคิดเหล่านี้จึงทำให้เกิดโครงการนี้ขึ้นมา โดยที่โครงการนี้จะเป็นการสร้างเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโลกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของดวงอาทิตย์ ณ บริเวณต่างๆบนพื้นผิวโลก เพื่อที่จะได้ใช้ประโยชน์จากดวงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด โดยเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ในโครงการนี้จะนำค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงค่าตามความเข้มของแสงอาทิตย์ มาประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 และได้มีการเปรียบเทียบค่าของเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ในโครงการนี้ให้ตรงตามมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบค่ากับเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์มาตรฐาน ทำให้ประสิทธิภาพในการวัดแม่นยำยิ่งขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์

จากที่กล่าวมาทั้งหมดทำให้เกิดเป็นโครงการเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ขึ้นโดยที่โครงการนี้จะมีวัตถุประสงค์ คือ

1. เพื่อศึกษาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อโลกเมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์
3. เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก
4. เพื่อศึกษาวิธีการปรับเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ให้ถูกต้องตามมาตรฐาน

1.2 วิธีการดำเนินการ

การดำเนินการในการสร้างเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์นั้นได้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ออกแบบวงจรขยาย Current to Voltage Converter และ Voltage to Frequency Converter
2. สร้างเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการทดลอง
3. ประมวลผลโดยการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051
4. ปรับเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ให้ได้ค่าตรงตามมาตรฐาน

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบถึงทฤษฎีและคุณสมบัติของ Solar cell
2. ทราบถึงทฤษฎีและหลักการของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์
3. ศึกษาถึงหลักการทำงานของวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์แต่ละส่วนที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์
4. ทราบถึงหลักการในการปรับเครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ให้ตรงตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดวงอาทิตย์

โดยปกติดวงอาทิตย์จะขึ้นในตอนเช้าและตกในตอนเย็น มนุษย์ทุกคนที่อาศัยอยู่บนโลกจะได้รับประโยชน์มากมายจากดวงอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็น ความอบอุ่น แสงสว่าง ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตอื่นๆมากมาย นอกจากนี้ เรายังสามารถนำพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ มาแปรสภาพเป็นพลังงานอย่างอื่นได้เพื่อใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเราคงจะมีคำถามมากมายเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ เช่น รูปร่างลักษณะเป็นอย่างไร? อีกนานเท่าไรที่ดวงอาทิตย์ยังสามารถแผ่รังสีพลังงาน? ดวงอาทิตย์จะมีการโคจรเหมือนโลกไหม? พลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เราได้รับจะมาจากภายในหรือขอบภายนอกสุดของดวงอาทิตย์? ปริมาณพลังงานการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับเป็นเท่าใด? ปริมาณการแผ่รังสีโดยปกติจะเป็นค่าคงที่ตลอดเวลาใช่หรือไม่? คำถามเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของคำถามอีกมากมายสำหรับดวงอาทิตย์

2.1.1 ระบบของจักรวาล

เรื่องราวของจักรวาลเรายังไม่ทราบแน่ชัดนัก และสำหรับดวงอาทิตย์ของเราเป็นหนึ่งในดวงดาว 10^{11} ดวง ในกาแลคซี (galaxy) ทางช้างเผือก (Milky way) โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของทางช้างเผือกประมาณ 100,000 ปีแสง ภายในรัศมี 2,000,000 ปีแสง เป็นบริเวณที่ประกอบด้วยทั้งหมด 15 กาแลคซี นักดาราศาสตร์สามารถวิจัยอวกาศโดยใช้กล้องที่มีกำลังขยายสูงมากๆ ซึ่งสามารถประมาณจำนวนกาแลคซีที่มองเห็นได้ว่าไม่เกินพันล้านกาแลคซี

จักรวาลมีการจัดรวมตัวกันอย่างไร ?

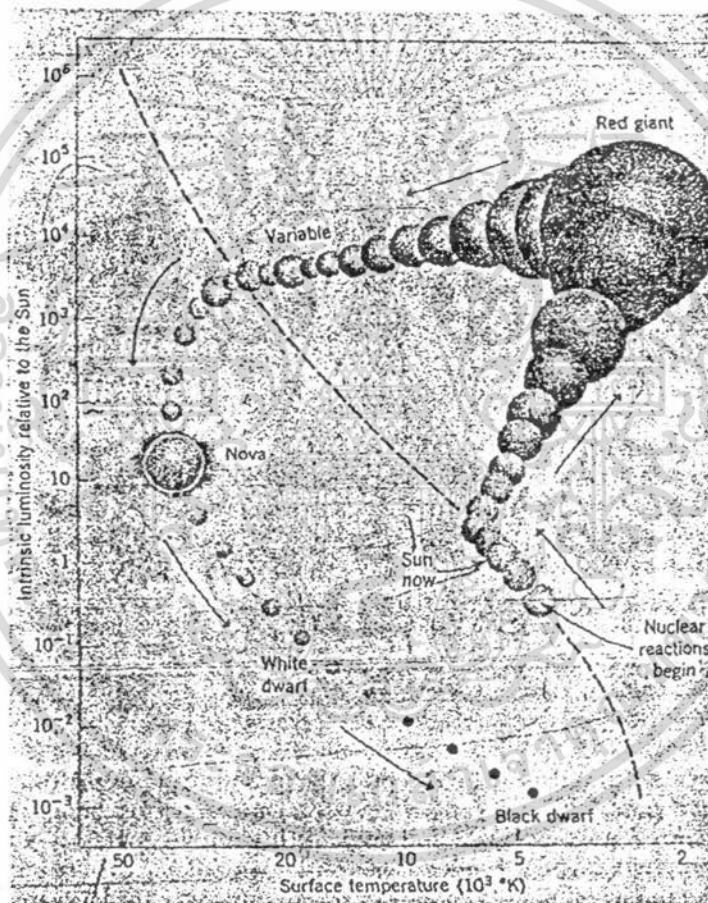
ในคำถามนี้ได้มีการตั้งสมมุติฐานขึ้นมาต่างๆ มากมาย โดยในปี 1920-1930 ได้มีนักดาราศาสตร์ สังเกตว่าวัตถุ ทุกละในจักรวาลที่เคลื่อนที่ห่างจากโลกจะมีความเร็วของวัตถุจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้จากปรากฏการณ์ Doppler shifting ของแสง โดยพบว่าจะมีการกระจายแผ่ขยายกว้างออกไป

เมื่อ 30 ปีที่ผ่านมา George Gamow ได้กล่าวว่าจักรวาลกำเนิดจากสสารที่มีความหนาแน่นของมวลสสารมากๆ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 10^{16} องศาเคลวิน จะทำให้ความดันสูงมากจนเกิดการระเบิดออกมา

เหตุผลนี้ไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก จนกระทั่งได้มีเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดมาก จึงทำให้เชื่อว่าพื้นฐานของการแปรริ่งสีเกิดจากการระเบิดอย่างแรง

การแผ่ขยายของดวงดาวในจักรวาลเป็นอย่างไร ?

บริเวณช่องว่างระหว่างหมู่ดาวเป็นจุดที่จะก่อกำเนิดดวงดาวจากกลุ่มก๊าซที่หลุดจากวัตถุ เนื่องจากรังสีของวัตถุน้อยลง กลุ่มก๊าซใหญ่ที่หลุดมาได้นี้จะรวมตัวเป็นหมู่ดาว วัฏจักรชีวิตของดวงดาวสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรชีวิตของดวงดาว

เราจะพบว่าดวงดาวส่วนมากจะอยู่ตลอดแนว main sequence และมันจะใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพื่อเผาผลาญ โดยฮีเลียมจะทำให้ผิวของก๊าซเย็นลงเรียกว่า cooler gases ซึ่งก๊าซนี้จะมีสี

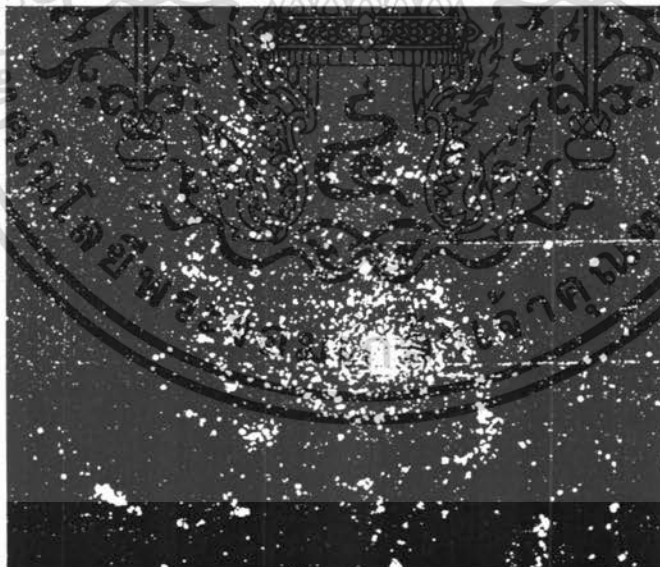
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดงภายนอกดาวเราเรียกว่า red giant ซึ่งขนาดของดวงดวงจะใหญ่ขึ้นมีพลังงานเพิ่มขึ้น ในระบบของแสงอาทิตย์ (solar system) ของเราจะใช้เวลาเกิดปรากฏการณ์นี้ราวๆ 5 พันล้านปี หลังจากนั้นอีก 100 ล้านปี ในช่วงที่เผาผลาญฮีเลียม ดาวจะปล่อยพลังงานออกมาเรื่อยๆ จนมากพอแล้ว มันจะเย็นลงและยุบตัวลงเพราะมีแรงดึงดูดของดาว สิ่งที่น่าสนใจ คือดาวที่ระเบิดออกมาจะมีมวลเป็น 10^{-4} เท่าของดาวดวงเดิม ดาวที่หลุดออกมาแล้วเปล่งแสงจ้าทันทีทันใดแล้วหมดในระยะเวลา 1-2 สัปดาห์ เรียกว่า NOVA

สำหรับดาวที่หลุดมามีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถมีแสงได้นานเป็นล้านปี เราเรียกว่า Spemova โดยปกติจะเกิดเหตุการณ์การระเบิดของดวงดาว 1 ครั้งต่อ 100 ปีในกาแลคซี่

ทำไมจักรวาลจึงไม่ยุบตัวลงเนื่องจากแรงดึงดูด ?

โดยธรรมชาติแล้วเราสามารถพูดว่าจักรวาลสามารถคงอยู่ได้ เพราะการจำกัดของขนาดจักรวาล คือ ถ้ามีปริมาตรจำกัดที่ค่าใดค่าหนึ่งที่มีความหนาแน่น ρ ดังนั้นสสารภายในไม่สามารถจะยุบได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่า T โดย $T \cong 100$ พันล้านปี ซึ่งนานมากและระบบยังบังคับให้ดาวหมุนโคจรรอบดาวศูนย์กลาง เพื่อเป็นการรักษาไม่ให้เกิดเคลื่อนไปที่ดาวศูนย์กลาง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการโคจรของดาวต่างๆ รอบดาวศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ปฏิกิริยาการรวมตัวของแสงอาทิตย์ (Solar fusion reactions)

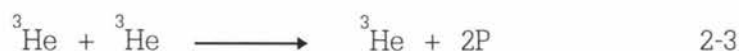
ดวงอาทิตย์เกิดจากการรวมตัวโดยแรงดึงดูดของฝุ่นผงธาตุที่เกิดจากการระเบิดแล้วเข้ามารวมตัวกัน พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นวัตถุจะวิ่งเร็วขึ้น และขนาดของดวงอาทิตย์จะลดลง พลังงานแรงดึงดูดเปลี่ยนเป็นพลังงานการเคลื่อนที่ ซึ่งความร้อนภายในสูงมากประมาณ 2×10^7 องศาเคลวิน ซึ่งความร้อนภายในทำให้เกิดการเผาไหม้ของไฮโดรเจน ซึ่งจะเป็นการปลดปล่อยการแผ่รังสีจำนวนมาก การแผ่รังสีจะทำให้ดวงอาทิตย์สมดุลความดันและป้องกันการยุบตัวลง ประมาณ 5 พันล้านปี ในอนาคตเมื่อไฮโดรเจนของดวงอาทิตย์ถูกใช้หมดและความดันเปลี่ยนแปลง ดวงอาทิตย์จะเริ่มได้รับแรงดึงดูดแล้วทำให้มีอุณหภูมิภายในสูงขึ้น จึงเผาผลาญพลังงานใหม่ คือ ฮีเลียมและคาร์บอน กลับไปเหมือนอยู่ในช่วง red giant

อะไรคือปฏิกิริยาตอบโต้ทางนิวเคลียร์ที่อยู่ภายในอุณหภูมิที่ร้อนแรงในดวงอาทิตย์ เมื่อดวงอาทิตย์ประกอบด้วยไฮโดรเจน 90% ซึ่งผลที่ได้จากการเผาผลาญไฮโดรเจน คือ ฮีเลียม และการปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมาด้วย

พื้นฐานการผลิตนี้ได้รับการยืนยัน โดยนักฟิสิกส์ Hans Bethe ซึ่งเรียกว่าเป็น proton - proton cycle การเปลี่ยนรูปจากไฮโดรเจนเป็นฮีเลียมทำให้เกิดปฏิกิริยาตอบโต้ 3 อย่าง โดยอย่างแรกเกิดจากปฏิกิริยาของ 2 อะตอมไฮโดรเจนกลายเป็น deuterium (D : ไอโซโทปของไฮโดรเจนที่มีมวลเป็น 2 เท่าของไฮโดรเจนธรรมดา) ใน deuterium ประจุบวกที่มีมวลน้อยๆ เล็กๆ เรียกว่า neutrino ผลที่เกิดขึ้นเขียนสมการได้เป็น



การเกิด deuterium จะรวมตัวกันอย่างหนักกับไฮโดรเจนในดวงอาทิตย์ ทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ ซึ่งผลที่ออกมาจะเป็นรูปของแสงจากไอโซโทปของฮีเลียม (^3He) เราเรียกการแผ่รังสีแบบนี้ว่า รังสีแกมมา ซึ่งไอโซโทปของฮีเลียมนี้จะรวมตัวหนาแน่นขึ้น จนท้ายที่สุดจะเริ่มใหญ่ขึ้นจนบางครั้งจะมีอะตอมของไอโซโทปของฮีเลียม 2 ตัวเกิดการปะทะกัน และทำปฏิกิริยากันกลายเป็น ฮีเลียมธรรมดา คือ ^4He และนิวเคลียส 2 ตัวของไฮโดรเจน ซึ่งเราสามารถสรุปตามสมการดังนี้



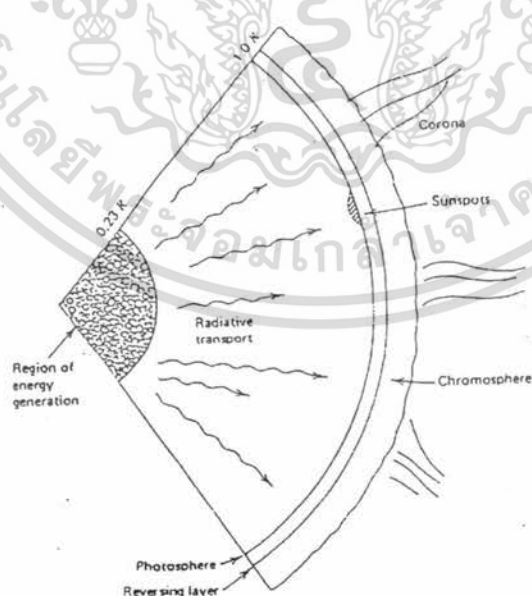
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ไฮโดรเจน 4 นิวเคลียสจะรวมตัวกันเป็นฮีเลียมได้ เป็น 3 ปฏิกิริยา ผลที่ได้นี้เป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้ในการปลดปล่อยพลังงานของดวงอาทิตย์

2.1.3 การอธิบายลักษณะทางกายภาพของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39 ล้านกิโลเมตร และมีระยะทางเฉลี่ยจากโลกเป็น 150 ล้านกิโลเมตร ดวงอาทิตย์มีลักษณะเฉพาะทาง hydrodynamic โดยบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะหมุนรอบแกนใน 27 วัน ส่วนบริเวณขั้วจะหมุนรอบ 31 วัน อุณหภูมิภายใน ประมาณ 2×10^7 องศาเซลเซียส ซึ่งมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาฟิวชัน (fusion) ของไฮโดรเจน เพื่อเปลี่ยนเป็นฮีเลียม ความร้อนภายในจะมากที่สุดภายในช่วง 0.23 R (R : รัศมีของดวงอาทิตย์) ประมาณว่าบริเวณใจกลางนี้จะเป็นที่มีปฏิกิริยาฟิวชันมากที่สุด ประมาณ 40% ของมวลทั้งหมดของดวงอาทิตย์ และกว่า 90% ของความร้อนทั้งหมด

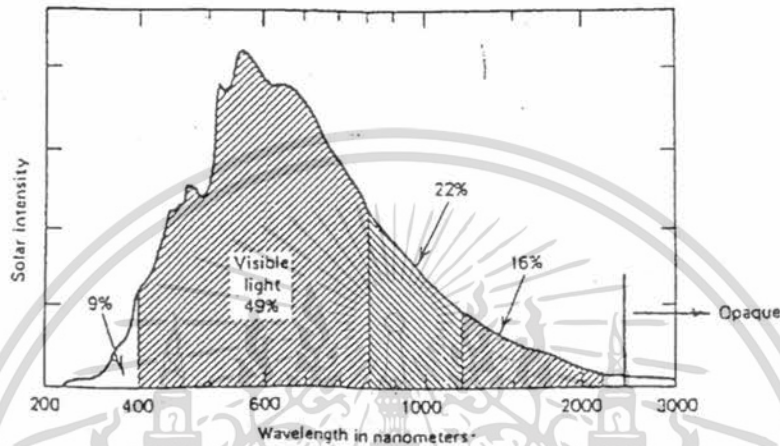
พลังงานภายในจะเปลี่ยนอย่างช้าๆ แล้วแผ่ออกไปผิวนอกจนถึงบริเวณพื้นผิวของดวงอาทิตย์ ที่บริเวณนี้จะเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำประมาณ 10^4 ของอากาศที่ระดับน้ำทะเล ส่วนบริเวณภายนอกของพื้นผิวของดวงอาทิตย์ จะพบ 3 ชั้น บริเวณแรกคือ reversing layer ซึ่งเป็นบริเวณที่หนา 100 ไมล์ และบรรจุ cooler gases จำนวนมาก ชั้นถัดไปคือ chromosphere บริเวณนี้จะหนามากไม่เกิน 600 ไมล์ มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นผิวของดวงอาทิตย์ และชั้นสุดท้ายคือ corona เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำและมีอุณหภูมิสูงมากประมาณ 2 ล้านองศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงชั้นต่างๆ ของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมากเราจะพิจารณาดวงอาทิตย์ในรูปการแผ่รังสีที่สมบูรณ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 6000 องศาเคลวิน (ประมาณ 11,000 องศาฟาเรนไฮต์) มีความยาวคลื่นในช่วง 300 ถึง 4000 นาโนเมตร เราจะได้ค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและความยาวคลื่นต่างๆ

2.1.4 การศึกษาเรขาคณิตทางแสงอาทิตย์ (Solar Geometry)

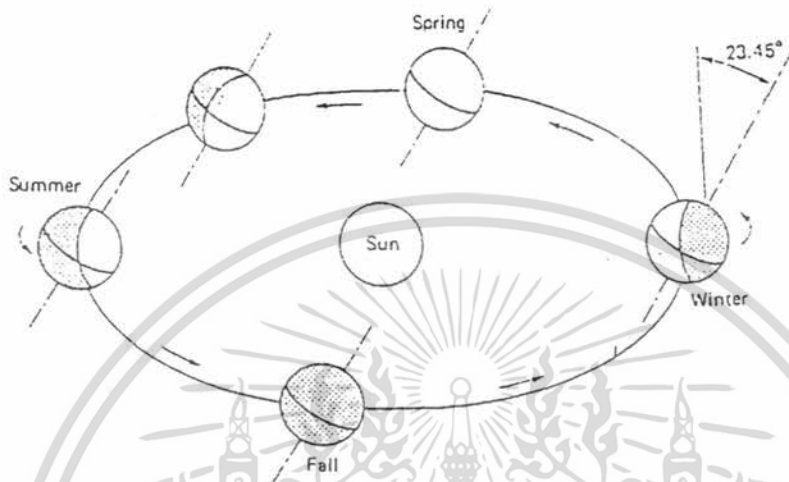
ในส่วนนี้จะเกี่ยวกับเรขาคณิตของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ของปริมาณการแผ่รังสีที่โลกได้รับที่พื้นผิว, สถานที่, ช่วงเวลาและมุมต่างๆ ซึ่งจะต้องศึกษาในส่วนต่างๆ คือ

การเคลื่อนที่ของโลกเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

โลกมีลักษณะคล้ายทรงกลม ด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7900 ไมล์ (12,700 กิโลเมตร) มันหมุนครบรอบตัวเองทุกๆ 24 ชั่วโมง และหมุนรอบดวงอาทิตย์ 365.25 วัน โลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ในลักษณะวงกลม รอบจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ โลกจะโคจรใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อ 1 มกราคม และไกลสุดเมื่อ 1 กรกฎาคม ระยะทางในเดือนมกราคมประมาณ 3.3% และความเข้มแสงที่ได้รับจะแปรผกผันกับพื้นที่ของระยะทาง ในเดือนมกราคมจะมีความเข้มแสงมากกว่าเดือนกรกฎาคม 7% แกนโลกเอียง 23.45 องศา ตลอดการโคจรรอบดวงอาทิตย์ การที่แกนโลกเอียงนี้ทำให้เกิดมีฤดูกาลต่างๆ เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.5

จากรูปแกนของโลกจะเอียงทำมุมกับขั้วโลกเหนือ 23.45 องศา ในฤดูหนาว ซีกโลกเหนือพบว่า ซีกโลกเหนือจะเอียงออกจากดวงอาทิตย์ ในฤดูร้อน ซีกโลกเหนือจะหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ วันที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนโลกจะเอียงเข้าหาหรือออกจากดวงอาทิตย์ คือ 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม ส่วนที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน แกนโลกเอียงตามแนวการโคจร จึงไม่มีการเข้าหาหรือออกจากดวงอาทิตย์



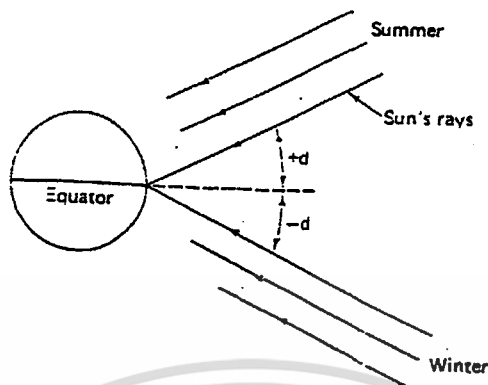
รูปที่ 2.5. แสดงลักษณะการโคจรและการเกิดฤดูกาลต่างๆ

และสำหรับในส่วนของซีกโลกใต้แล้วในฤดูต่างๆ จะกลับกันกับฤดูในซีกโลกเหนือ นอกจากนี้ยังพบว่า แนวโน้มสำหรับความแตกต่างฤดูกาลในอุณหภูมิระหว่างฤดูหนาวและร้อน ในซีกโลกใต้จะมากกว่าในซีกโลกเหนือ

มุมของการลาดเอียง (Angle of Declination)

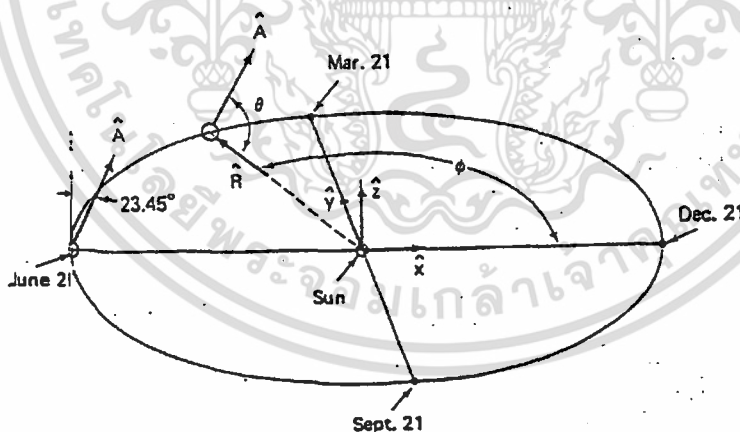
ตามที่อธิบาย จะเป็นขอบเขตของซีกเหนือแต่เราสามารถขยายออกไปสู่ความเข้าใจในส่วนของซีกโลกใต้ได้ แสง solar ในตอนกลางวัน ที่ตำแหน่งต่างๆจะถูกจำกัดเวลาที่แนวจุดกึ่งกลางโลกไปถึงดวงอาทิตย์ผ่าน meridian of longitude มุมที่แนวรังสีของดวงอาทิตย์ทำกับแนวเส้นศูนย์สูตร เรียก Angle of Declination มุมนี้จะแปรจาก 23.45 องศา ที่ 21 กรกฎาคม ถึง 0 ที่ 21 กันยายน และ เป็น 23.45 องศา ที่ 21 ธันวาคม ถึง 0 ที่ 21 มีนาคม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



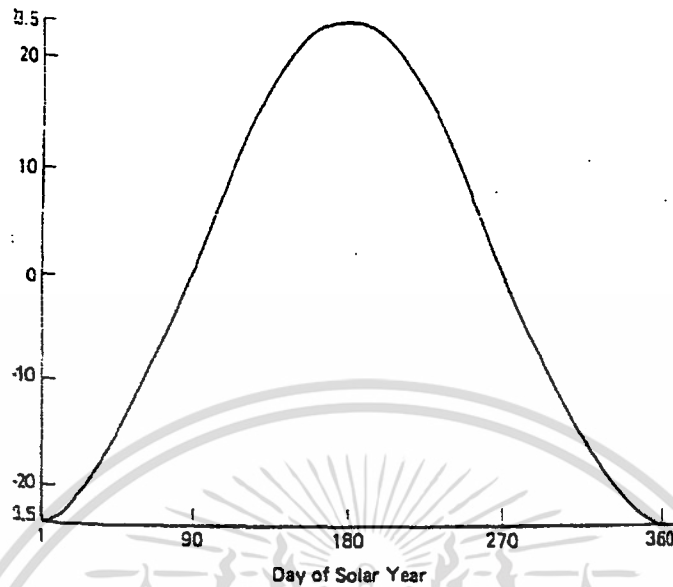
รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางเงาสำหรับฤดูร้อนและฤดูหนาว

การประมาณ angle of declination ในแต่ละวันในหนึ่งปี แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเป็นระบบ xyz คาร์ทีเซียน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงความสัมพันธ์ของมุม angle of declination กับวันใน 1 ปี ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงการประมาณ the angle of declination ในแต่ละวันในหนึ่งปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของมุม angle of declination กับวันใน 1 ปี

2.1.5 เวลาแสงอาทิตย์ (Solar time)

เวลาบนผิวโลกจะถูกคำนวณจาก ตอนเที่ยงคืน ที่ Zero longitude เราเรียกเป็นค่า Greenwich civil time (GCT) และสำหรับ Local civil time (LCT) คือเวลาที่ตำแหน่งต่างๆบนโลก โดยปกติที่เวลาต่างกัน 1 ชั่วโมง ค่าตำแหน่งลองจิจูดจะห่างกัน 15 องศา และสำหรับเวลาสากลแยก 1 วัน ที่เส้นลองจิจูด 180 องศา

โดยปกติ เราจะไม่เจาะจงบริเวณ ระหว่างใน 15 องศาลองจิจูด ในพื้นที่เวลามาตรฐาน ที่สอดคล้อง civil time ที่อาณาเขตบริเวณตะวันออก ตัวอย่างเช่นในอเมริกาจะมี Eastern Standard Time (EST) ,Central Standard Time (CST) , Mountain Standard Time (MST) และ Pacific Standard Time (PST) ที่ลองจิจูด 75 °W, 90 °W, 105 °W , 120 °W ค่า local civil time ที่จุดตำแหน่งอื่นๆ ในบริเวณนี้จะลบ 4 นาทีต่อ 1 องศา จากลองจิจูดทางตะวันตกของลองจิจูดอ้างอิง เช่นที่จุดลองจิจูด 110 W เมื่อมันคือเวลา (GCT) ใน Greenwich ตำแหน่งเวลามาตรฐาน MST และ

$$(MST) = (GCT) - 7 \text{ hr}$$

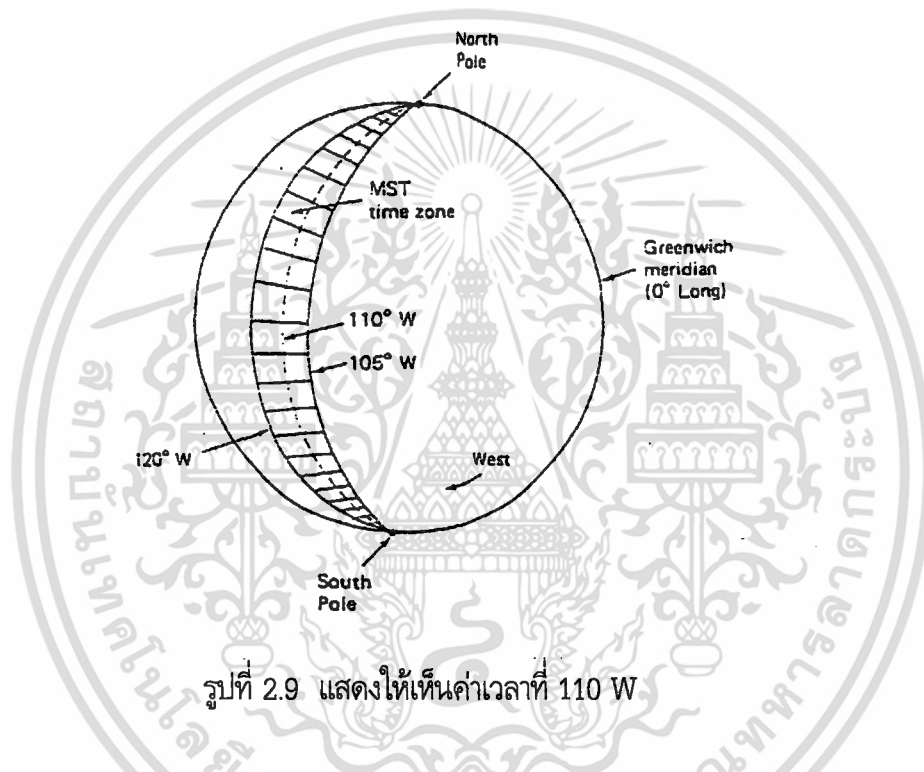
2-4

local civil time คือสิ่งที่สนใจสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(LCT) = (MST) - (5^\circ)(4 \text{ min}/^\circ) \quad 2-5$$

$$(LCT) = (MST) - 20 \text{ min} \quad 2-6$$

สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นค่าเวลาที่ 110 W

ถ้าการหมุนของโลกสมบูรณ์ และถ้าวงโคจรของโลกเป็นวงกลม ค่า the local civil time จะสามารถวัดค่า solar time อย่างไรก็ตาม เพราะว่าการเคลื่อนที่ของโลก ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น Local solar time (LST) จะแตกต่างจาก LCT เล็กน้อย จึงถือว่าใช้ประมาณกันได้ นักดาราศาสตร์มีการคำนวณคำตอบที่ถูกต้องดังแสดงในตารางที่ 2.1

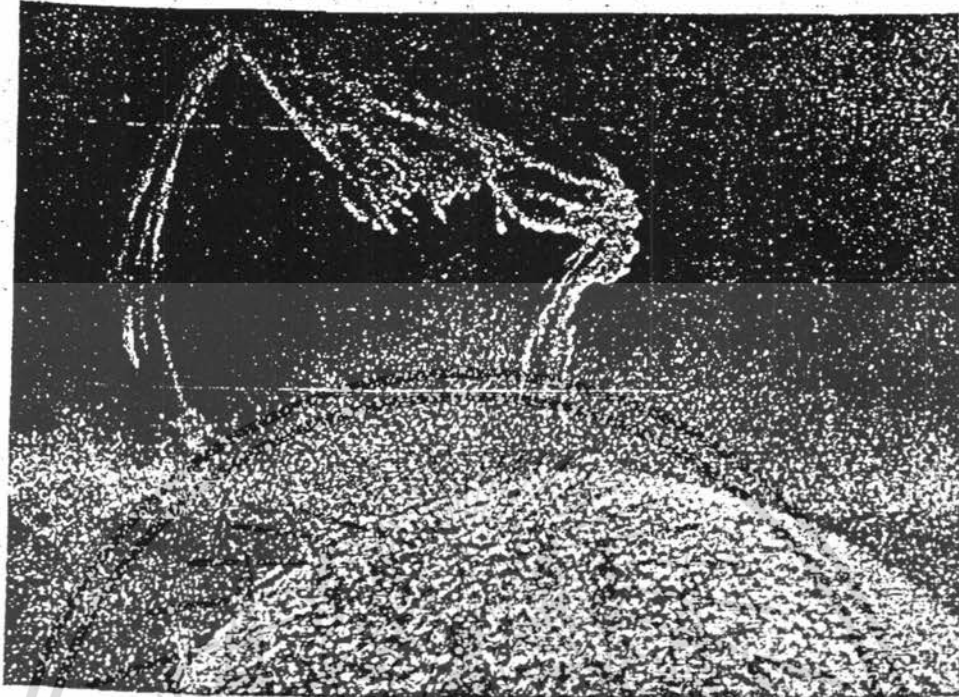
Day:	1	8	15	22
Month:				
January	-(3:16)	-(6:26)	-(9:12)	-(11:27)
February	-(13:34)	-(14:14)	-(14:15)	-(13:41)
March	-(12:36)	-(11:04)	-(9:14)	-(7:12)
April	-(4:11)	-(2:07)	-(0:15)	1:19
May	2:50	3:31	3:44	3:30
June	2:25	1:15	-(0:09)	-(1:40)
July	-(3:33)	-(4:48)	-(5:45)	-(6:19)
August	-(6:17)	-(5:40)	-(4:35)	-(3:04)
September	-(0:15)	2:03	4:29	6:58
October	10:02	12:11	13:59	15:20
November	16:20	16:16	15:29	14:02
December	11:14	8:26	5:13	1:47

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า equation of time (นาที : วินาที)

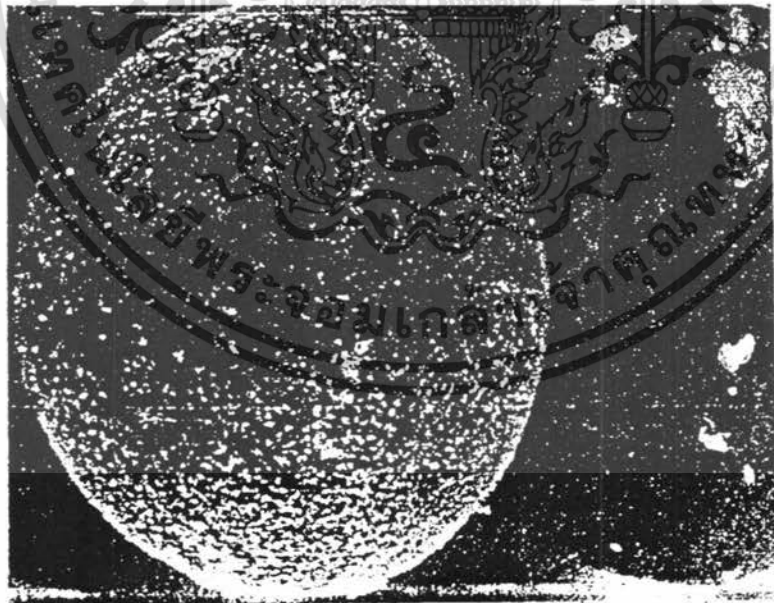
2.1.6 ข้อสงสัยในแสงอาทิตย์ (Solar puzzles)

ในอดีต 10-15 ปี มีการพัฒนาใหม่ๆ มากมายในทางดาราศาสตร์ เพื่อปรับปรุงเทคนิคของเครื่องมือการมองและเพื่อพัฒนาวิทยุและอินฟราเรดทางดาราศาสตร์เพื่อนำมาตรวจสอบดวงอาทิตย์อย่างละเอียดแล้วพบส่วนผิดปกติที่โผล่จากผิวของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.10

สำหรับรูปแบบที่ปกติจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 เมื่อทำการวัดอย่างรอบคอบ Dicke and Goldenburg of Princeton ใน 1967 ได้แนะนำว่า ดวงอาทิตย์มีรูปร่างอันตรงเส้นศูนย์สูตร คล้ายผลส้มและสำหรับความผิดปกติของส่วนที่ยื่นมาจากผิวดวงอาทิตย์เป็นผลจากการเกิดของปฏิกิริยาจำนวนมาก



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนผิวกบคิตที่ผิวของดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะปกติของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ในการออกแบบระบบโฟโตโวลตาอิก (photovoltaic system) อย่างละเอียดของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยกำหนดที่ตั้งโดยเฉพาะ ถึงแม้ว่าข้อมูลของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมีการบันทึกไว้แล้ว ณ. สถานที่ต่างๆ ของโลก ก็ยังได้มีการวิเคราะห์ผลก่อนที่จะประมาณค่าเพื่อความถูกต้องของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการสร้างระบบโฟโตโวลตาอิก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะสำคัญของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนผิวโลก และกล่าวถึงการคำนวณปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์อย่างคร่าวๆ ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณรังสีที่ตกกระทบบน PV โมดูล

2.2.1 พลังงานจากดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์มีการแผ่กระจายรังสีสมบูรณ์ที่อุณหภูมิปิดจนถึง 5800 องศาเควิน ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของพลังงานที่ตั้งฉากกับผิวโลก พลังงานของดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ผิวที่รับต่อเวลาที่ระยะต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกันไปตามระยะทางค่าที่ตำแหน่งเฉลี่ยเรียกว่า ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (Solar constant)

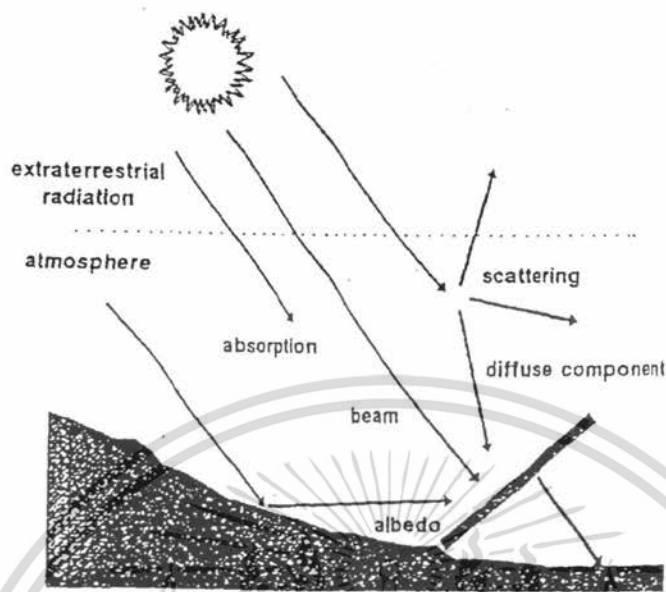
$$S = 1367 \text{ W/m}^2 \quad 2-7$$

โดยทั่วไป พลังงานทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดรังสีตกกระทบบนผิวโลกเรียกว่า ปริมาณความเข้มแสง (irradiance)

เมื่อการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศของโลกดังแสดงในรูปที่ 2.12 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มาที่ผิวโลก มีหลายลักษณะ เนื่องจากผ่านบรรยากาศโลก สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การแผ่รังสีแบบเป็นลำแสง (beam radiation) เป็นรังสีที่โลกได้รับโดยตรง รังสีไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง
2. การแผ่รังสีแบบแพร่กระจาย (diffuse radiation) ผิวโลกได้รับรังสีนี้หลังจากที่รังสีมันเปลี่ยนทิศทางไปจากเดิมแล้ว อันเกิดเนื่องจากการสะท้อน (reflection) และการกระจัดกระจาย (scattering) เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ กระทบกับบรรยากาศของโลก
3. การแผ่รังสีทั้งหมด (total radiation) คือผลรวมของการแผ่รังสีแบบลำแสงกับการแผ่รังสีแบบแพร่กระจาย บางทีเรียกค่านี้อีกว่า global radiation

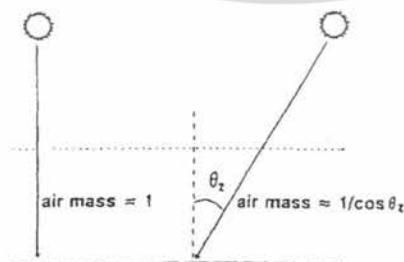
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ

ปริมาณการแผ่รังสีที่ตกกระทบบนผิวโลกนั้นมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันนั้นขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ความไม่แน่นอนในการเปลี่ยนแปลงปริมาณการแผ่รังสีอาจมีสาเหตุมาจากสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นส่วนประกอบโดยทั่วไปของบรรยากาศ ดังนั้นในการออกแบบระบบ โฟโตโวลตาอิก ที่เชื่อถือได้นั้นการวัดค่าอินพุตจะต้องกำหนดสถานที่ตั้งในการวัด

ลักษณะของสภาพบรรยากาศต้องโปร่ง โดยแสงอาทิตย์คือมวลของอากาศ (air mass) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เท่ากับความสัมพันธ์ของระยะทางลำแสงโดยตรงที่ผ่านบรรยากาศ ซึ่งในฤดูร้อนบรรยากาศจะโปร่งที่ระดับน้ำทะเล การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่จุดสูงสุดของดวงอาทิตย์ (ลำแสงตั้งฉากกับผิวโลก) มวลอากาศ = 1 แต่ที่เวลาอื่นๆ มวลอากาศประมาณค่าได้เท่ากับ $1 / \cos\theta_z$



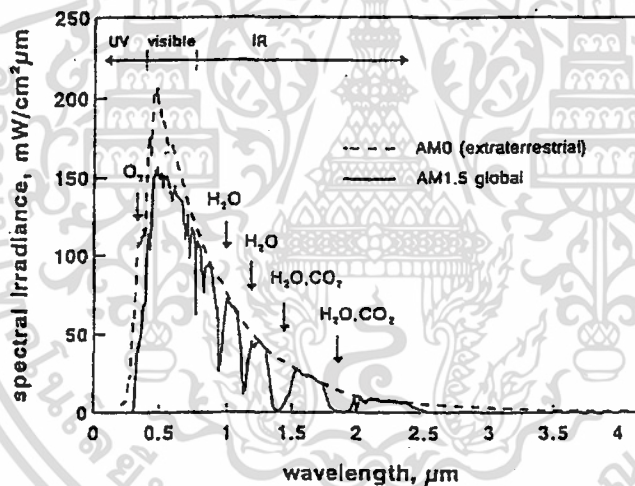
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของมวลอากาศที่ตกกระทบบ่ามุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ θ_z เป็นมุมของดวงอาทิตย์จากจุดสูงสุด

ผลกระทบของบรรยากาศบนสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ (Solar spectrum) ได้แสดงในรูปที่ 2.14 สเปกตรัมที่ผ่านบรรยากาศโลก AMO เป็นส่วนสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) กับดาวเทียม AM1.5 เป็นสเปกตรัมแสงอาทิตย์บนผิวโลกในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ทั้งหมด 1 kW/m^2 ใช้สำหรับการปรับแต่งของเซลล์แสงอาทิตย์และโมดูล ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ได้แสดงถึงแถบการดูดกลืนโมเลกุลของอากาศ

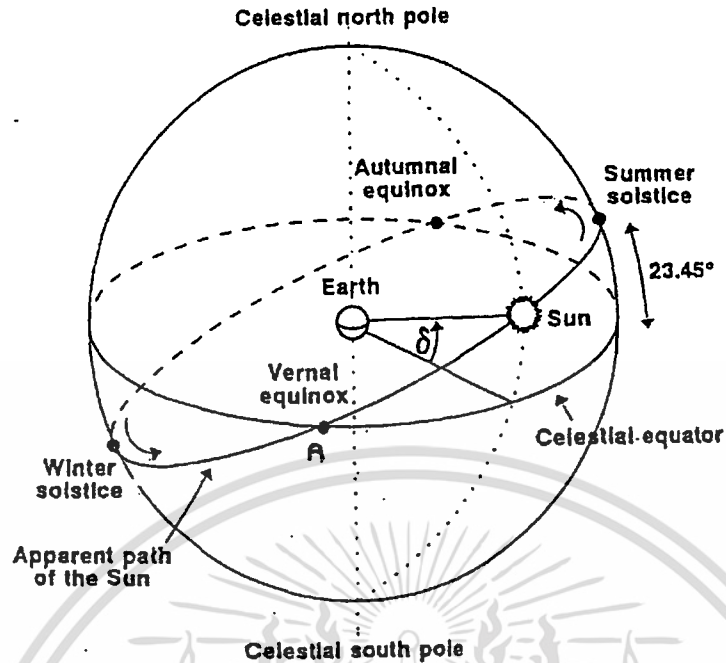
ถึงแม้ว่าปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์สามารถสูงถึง 1 kW/m^2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยปกติจะพิจารณาที่ค่าน้อยกว่าค่าสูงสุด เพราะว่าการหมุนของโลกและสภาพภูมิอากาศ การแผ่รังสีในแนวเฉียงกับผิวโลก



รูปที่ 2.14 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์

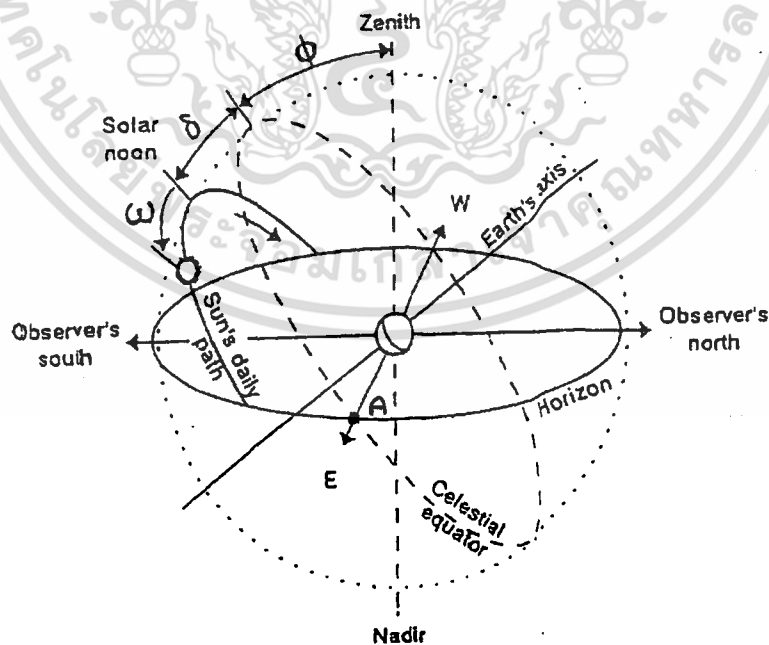
2.2.2 ทิศทางของการแผ่รังสีแบบเป็นลำแสงมายังโลก

ลำแสงที่ตกบนแผ่นรับแสงที่ผิวโลกจะมีค่าน้อยแค่นั้นขึ้นอยู่กัเวลาและสถานที่บนโลก ด้วย เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีเราเรียกระนาบของวงโคจรนี้ว่า ecliptic plane และโลกหมุนรอบตัวเองโดยมีแกนหมุน ทำมุมกับระนาบดังกล่าวเป็นมุม 23.5 องศา ดังรูปที่ 2.15 ในการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ใน 1 ปี ระนาบ ecliptic จะตัดกับระนาบเส้นศูนย์สูตรโลก



รูปที่ 2.15 การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์

(ระนาบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า) ณ. 2 ตำแหน่ง สมมุติโลกอยู่หนึ่งตำแหน่งหนึ่งจะตรงกับตำแหน่งของ ดวงอาทิตย์บนระนาบ ecliptic ที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านเส้นศูนย์สูตรจากใต้ขึ้นไปทางเหนือจะเป็นวันที่ 21 มีนาคม เราเรียกตำแหน่งนี้ว่า vernal equinox หรือจุดแรกแห่งราศีเมษ หรือจุด A ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.16 ระนาบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ากับระนาบ eclipt

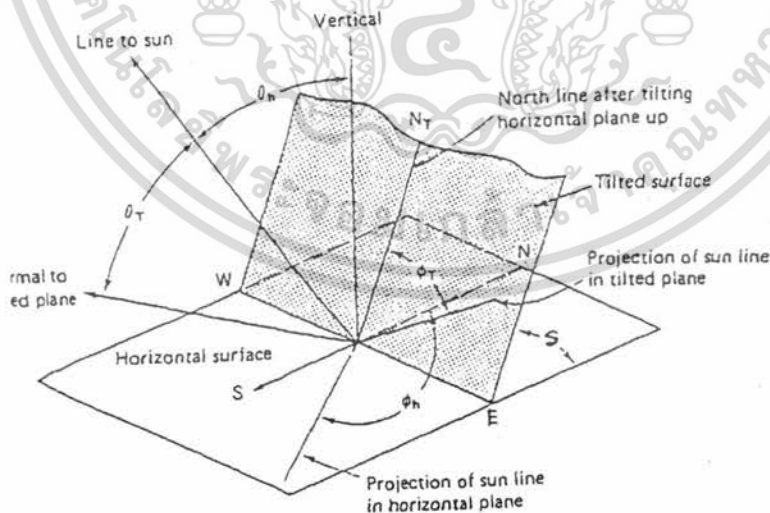
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคออร์ดิเนท (coordinate) ที่ใช้บอกตำแหน่งเทพฟากฟ้าตามระบบเส้นศูนย์สูตรจะใช้ค่า α คือระยะทางเชิงมุมที่วัดจากจุด A ในรูปที่ 2.16 ไปทางทิศตะวันออกตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ส่วนค่า δ คือ ระยะทางเชิงมุมที่วัดขึ้นไปทางเหนือหรือลงไปทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าตามวงกลมชั่วโมงที่ผ่านตำแหน่งที่จะบอกจนถึงตำแหน่งที่จะบอกจนถึงตำแหน่งนั้น มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศาเหนือ (+ 90 องศา) และ 0 ถึง 90 องศาใต้ (-90)

เมื่อแผ่นวัตถุที่รับแสงอาทิตย์บนผิวโลกที่ตำแหน่งใดๆ ให้พิจารณารูปที่ 2.17 ซึ่งแสดงแผ่นรับแสงอาทิตย์ที่เอียงทำมุมกับระนาบระดับเป็นมุม T และดวงอาทิตย์ทำมุมกับเส้นตั้งฉากกับแผ่นรับแสงเป็นมุม θ แผ่นรับแสงหันหน้าเฉียงไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นมุม r จากทางทิศใต้ ดังนั้นถ้าลำแสงที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศมาถึงผิวโลก ณ เวลาใดๆ มีค่า I_b ดังนั้นปริมาณลำแสงดังกล่าวจะกระทบแผ่นรับแสงดังรูปที่ 2.17 ตามแนวตั้งฉากแผ่นรับมีค่าตามสมการ

$$I_{b,c} = I_b \cos\theta \tag{2-8}$$

โดยที่ $\cos\theta$ หาโดยการพิจารณาค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของแผ่นรับแสงที่ผิวโลกว่าอยู่ที่ใด ละติจูด (latitude) เท่าใดและตอนนี้ดวงอาทิตย์ขึ้นจากขอบฟ้าห่างจากเวลาเที่ยงเป็นเวลาคี่ มุมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ θ ให้ดูรูปที่ 2.17 ในการหาความสัมพันธ์ของมุมชั่วโมงสุริยะ ω



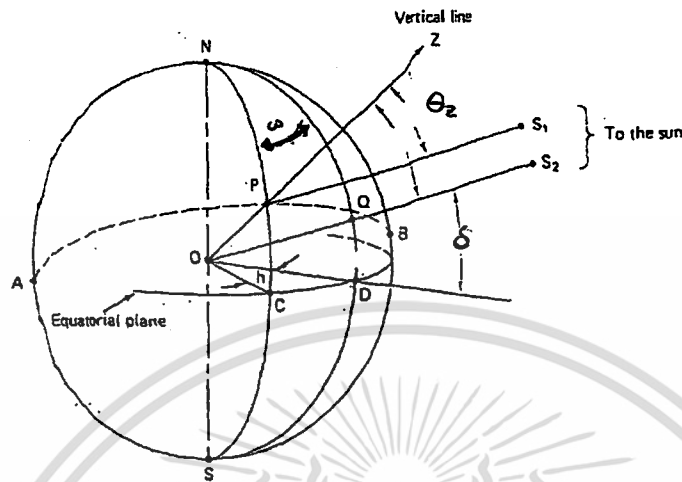
รูปที่ 2.17 แผ่นรับแสงอาทิตย์และมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดคลิเนชัน δ และละติจูด POC (ϕ) อาศัยกฎของโคไซน์ที่ใช้สำหรับสามเหลี่ยมทรงกลม (the law of cosines for spherical triangles) มาพิจารณาในที่นี้เราละไว้ และเราจะได้ความสัมพันธ์ ระหว่างมุม θ และมุมอื่นๆ ตามรูปที่ 2.17 และ 2.18 จากที่ F.Benford และ J.E. Bock (ค.ศ. 1939) ได้ทำไว้ตามสมการ

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\phi \cos s - \sin\delta \cos\phi \sin s \cos r \\ &+ \cos\delta \cos\phi \cos s \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\phi \sin s \cos r \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin s \sin r \sin\omega \end{aligned} \quad 2-9$$

โดยที่ ϕ = ละติจูด (ไปทางทิศเหนือคิดเป็นค่าบวก)
 δ = เดคลิเนชันหมายถึงมุมของดวงอาทิตย์ตอนเที่ยง (solar noon) เทียบกับระนาบอีควาเตอร์ ถ้าไปทางทิศเหนือให้มีค่าเป็นบวก
 s = มุมเอียงของแผ่นรับแสงกับแนวระดับ
 r = มุมของการหันหน้าของแผ่นรับแสงไปจากทางทิศใต้ (azimuth angle) ถ้าหันหน้าไปทางทิศใต้ให้มีค่าเป็นศูนย์ ถ้าหันเฉียงไปทางทิศตะวันออกมีค่าบวกหันเฉียงไปทางทิศตะวันตกให้มีค่าลบ
 ω = มุมชั่วโมง โดยให้ตอนเที่ยงมีค่าเป็นศูนย์ และแต่ละชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 15 องศาองติจูด (longitude) ถ้าไปทางตอนเช้ามีค่าเป็นบวกและตอนบ่ายมีค่าเป็นลบ ตัวอย่างเช่น $\omega = +15$ องศา หมายถึง 11:00 น และถ้า $\omega = -37.5$ องศา หมายถึง 14:30 น.



รูปที่ 2.18 มุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งแผ่นรับแสงที่จุด P ซึ่งอยู่ที่ละติจูด POC

สำหรับค่า δ ดังกล่าวหาได้จากการประมาณของ P.I Cooper (ค.ศ.1969) ตามสมการ

$$\delta = 23.45 \sin[360((284+n)/365)] \quad 2-10$$

โดยที่ n คือวันของปี เช่นวันที่ 4 มกราคม จะได้ $n = 4$

นอกจากนี้ยังมีการนิยามมุมอีก 2 มุมที่นิยมใช้กันคือ มุมซีก (the zenith angle) เป็นมุมระหว่างลำแสงจากดวงอาทิตย์กับแนวตั้งที่ตั้งฉากกับระนาบระดับ ใช้สัญลักษณ์แทนมุมนี้เป็น θ_z อีกมุมคือมุมคือมุมสูงของดวงอาทิตย์ (solar altitude) เป็นมุมระหว่างลำแสงจากดวงอาทิตย์กับระนาบระดับ ใช้สัญลักษณ์ α ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(90 - \theta)$

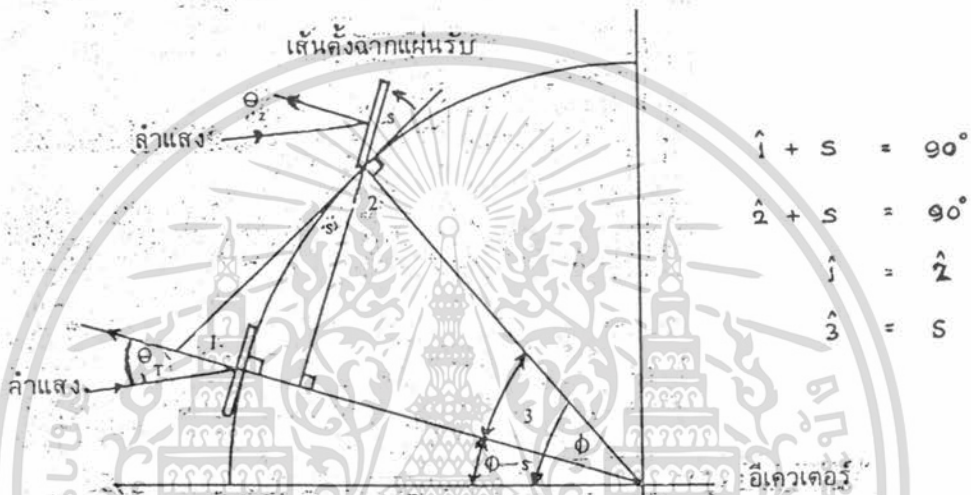
ในหลายกรณีสมการ (2-9) เราอาจทำให้อยู่ในรูปที่ดูง่ายและสั้นกว่านั้นได้โดยการพิจารณาว่า

1. ถ้าแผ่นรับแสงอาทิตย์ หันหน้าไปทางทิศใต้ ($r = 0$) เทอมสุดท้ายจะหายไป
2. ถ้าแผ่นรับแสงอาทิตย์เอียงตั้งฉากกับระนาบระดับ ($s = 90$) เทอมแรกและเทอมที่ 3 จะหายไป
3. ถ้าแผ่นรับแสงอาทิตย์วงขนานกับระนาบระดับ ($s = 0$) จะเหลือเฉพาะเทอมที่หนึ่งและสาม ดังนั้นมุมระหว่างลำแสงของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์กับแนวตั้ง θ_z หาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega \quad 2-11$$

ความสัมพันธ์ที่มีประโยชน์อีกกรณีหนึ่งก็คือ มุมของการตกกระทบบนแผ่นรับแสงที่เอียงเป็นมุม s ไปทางทิศเหนือหรือทิศใต้ จะมีค่าเหมือนกับมุมที่ลำแสงตกกระทบบนแผ่นรับแสงที่วางขนานกับแนวระดับที่ ละติจูด $(\phi - s)$ ดังรูปที่ 2.19 เมื่อพิจารณามุมต่างๆ ดังนั้นจากสมการ (2-11) เราเอามาใช้จะได้



รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นรับแสงที่เอียงเป็นมุม s ที่ละติจูด ϕ กับแผ่นรับแสงที่วางในแนวระดับที่ละติจูด $(\phi - s)$ บนผิวโลก

$$\cos\theta_T = \sin\delta \sin(\phi-s) + \cos\delta \cos(\phi-s) \cos\omega \quad 2-12$$

นอกจากนี้สมการ (2-11) สามารถนำไปใช้หามุมชั่วโมงเมื่อพระอาทิตย์ขึ้นหรือพระอาทิตย์ตก $|\omega_s|$ โดยพิจารณาให้ $\theta_z = 90$ องศา จะได้

$$\cos\omega_s = -\sin\delta \sin\phi / \cos\delta \cos\phi = -\tan\delta \tan\phi \quad 2-13$$

ดังนั้นจะได้จำนวนชั่วโมงของกลางวันมีค่า

$$T_d = (2/15)\cos^{-1}(-\tan\delta \tan\phi) \quad 2-14$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การแผ่รังสีในแนวเฉียงกันผิวโลก

ข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นค่าความถี่ในรูปแบบของ global radiation บนผิวที่ขนานกับเส้นขอบฟ้า ณ จุดอ้างอิง สำหรับตัวอย่างในรูปแบบของปริมาณการแผ่รังสีตลอดวันใน 1 เดือน ตั้งแต่ระนาบของ PV ทำมุมในขนานกับผิวโลกพลังงานอินพุตที่ผ่านบรรยากาศของโลกมาถึงระบบจะต้องนำข้อมูลที่ได้ออกมาคำนวณ

ไต่โดยกรรมของการคำนวณค่ามาตรฐานการแผ่รังสีในแต่ละวันในแนวเฉียงกับผิวโลกได้แสดงในรูปแบบที่ 2.20 การคำนวณแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ในขั้นแรกนำข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยกำหนดสถานที่ตั้งมาพิจารณาว่าเป็นการแผ่รังสีแบบกระจายและแบบลำแสงของปริมาณ การแผ่รังสีบนระนาบที่ขนานกับผิวโลก เราสามารถทำเช่นนี้ได้โดยใช้ปริมาณการแผ่รังสี ในแต่ละวันที่ผ่านบรรยากาศของโลก B_0 เป็นตัวอ้างอิง และคำนวณอัตราส่วน

$$K_T = G/B_0$$

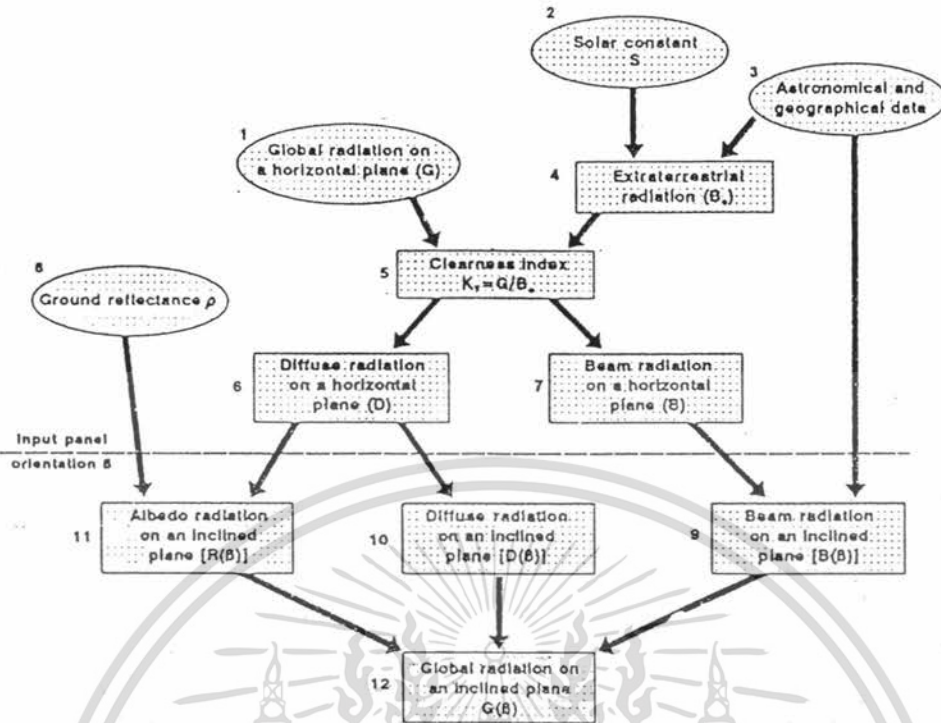
2-15

ทำให้รู้ค่า clearness index โดยที่ K_T เป็นค่าเฉลี่ยของการแผ่รังสีที่ผ่านบรรยากาศของโลกที่กำหนดสถานที่ทำการวัดระหว่าง 1 เดือน ค่า B_0 การเปลี่ยนแปลงของผ่านบรรยากาศของโลก โดยปกติของวงโคจรโลก (ประมาณ 3%) ซึ่งเป็นปกติในการให้รายละเอียด

ขั้นสอง ปริมาณการแผ่รังสีแบบกระจายได้นำมาใช้ในกฎนั้นได้ว่า สัดส่วนของการกระจาย D / G ของ global radiation เป็นฟังก์ชันโดยทั่วไปของค่า clearness index K_T ซึ่ง $B = G - D$ วิธี การนี้กำหนดได้การแผ่รังสีแบบลำแสงและแบบกระจาย บนระนาบในแนวนอน

ขั้นที่สาม มุมที่เกิดขึ้นของแต่ละส่วนประกอบที่ใช้ในการพิจารณาการแผ่รังสีแบบกระจายและแบบลำแสงบนผิวในแนวเฉียง ซึ่งนำมาใช้ในการพิจารณาสำหรับการสะท้อนของบริเวณพื้นที่ ซึ่งสามารถใช้ในการพิจารณาได้ ปริมาณการแผ่รังสีตลอดวันบนผิวในแนวเฉียง ที่ได้โดยการเพิ่มค่าทั้ง 3 ค่าปริมาณการแผ่รังสีตลอดวัน บนระนาบเฉียง ในแต่ละเดือนของปีซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบโฟโตโวลตาอิก

ในตารางที่ 2.2 ได้แสดงข้อมูลค่าความแตกต่างของระนาบที่กำหนดทิศในการวัดในประเทศสเปน เมือง Barcelona บนชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียน ในปัจจุบันเราได้สนใจในการพิจารณากฎโดยทั่วไปน้อยมาก การกำหนดทิศของ PV โมดูล ที่วัดปริมาณการแผ่รังสีแสงอาทิตย์



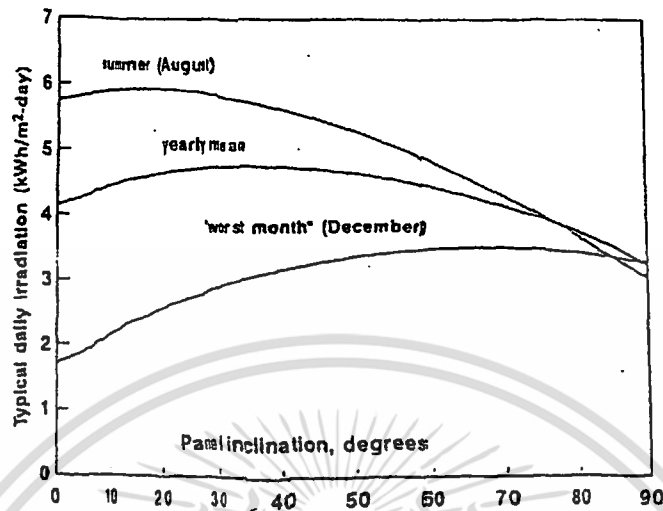
รูปที่ 2.20 โดยกรมการพลังงานสหราชอาณาจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มกราคม	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
0	2.25	2.92	3.88	4.98	5.66	6.38	6.67	5.75	4.20	3.18	2.23	1.70	4.15
5	2.56	3.19	4.08	5.09	5.69	6.36	6.68	5.84	4.46	3.42	2.49	1.93	4.32
10	2.86	3.44	4.26	5.18	5.70	6.32	6.66	5.90	4.61	3.64	2.74	2.16	4.46
15	3.14	3.67	4.42	5.25	5.67	6.25	6.61	5.94	4.73	3.84	2.98	2.37	4.57
20	3.40	3.87	4.55	5.28	5.62	6.15	6.52	5.94	4.82	4.03	3.19	2.57	4.66
25	3.65	4.05	4.66	5.29	5.54	6.03	6.41	5.91	4.89	4.18	3.39	2.75	4.73
30	3.86	4.21	4.73	5.26	5.31	5.88	6.26	5.85	4.93	4.31	3.57	2.92	4.77
35	4.05	4.34	4.78	5.21	5.15	5.70	6.08	5.75	4.94	4.42	3.72	3.07	4.78
40	4.22	4.45	4.81	5.13	4.97	5.49	5.88	5.63	4.93	4.50	3.85	3.19	4.77
45	4.36	4.53	4.80	5.03	4.77	5.26	5.65	5.48	4.88	4.55	3.96	3.30	4.73
50	4.47	4.58	4.77	4.89	4.55	5.01	5.39	5.29	4.81	4.57	4.04	3.39	4.66
55	4.55	4.60	4.71	4.73	4.30	4.74	5.11	5.09	4.71	4.57	4.09	3.45	4.57
60	4.60	4.59	4.62	4.55	4.04	4.45	4.80	4.85	4.58	4.53	4.12	3.49	4.46
65	4.62	4.55	4.50	4.34	3.77	4.14	4.15	4.59	4.42	4.47	4.12	3.51	4.32
70	4.61	4.49	4.36	4.11	3.48	3.83	3.98	4.31	4.25	4.38	4.10	3.51	4.15
75	4.57	4.39	4.19	3.86	3.35	3.50	3.80	4.02	4.05	4.27	4.04	3.48	3.97
80	4.50	4.27	4.00	3.59	3.18	3.17	3.44	3.70	3.82	4.13	3.97	3.43	3.77
85	4.40	4.13	3.79	3.31	2.88	2.84	3.08	3.37	3.58	3.96	3.87	3.36	3.55
90	4.27	3.95	3.55	3.02	2.52	2.51	1.86	3.04	3.32	3.78	3.74	3.27	3.24

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลค่าความแตกต่างของระนาบที่กำหนดทิศในการวัดในประเทศสเปน
เมือง Barcelona บนชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียน

สุดท้ายนี้ รูปที่ 2.21 แสดงค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีที่เมือง Barcelona ระหว่างความแตกต่างในแต่ละฤดูของปี (ฤดูร้อน , ฤดูหนาวและค่าเฉลี่ยของปี) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระนาบในแนวเฉียง สิ่งนี้เป็นสิ่งที่ดีที่สุดสำหรับการนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.21 แสดงค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีที่เมือง Barcelona

2.3 การวัดการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีทั้งแบบลำแสงและแบบแพร่กระจาย ถ้ารวมการแผ่รังสีทั้งสองเรียกรวมว่าการแผ่รังสีทั้งหมด รังสีส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.3 ถึง 3.0 μm ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งมีช่วงประมาณ 0.1 ถึง 100 μm ดังนั้นการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จึงเป็นพวกคลื่นสั้น ส่วนอีกพวกหนึ่งที่เหลือถือเป็นการแผ่รังสีคลื่นยาวเป็นพวกแหล่งกำเนิดความร้อนอุณหภูมิต่ำๆ

2.3.1 เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์

ที่นิยมใช้กันอยู่พอจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบวัดการแผ่รังสีทั้งหมดและแบบวัดการแผ่รังสีแบบแพร่กระจาย จะกล่าวถึงหลักการของเครื่องมือแต่ละแบบดังนี้

1. ไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) หรืออาจเรียกว่า solarimeter หรือ actinometer ใช้วัดรังสีทั้งหมดของครึ่งทรงกลม และถ้าหากใช้ตัวบังแสง (shade ring) กั้นการแผ่รังสีแบบลำแสง ก็จะเป็นการวัดการแผ่รังสีแบบแพร่กระจาย ค่าที่วัดได้มักทำให้เป็นพลังงานทั้งหมดต่อพื้นที่ต่อเวลา หลักการก็คือ อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวสีดำ ซึ่งจะดูดกลืนการแผ่รังสีเกือบทั้งหมด และผิวสีขาว ซึ่งให้สะท้อนรังสีเกือบทั้งหมด โดยใช้เทอร์โมไพล์ เชื่อมต่อกับวงแหวนทั้งสอง เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิที่แตกต่าง หรือปริมาณรังสีที่ได้รับ วงแหวนอันนอกผิวสีขาวและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันโนเป็นสีดำ ส่วนวงแหวนเหล่านี้จะทำด้วยแผ่นเงิน หนาประมาณ 0.25 มิลลิเมตร แล้วทาด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ เป็นผิวสีขาวและสีดำ ของพาร์สันเป็นผิวสีดำ แล้วมีฉนวนกันไต้ระหว่างวงแหวน การวัดความต่างศักย์อาจใช้ platinum - gold thermocouples แล้วแปลงค่านี้ให้เป็น W/m^2

นอกจากนี้ยังมีไพราโนมิเตอร์แบบใช้เทอร์โมโพล แบบให้ชั่วร้อนตากรังสีของดวงอาทิตย์ ส่วนอีกชั่วมีที่บังไว้เป็นชิ้นและแบบ Robitsch ใช้หลักการขยายตัวไม่เท่ากันของโลหะสองชนิดเมื่อได้รับรังสี นอกจากนี้ที่กล่าวมานี้ยังมีแบบใช้หลักการของ เซลแสงอาทิตย์หรือแบบ photovoltaic detectors เรียกเครื่องมือนี้ว่า Yollott solarimeter ซึ่งสารที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ มักเป็นซิลิกอน ซิลิเนียม และแคดเมียมซัลไฟด์

2. ไพริลีโอมิเตอร์ (pyrheliometer) ใช้วัดการแผ่รังสีแบบเป็นลำหรือการแผ่รังสี โดยตรง จากดวงอาทิตย์ เครื่องมือนี้สร้างใช้หลักเดียวกันกับไพราโนมิเตอร์เพียงแต่เพิ่มตัวกันการแผ่รังสี (collimators) เพื่อให้มีมุมที่แสงผ่านหน้าต่าง เครื่องรับประมาณ 6 องศา เพื่อรับเฉพาะการแผ่รังสีแบบเป็นลำเท่านั้น ผังของลำกล้องทำด้วยสีดำเพื่อลดการกระจัดกระจายของแสง

ดังนั้นเครื่องมือทั้งสองแบบเราจึงสามารถวัดการแผ่รังสีทั้งหมด และการแผ่รังสีแบบลำแสงได้จากนั้นเรายังใช้ค่าทั้งสองมาหักเหออกจากกันได้ ค่าการแผ่รังสีแบบแผ่กระจายได้ด้วย

2.3.2 ตัวตรวจวัดสำหรับเครื่องมือวัดการแผ่รังสี

ตัวตรวจจับในเครื่องมือต่างๆ สามารถแบ่งการวัดปริมาณความร้อนได้เป็น เครื่องมือวัดอุณหภูมิทางเครื่องกล เครื่องวัดความร้อนทางไฟฟ้า และเครื่องมือวัดปริมาณรังสีทางไฟฟ้า

เครื่องมือวัดปริมาณความร้อน (Calorimetric sensors)

ในเครื่องมือวัดปริมาณความร้อน พลังงานของการส่องสว่างที่ตกกระทบบนโลหะทำให้โลหะนำไฟฟ้าได้สูงๆ ซึ่งไม่สามารถใช้วัดอุณหภูมิได้เพราะมีการดูดกลืนสูง พลังงานของการส่องสว่างจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นความร้อนทำให้สามารถวัดค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังที่จะบรรยายไว้ข้างล่าง

1. ความร้อนที่ไหลเข้ามาสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าเอนโทรปีมาใช้วัด การเปลี่ยนแปลงของค่าเอนโทรปีสามารถที่จะบอกอัตราการไหลของพลังงานการส่องสว่าง
2. ความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าเอนโทรปีของโลหะที่ดูดกลืนแสง สิ่งนี้จะเป็นการเพิ่มค่าเอนโทรปีหรือการเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้ง่ายต่อการวัด
3. ในปัจจุบันชนิดของเครื่องมือจะมีช่วงของอุณหภูมิแตกต่างกันเครื่องมือที่แปลงสัญญาณเป็นค่าคงที่ไว้โดยเพิ่มความร้อนทางไฟฟ้าที่ต้องการระหว่างโลหะและระยะที่ไม่มีที่กำบัง การแผ่ปริมาณรังสีจะเป็นสัดส่วนของปริมาณความร้อนทางไฟฟ้าระหว่างสองระยะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวตรวจจับปริมาณความร้อนทางเครื่องกล (Thermomechanical sensors)

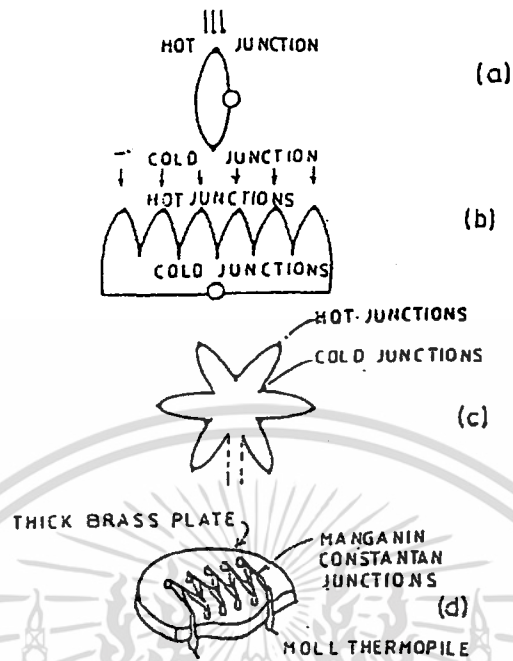
พื้นฐานของเครื่องมือนี้อาศัยหลักการของปริมาณความร้อนทางเครื่องกลซึ่งอัตราการไหลของปริมาณความร้อนจะถูกวัด ถึงแม้ว่าจะเกิดการหักเหของแผ่นโลหะ ในระบบนี้แผ่นโลหะทั้งสองชนิดจะมีความแตกต่างของการเพิ่มปริมาณความร้อน ซึ่งด้านหนึ่งสามารถนำความร้อนได้ดีกว่า เพราะอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า ส่วนแผ่นโลหะอีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนแสงได้ดีกว่าและสามารถสะท้อนแสงได้สูง แผ่นโลหะดำที่ไม่มีกำบังการไหลของปริมาณความร้อน จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งนั้น จะไม่เท่ากับอุณหภูมิและไม่เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ของการแผ่ปริมาณความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุให้แผ่นโลหะโค้งงอ การผิดรูปของแผ่นโลหะหรือเครื่องมือ เครื่องกลไปถึงตัวนำความร้อน

ตัวตรวจจับปริมาณความร้อนทางไฟฟ้า (Thermoelectric sensors)

อุปกรณ์วัดปริมาณความร้อนทางไฟฟ้าประกอบด้วย สายโลหะที่แตกต่างกันสองเส้น จุดที่ปลายด้านหนึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าไหลเคลื่อนที่ไปตามตัวนำ (e.m.f.) ถูกพัฒนาขึ้น รอยต่อทั้งสองรอยต่อนี้จะมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งในรูปที่ 2.22(a) ค่า e.m.f เป็นสัดส่วนกับปริมาณของความแตกต่างของอุณหภูมิและขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัสดุของโลหะทั้งสอง โลหะผสมทองแดงและนิกเกิลจะเป็นที่นิยมใช้ในที่อุณหภูมิต่ำ ๆ อุปกรณ์นี้ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการวัดพลังงานรังสีโดยการแผ่รังสีที่บริเวณโล่งๆ

ปริมาณ e.m.f. ถูกพัฒนาโดย Thermocouple เดียวที่ต่ำมาก ๆ มันสามารถเพิ่มจำนวนรอยต่อของ Thermocouple ในรอยต่อให้ติดกันเป็นลักษณะอนุกรมดังแสดงในรูปที่ 2.22(b) การจัด Thermocouple ต่างๆ รอยต่อที่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์นั้นเรียกว่า Thermopile จำนวนของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เครื่องมือวัด Thermopile ถูกจัดให้อยู่ในรูปแผ่นดาว ดังรูปที่ 2.22(c) Hot Junction จะถูกปกคลุมด้วยสีดำและ Cool Junction จะถูกทำด้วยสีขาว เป็นการป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

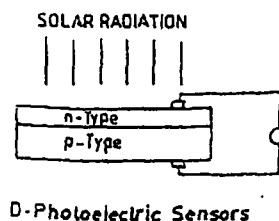
เงื่อนไขที่สำคัญคือจำเป็นต้องรักษา Cool Junction ให้อุณหภูมิคงที่ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบ Moll Thermopile ที่รอยต่อจะสามารถรักษาความร้อนแต่จะมีการหุ้มฉนวนสายไฟฟ้าจากมวลของแผ่นทองเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 2.22(d) ความเฉื่อยของความร้อนของแผ่นดูดกลืนจะมีการคายอุณหภูมิในระยะสั้นๆ การเปลี่ยนแปลงของแสงโดยกระแสไฟฟ้าในอากาศใน Moll - Thermopile, Thermocouple ที่ทำขึ้นมาโดยใช้แผ่นเมงกานีสกับโลหะผสมทองแดงกับนิกเกิล ทำให้ต่อกับขาของทองแดงที่มีความร้อนแต่จะมีกระแสไฟฟ้าจำนวนมากที่แผ่นทองเหลือง



รูปที่ 2.22 รูปแบบของ Thermoelectric sensors

ตัวตรวจจับแสงทางไฟฟ้า (Photoelectric sensors)

อุปกรณ์วัดแสงทางไฟฟ้าได้แก่ เครื่องมือโฟโตโวลตาอิก ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิก เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุสารกึ่งตัวนำ เช่น สารกึ่งตัวนำที่ทำจากซิลิกอน โดยมีรูปแบบของวัตถุเป็นรอยต่อ p-n ที่เชื่อมด้วยอิเล็กตรอนวัตถุที่ประกอบด้วยจำนวนอะตอมที่มากกว่าปกติจะอยู่บนรอยต่อ p-n ซึ่งทำให้กระแสอิเล็กตรอนไหลเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 สารกึ่งตัวนำรอยต่อ p-n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของเซลล์ซิลิกอนนั้นคือ จะมีปฏิกิริยากับแถบสีซึ่งสามารถใช้ได้เพียงแถบแสงสีแดงถึงแสงอินฟราเรดของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตามมันก็มีราคาถูกและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเร็ว ซึ่งใช้สำหรับการวัดที่ต้องการความรวดเร็ว

2.3.3 การปรับไพราโนมิเตอร์ให้ถูกต้องตามมาตรฐาน

ในการปรับเครื่องมือทางฟิสิกส์ให้เป็นมาตรฐานซึ่งมีการผิดพลาดน้อยที่สุด การแผ่รังสีโดยจะเป็นการทำงานภายใต้การดูแลของกรมอุตุนิยมวิทยาโลก องค์การมาตรฐานระหว่างชาติและความสัมพันธ์ของไพราโนมิเตอร์ที่เป็นมาตรฐานของท้องถิ่นนั้น

วิธีในการปรับไพราโนมิเตอร์โดยเบื้องต้นมีอยู่ 2 วิธี เครื่องมือที่ถูกทดสอบอาจจะถูกเปรียบเทียบเท่ากับเครื่องวัดมาตรฐานหรือไพราโนมิเตอร์มาตรฐาน ซึ่งจะเป็นการดีที่สุด

ในการเพิ่มจำนวนของไพราโนมิเตอร์มีเพิ่มมากขึ้น โดยมีการเปรียบเทียบค่าโดยตรงกับ ไพริลิโอมิเตอร์ ซึ่งสังเกตจากผลต่างของอุปกรณ์ วิธีนี้ทำกันเป็นจำนวนมากในห้องทดลองซึ่งการเปรียบเทียบค่าให้ใกล้เคียงกับไพราโนมิเตอร์มาตรฐาน ซึ่งมันถูกเปรียบเทียบค่า ณ. ที่เวลาหนึ่งถึงเวลาหนึ่งกับไพริลิโอมิเตอร์มาตรฐานอีกครั้ง มันเป็นวิธีที่จะกล่าวในหัวข้อนี้

การเปรียบเทียบค่าไพราโนมิเตอร์มาตรฐาน

ในห้องทดลองได้ใช้ Anjstrom Pyrheliometer หรือ Linke-Feussner Actinometer ซึ่งได้เปรียบเทียบค่ากับเครื่องมือมาตรฐานแล้ว

ปัจจัยพื้นฐานคือต้องสามารถอ่านค่าของไพราโนมิเตอร์ทั้งในที่ร่มและกลางแจ้งที่เวลาหนึ่ง ๆ โดยอ่านจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยตรง การวัดในที่ร่มถูกแนะนำว่าควรใช้ disc ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และอยู่ห่างจากตัวรับ 1 เมตร ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าแก้วที่ใช้ห่อหุ้มจะสมบูรณ์ในที่ร่ม ซึ่งทำมุมที่ตกกระทบบน disc ของไพริโอมิเตอร์ หลักทางเรขาคณิตนี้เป็นที่น่าพอใจถ้าแก้วที่ห่อหุ้มบน Moll-Gorezinslei Pyranometer มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เมื่อเครื่องมือ Epply 180° ได้นำมาใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานโดยใช้ disc ของ 2 แบบนี้มาให้เครื่องมือสมบูรณ์

ไพราโนมิเตอร์ควรจะเริ่มจัดค่าในตำแหน่งแนวอนซึ่งมันสามารถแสดงค่าของไพราโนมิเตอร์ในแนวเอียงจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนจากสารประกอบกับแก้วที่ห่อหุ้ม

การทำเครื่องมือวัดที่เปรียบเทียบค่ากับไพราโนมิเตอร์ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงส่วนประกอบสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์โดยการคูณกับค่าเครื่องมือวัดใน $\sin h$ เมื่อ h คือมุมของแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น ซึ่งทำได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sin h = \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \cos t \quad 2.16$$

โดยที่ ψ = ละติจูด (latitude)

δ = มุมระหว่างลำแสงกับทิศของขั้วโลก (solar & declination)

t = เวลาจริงของแสงอาทิตย์ (ture solar time)

ซึ่งค่าของมุมระหว่างลำแสงกับทิศของขั้วโลกได้ถูกตีพิมพ์ใน Smithsonian Meterological Table หรือ Ephemeris หรือ Astronomical Almanac

ค่าสัมประสิทธิ์ของการเปรียบเทียบค่า t เป็นอัตราส่วนของความแตกต่างของเอพาท์พุกจากไพโรโนมิเตอร์ทั้งในที่ร่มและกลางแจ้ง กับเอพาท์พุกจากไพโรโนมิเตอร์คูณกับ $\sin h$ เปรียบเทียบค่าซึ่งจะทำในวันที่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ค่า เช่น ในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง

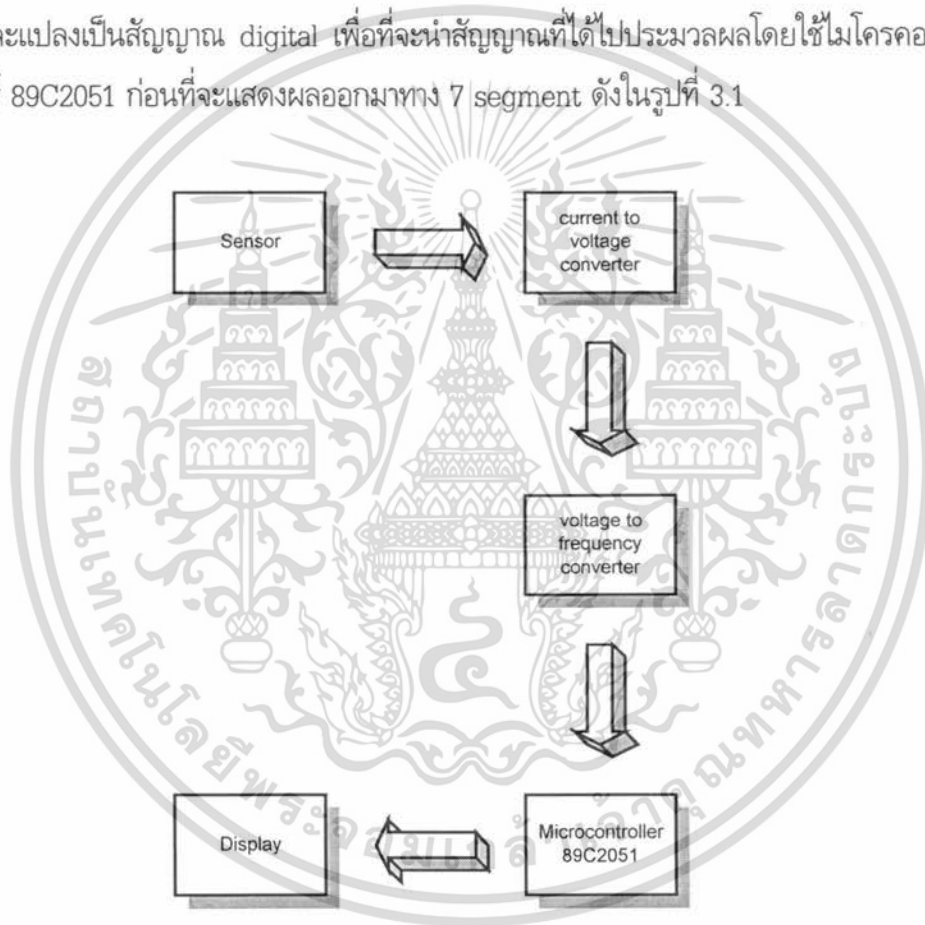
สิ่งเหล่านี้เป็นข้อจำกัดในการเปรียบเทียบค่า แต่วิธีนี้ไม่สามารถใช้เปรียบเทียบกับไพโรโนมิเตอร์ที่ใช้ในทุกๆ วัน

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์

มิเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ออกแบบโดยอาศัยหลักการนำปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นตัวรับแสง สัญญาณที่ได้รับเป็นสัญญาณ analog และแปลงเป็นสัญญาณ digital เพื่อที่จะนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C2051 ก่อนที่จะแสดงผลออกมาทาง 7 segment ดังในรูปที่ 3.1

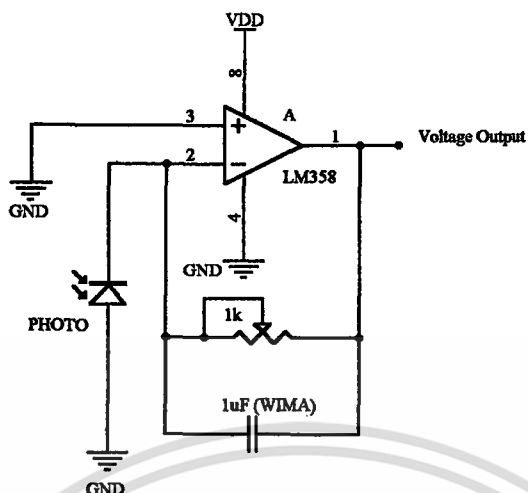


รูปที่ 3.1 ไดอะแกรม Daily Insolation Meter

3.1.1 วงจรขยายสัญญาณ

ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระจายบน solar cells มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าได้โดยตรง ซึ่งเรานำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้รับมาผ่าน LM358 โดยจะทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ดังในรูปที่ 3.2

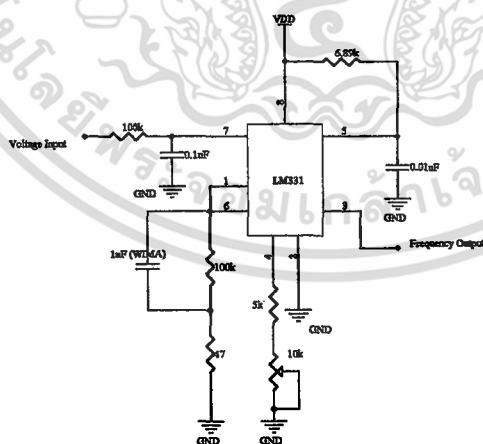
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดัน

3.1.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่

ในการประมวลผล เราต้องการสัญญาณ digital เพื่อใช้คำนวณ ดังนั้นเราต้องนำค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้ผ่าน LM331 ซึ่งเอาท์พุทที่ออกมาจะเป็นความถี่โดยความถี่ที่ต้องการคือ แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์จะให้ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ วงจรที่ออกแบบนั้นมีลักษณะดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรแปลงแรงดันให้เป็นความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051

AT89C2051 เป็นชิปไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ผลิตโดย ATMEL ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมภายใน จะเหมือนกับไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูล MCS - 51 ซึ่งผลิตโดยอินเทล มีหน่วยความจำภายในเป็น PEROM หรือเรียกว่า Flash memory ขนาด 2 KB สามารถเขียนและลบใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1000 ครั้ง โปรแกรมที่บันทึกไว้ภายในชิปสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 10 ปี จุดเด่นของชิป 89C2051 มีดังต่อไปนี้

1. สามารถใช้แทนไมโครคอมพิวเตอร์ ตระกูล MCS - 51
2. หน่วยความจำโปรแกรมเป็น Flash memory ขนาด 2 KB
3. ใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7 - 6 V
4. ออสซิลเลเตอร์สามารถป้อนได้สองระดับ
5. สามารถล๊อคโปรแกรมได้สองระดับ
6. หน่วยความจำข้อมูลบนชิปขนาด 128 ไบท์
7. มีอินพุท / เอาท์พุทพอร์ท 15 บิท
8. มีตัวนับและตั้งเวลาขนาด 16 บิท 2 ตัว
9. แหล่งอินเทอร์พรัทมี 5 แหล่ง
10. พอร์ทอนุกรมแบบ UART โปรแกรมความเร็วในการส่งข้อมูลได้
11. เอาท์พุทพอร์ทสามารถขับ LED ได้โดยตรง ด้วยกระแส sink 20 mA
12. มีอนาล็อกคอมพาราเตอร์บนชิป
13. มีโหมด Idle และ Power down

ตัวถังและขาสัญญาณของชิป AT89C2051

ลักษณะตัวถังเป็นแบบ PDIP (Plastic Dual - Inline - Package) ขนาด 20 ขา หากเราจำได้กับระบบ 8051 จะทำความเข้าใจได้ไม่ยาก ขาที่แตกต่างกันสำคัญที่เราสังเกตได้ชัดเจนคือ I/O พอร์ท มีเพียงพอร์ท 1 จำนวน 8 บิท ระบุด้วย P1.0 - P1.7 ข้อสังเกตจะพบว่า P1.0 และ P1.1 มีฟังก์ชันเสริมคือ AIN0 และ AIN1 เป็นอนาล็อกอินพุทของวงจรมพาราเตอร์ดังในรูปที่ 3.4

ชิป 89C2051 สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการใช้พลังงานได้ 2 แบบ คือ โหมด Idle จะหยุดการทำงานของ CPU โดยตัวนับและตัวตั้งเวลา , พอร์ตสื่อสารอนุกรม และการอินเทอร์พรัท จะทำให้ CPU ทำงานต่อไป โดยที่ข้อมูลในหน่วย หน่วยความจำภายในยังคงอยู่ และโหมด Power down จะคงค่าในหน่วยความจำ ภายในแต่จะหยุดการป้อนสัญญาณนาฬิกาให้กับทุกๆ ฟังก์ชันบน 89C2051

จนกระทั่งทำการรีเซ็ตที่ฮาร์ดแวร์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

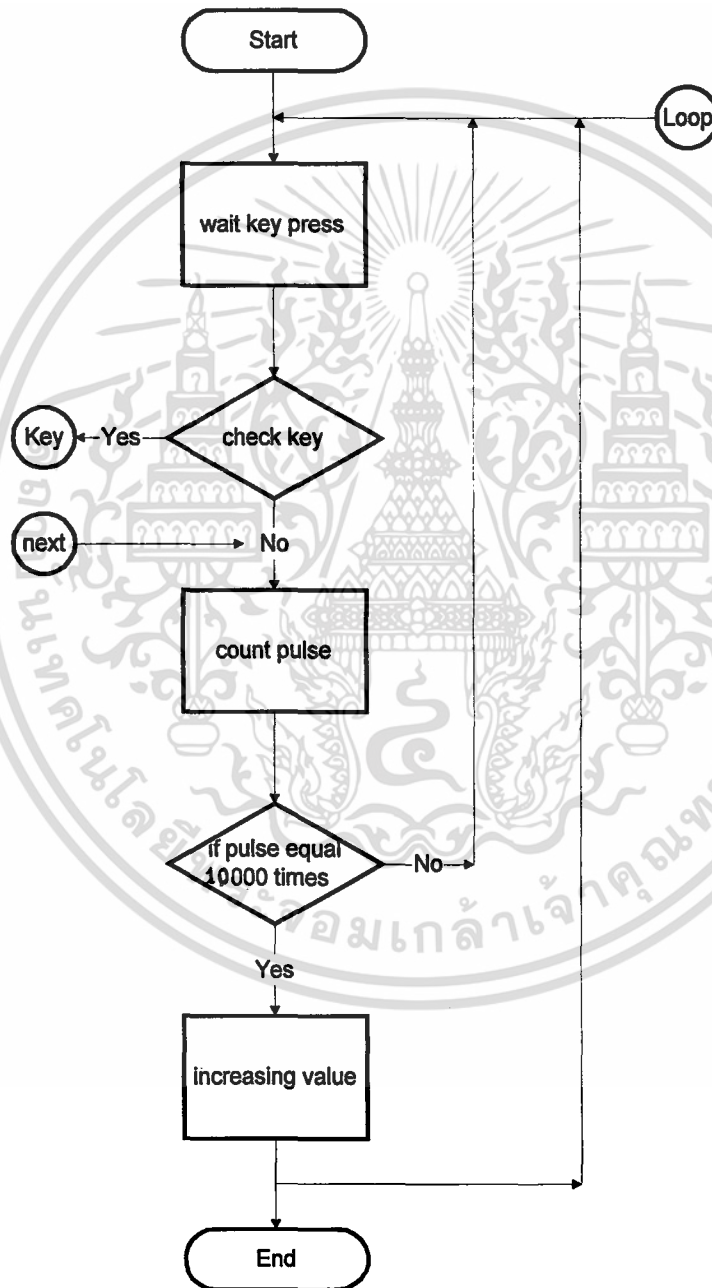
พอร์ตที่ เป็นอินพุท / เอาท์พุทพอร์ต 8 บิต สองทิศทางโดย P1.2 ถึง P1.7 จะมีพูลอัพ (Pull up) ภายใน P1.0 และ P1.1 ต้องการพูลอัพภายนอกอีกทั้งเป็นอินพุทบวกและอินพุทลบของคอมพาราเตอร์ตามลำดับ อีกทั้งพอร์ต 1 สามารถรับกระแสซิงค์ 20 mA พอร์ตที่ 3 เป็นอินพุท / เอาท์พุทพอร์ต 7 บิต 2 ทิศทาง มีพูลอัพภายใน โดยมี P3.6 จะเป็นเอาท์พุทของคอมพาราเตอร์ อีกทั้งจะเห็นว่าเราสามารถใช้งานเปรียบเทียบคักดาบ้อนเข้ามาที่ขา P1.0 และ P1.1 ได้โดยเอาท์พุทจะต่อกับ P3.6 ซึ่งสามารถอ่านค่าด้วยโปรแกรม ดังนั้นพอท P3.6 จึงมีได้ต่อกับขาภายนอก พอท 3 จึงมีเพียง P3.1 - P3.5 และ P3.7 สำหรับฟังก์ชันเพื่อเลือก ยังคงใช้งานได้เหมือนกับชิปตระกูล 8051 ของอินเทล รายละเอียดสัญญาณทางไฟฟ้าทั้งตรงและไฟสลัของขาสัญญาณแต่ละขาดูได้ในภาคผนวก ค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

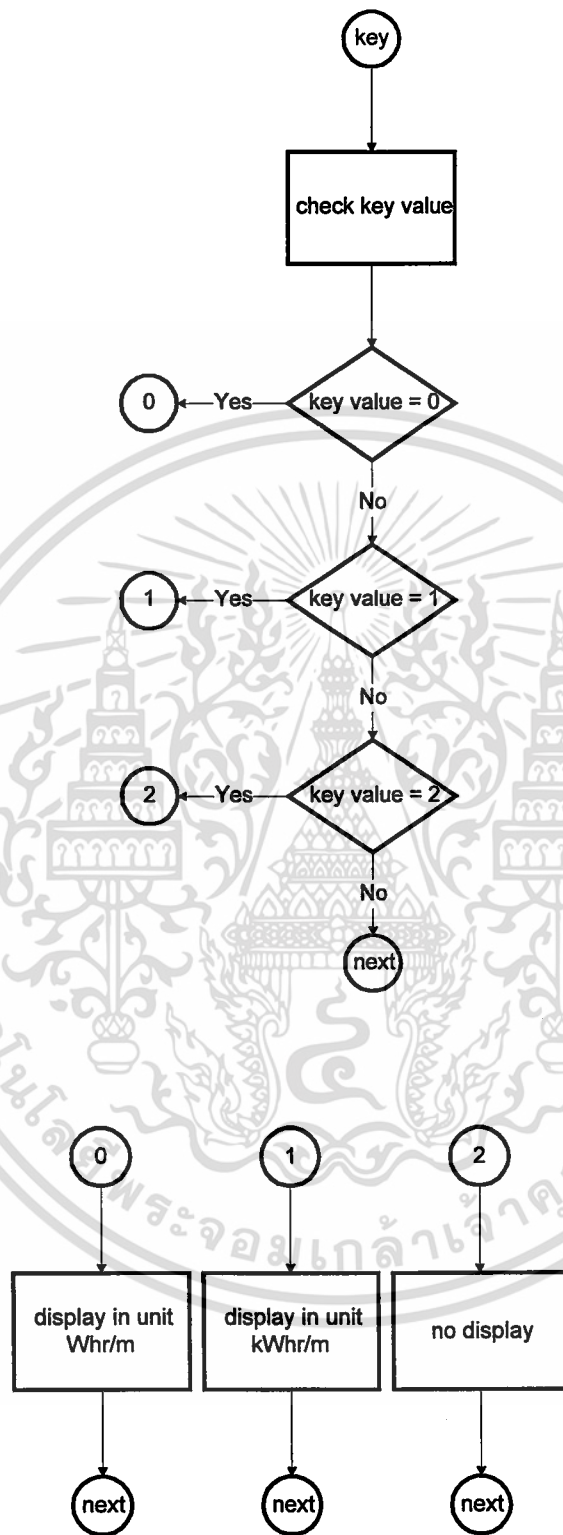
3.2 การทำงานของโปรแกรม

ลักษณะการทำงานเป็นดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะมีการรอรับคีย์ เมื่อมีการกดคีย์ โปรแกรมจะกระโดดไปในส่วนของการเลือกโหมดของการแสดงค่าและค่าจะมีการเพิ่มเพื่อที่ละ 1 Whr/m² ก็ต่อเมื่อมีจำนวนพัลส์เข้ามาเป็นจำนวน 10000 ลูก



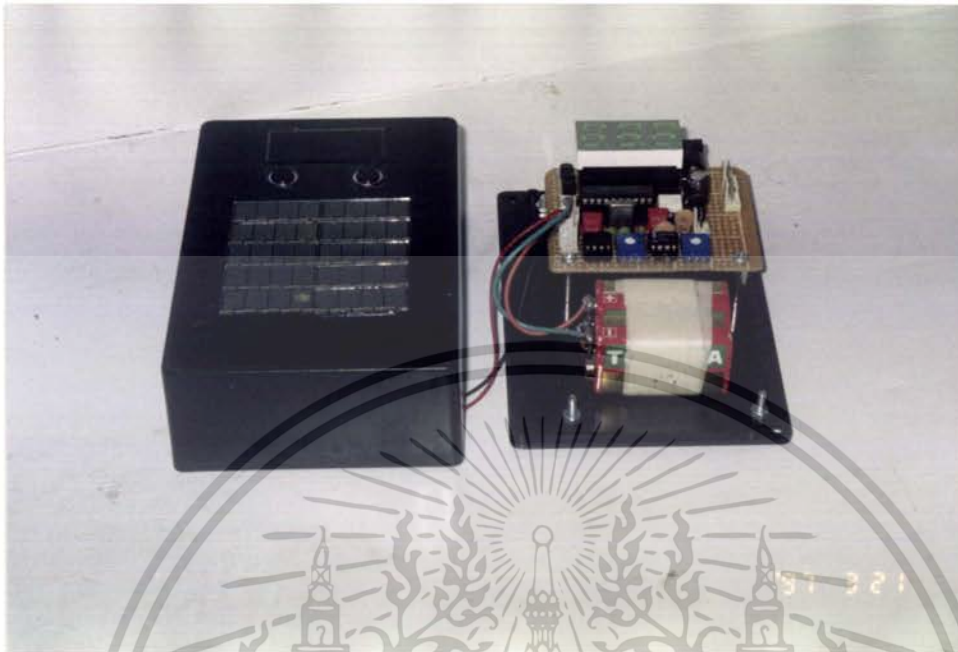
รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของ Daily Insolation Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของ Daily Insolation Meter (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เครื่อง Daily Insolation Meter ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

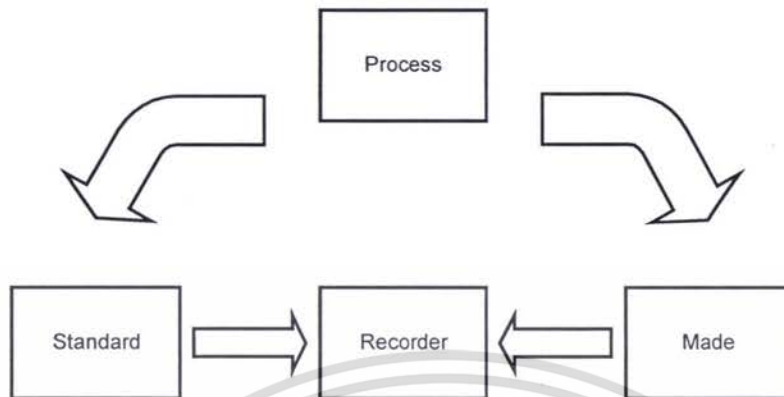
4.1 การเปรียบเทียบค่า Daily Insolation Meter กับไพราโนมิเตอร์มาตรฐาน

เราได้ดำเนินการปรับเทียบเอาท์พุทที่ตัวรับแสงของไพราโนมิเตอร์มาตรฐานกับตัวรับแสงของมิเตอร์วัดการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเราจะต้องนำค่าที่ได้นั้นมาคำนวณหาค่า Instrument constant ซึ่งมีหน่วยเป็น V/Wm^{-2} โดยค่า Instrument constant ของไพราโนมิเตอร์มาตรฐานมีค่าเท่ากับ $5.26 \times 10^{-6} V/Wm^{-2}$ การเปรียบเทียบค่าเอาท์พุทระหว่าง 2 ตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

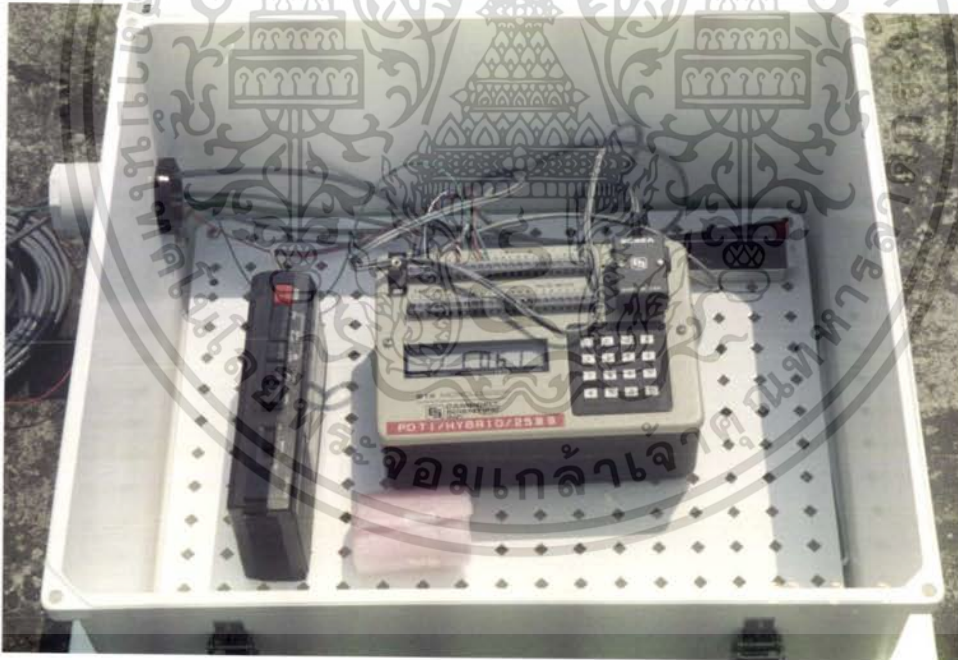
วันของปี	เวลา	standard (mV)	made (mV)
69	11:15	3.780	1002
69	11:30	4.221	1007
69	11:45	4.408	1015
69	12:00	4.467	1021
69	12:15	4.474	1022
69	12:30	4.560	1025
69	12:45	4.574	1026
69	13:00	4.558	1207
69	13:15	4.373	1026
เฉลี่ย		4.335	1019

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าเอาท์พุทระหว่าง pyranometer standard กับ daily insolation meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

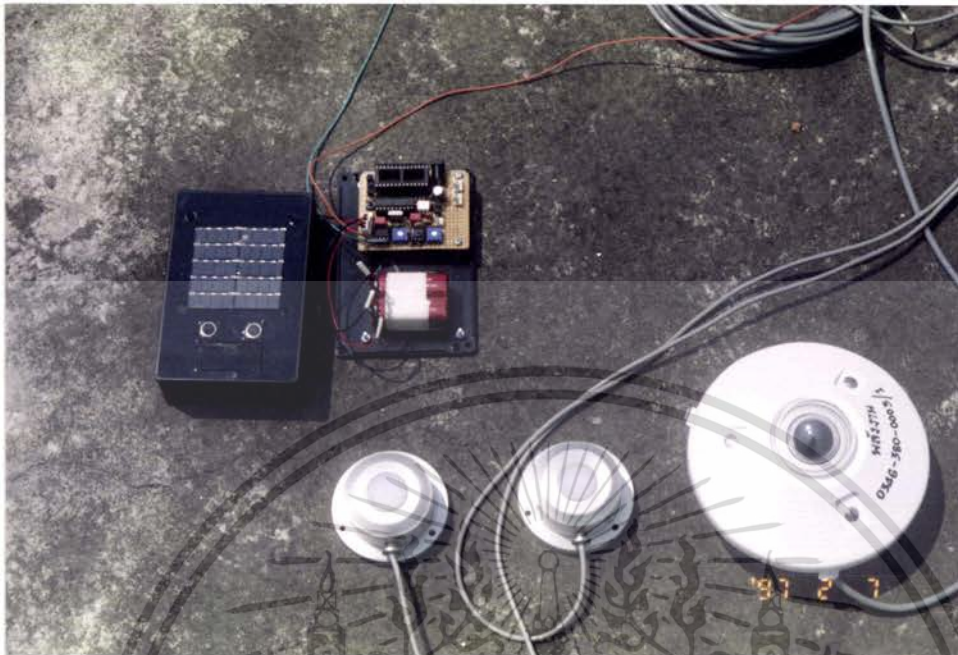


รูปที่ 4.1 ไตอะแกรมของการทดลองเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน



รูปที่ 4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลขณะเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของการเปรียบเทียบ

การคำนวณหาค่า Instrument constant ของ daily insolation meter ทำได้โดย
 ค่า Instrument constant ของไพราโนมิเตอร์มาตรฐานเท่ากับ $5.26 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$
 ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไพราโนมิเตอร์มาตรฐานเท่ากับ 4.335 mV/Wm^{-2}
 ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของ daily insolation meter เท่ากับ 1019 mV/Wm^{-2}
 ดังนั้นค่า Instrument constant ของ daily insolation meter จึงเท่ากับ $1.236 \times 10^{-3} \text{ V/Wm}^{-2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ข้อมูลในการวัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์

ในโครงการพิเศษนี้ได้มีการทดลองวัดค่าปริมาณความเข้มของแสง
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

ณ.บริเวณสถาบัน

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่วัด	ปริมาณความเข้มแสง Whr/m^2
1 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3542
2 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3750
3 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4202
4 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4118
7 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3409
8 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3755
9 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3259
10 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4622
11 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3545
16 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4232
17 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4168
18 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3391
21 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4715
22 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4228
23 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4925
24 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	5256
25 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	3918
28 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4598
29 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	5176
30 เม.ย.2540	6:00 น. - 19:00 น.	4869

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่าปริมาณความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปและการประยุกต์ใช้

โครงการพิเศษมิเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการวัดปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลหรือวิเคราะห์ผลจากงานวิจัยต่างๆ เช่น ด้านอุทกนิยมิวิทยา

ลักษณะและการประยุกต์ใช้งานของมิเตอร์วัดปริมาณการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์การแผ่รังสีแบบลำแสง และแบบกระเจิงแสงจากดวงอาทิตย์มายังพื้นผิวโลก

5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

1. เพิ่มประสิทธิภาพของการรับและส่งข้อมูล เพื่อให้เกิดสะดวกในเก็บบันทึกข้อมูล
2. จัดทำระบบฐานข้อมูลเพื่อที่สามารถจัดเก็บข้อมูลและนำไปใช้งานได้อย่างเป็นระเบียบ
3. เพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงผล ซึ่งจะสามารถทำให้เข้าใจข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; Filename      solar.asm
; Description  measurement of solar intensity in kilowatt
;               per a square meter unit
; Hardware    89c2051, lm358, lm331 and 4n26
; Assembler   sxa51
; Start-date  November 1996
; Modify-date March 1997
```

```
org 0000h
ljmp main

org 0003h
ljmp key

org 000bh
ljmp counter

org 0100h
chanel1_w equ 20h
chanel2_w equ 21h
chanel3_w equ 22h
chanel1_kw equ 23h
chanel2_kw equ 24h
chanel3_kw equ 25h

check equ 30h
number equ 31h

main: mov chanel1_w,#00h
      mov chanel2_w,#00h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov    chanel3_w,#00h
mov    chanel1_kw,#00h
mov    chanel2_kw,#00h
mov    chanel3_kw,#00h
mov    number,#00h
mov    check,#00h

mov    sp,#50h
setb   px0
mov    ie,#83h
mov    tmod,#05h
mov    tl0,#0efh
mov    th0,#0d8h
setb   it0
setb   tr0
function: mov    a,check
        cjne   a,#00h,func1
        ljmp   watt
func1:  mov    a,check
        cjne   a,#01h,func2
        ljmp   kilowatt
func2:  mov    a,check
        cjne   a,#02h,func3
        ljmp   not_show
func3:  mov    check,#00h
func_out: sjmp  function

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

counter:    push    psw
            push    acc
            push    dpl
            push    dph

unit_w:     inc     chanel1_w
            mov     a,chanel1_w
            cjne   a,#0ah,goback
            mov     chanel1_w,#00h

            inc     chanel2_w
            mov     a,chanel2_w
            cjne   a,#0ah,goback
            mov     chanel2_w,#00h

            inc     chanel3_w
            mov     a,chanel3_w
            cjne   a,#0ah,goback
            mov     chanel3_w,#00h

unit_kw:    inc     chanel1_kw
            mov     a,chanel1_kw
            cjne   a,#0ah,goback
            mov     chanel1_kw,#00h

            inc     chanel2_kw
            mov     a,chanel2_kw
            cjne   a,#0ah,goback
            mov     chanel2_kw,#00h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        inc    chanel3_kw
        mov    a,chanel3_kw
        cjne  a,#0ah,goback
        ljmp  error

goback:  mov    tl0,#0efh
        mov    th0,#0d8h

exit:    pop    dph
        pop    dpl
        pop    acc
        pop    psw
        reti

key:     push  psw
        push  acc
        push  dpl
        push  dph

key_wait: jnb   p3.2,key_wait
        inc   check

key_out: sjmp  exit

watt:   clr   p3.0
        mov  number,chanel1_w
        acall disp_on
        acall disp_off
        setb p3.0

        clr   p3.1
        mov  number,chanel2_w

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
acall disp_on
acall disp_off
setb p3.1
```

```
clr p3.7
mov number,chanel3_w
acall disp_on
acall disp_off
setb p3.7
ljmp function
```

kilowatt:

```
clr p3.0
mov number,chanel1_kw
acall disp_kw
acall disp_off
setb p3.0
clr p3.1
mov number,chanel2_kw
acall disp_on
acall disp_off
setb p3.1
```

```
clr p3.7
mov number,chanel3_kw
acall disp_on
acall disp_off
setb p3.7
ljmp func1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

not_show:   clr    p3.0
            acall  disp_off
            setb  p3.0

            clr    p3.1
            mov   p1,#0bfh
            acall  delay_ms
            acall  disp_off
            setb  p3.1

            clr    p3.7
            acall  disp_off
            setb  p3.7
            ljmp  func2

error:      clr    p3.7
            mov   number,#00h
            acall  disp_error
            acall  disp_off
            setb  p3.7

            clr    p3.1
            mov   number,#01h
            acall  disp_error
            acall  disp_off
            setb  p3.1

            clr    p3.0
            mov   number,#02h
            acall  disp_error

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        acall  disp_off
        setb  p3.0
        sjmp  error

disp_on:  mov   dptr,#table_1
         mov   a,number
         movc  a,@a+dptr
         mov   p1,a
         acall delay_ms
         ret

disp_kw:  mov   dptr,#table_2
         mov   a,number
         movc  a,@a+dptr
         mov   p1,a
         acall delay_ms
         ret

disp_error:  mov  dptr,#error_table
            mov  a,number
            movc a,@a+dptr
            mov  p1,a
            acall delay_ms
            ret

disp_off:  anl   a,#00h
         cpl   a
         mov   p1,a
         acall delay_ms
         ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms:    push    b
             mov     b,#91h
             djnz   b,$
             pop    b
             ret

delay_20ms:  mov     b,#14h
dly_20ms:    acall   delay_ms
             djnz   b,dly_20ms
             ret

delay_sec:   mov     b,#0fah
dly_sec:     acall   delay_ms
             acall   delay_ms
             acall   delay_ms
             acall   delay_ms
             djnz   b,dly_sec
             ret

table_1:     db      0c0h,0f9h,0a4h,0b0h,99h,092h,082h,0f8h,080h,90h
table_2:     db      40h,79h,24h,30h,19h,12h,02h,78h,00h,10h
error_table: db      086h,0ceh,0ceh

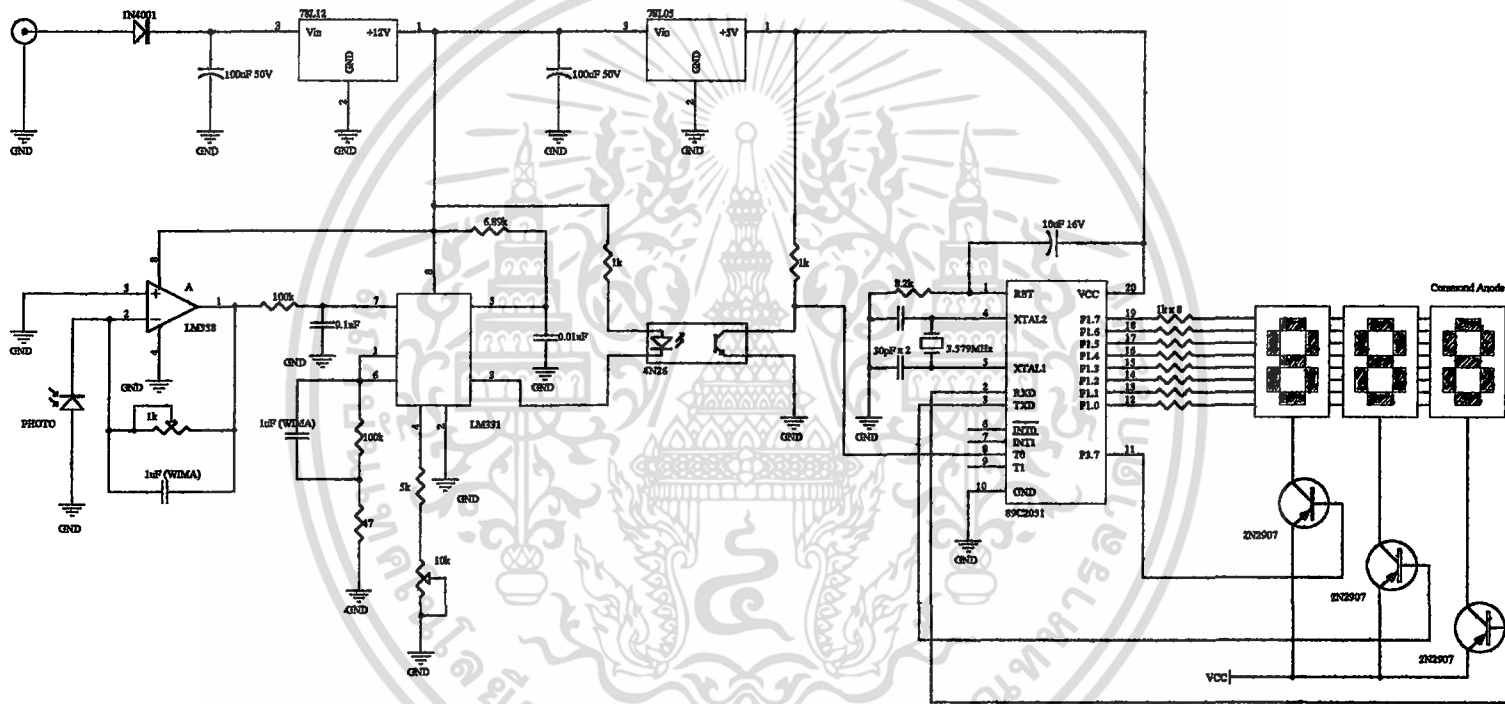
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



File: Daily Revolution Meter		
Rev: B	Number:	Revision:
Date: 27-Mar-1997	Drawn by:	
File: CNF04K9V005C18CH	Design by:	



ภาคผนวก ค.
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- **To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.**

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value. GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 5

© Motorola Optoelectronics Device Data

4N25*
4N25A*
4N26*
[CTR = 20% Min]
4N27
4N28
[CTR = 10% Min]

*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC

STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC

PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)(1)

Characteristic	Symbol	Min	Typ(1)	Max	Unit
----------------	--------	-----	--------	-----	------

INPUT LED

Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	V_F	— — —	1.15 1.3 1.05	1.5 — —	Volts
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)		I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)		C_J	—	18	—	pF

OUTPUT TRANSISTOR

Collector–Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	4N25,25A,26,27 4N28	I_{CEO}	— —	1 1	50 100	nA
($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 100^\circ\text{C}$)	All Devices	I_{CEO}	—	1	—	μA
Collector–Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)		I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)		$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector–Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)		$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter–Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)		$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$)		h_{FE}	—	500	—	—
Collector–Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CE} = 0$)		C_{CE}	—	7	—	pF
Collector–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$)		C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{EB} = 0$)		C_{EB}	—	9	—	pF

COUPLED

Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$)	4N25,25A,26 4N27,28	I_C (CTR)(2)	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	— —	$\text{mA} (\%)$
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn–On Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)		t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn–Off Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)		t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)		t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)		t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$)(4)		V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$)(4)		R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)(4)		C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F \times 100\%$.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

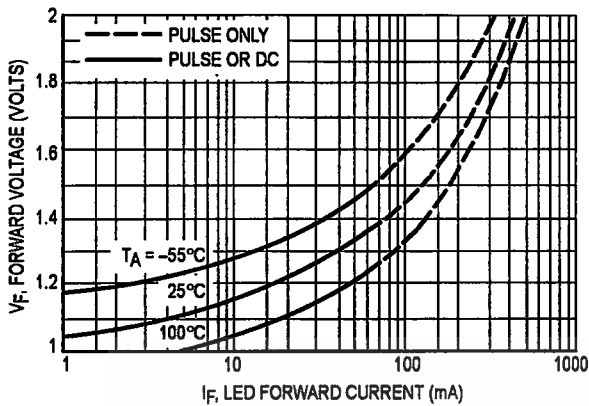


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

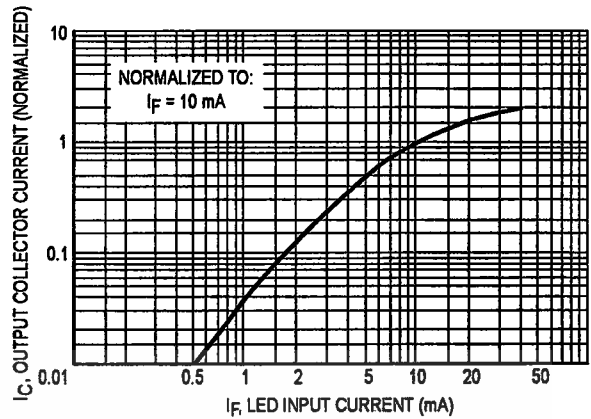


Figure 2. Output Current versus Input Current

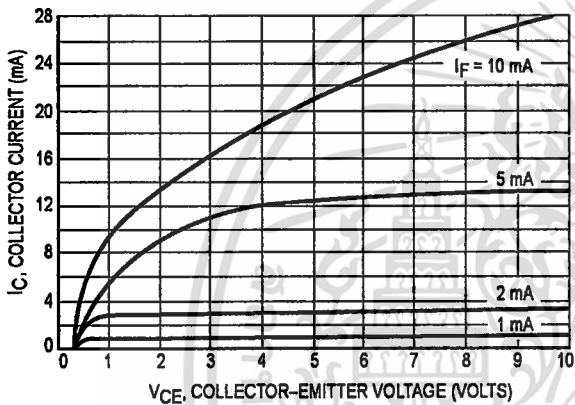


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

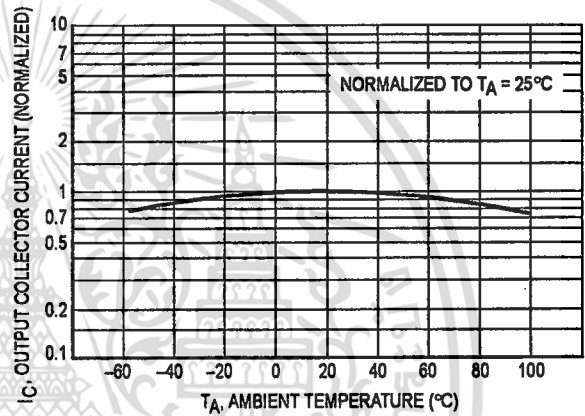


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

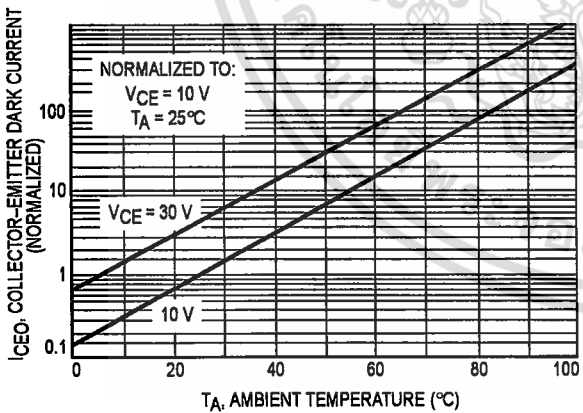


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

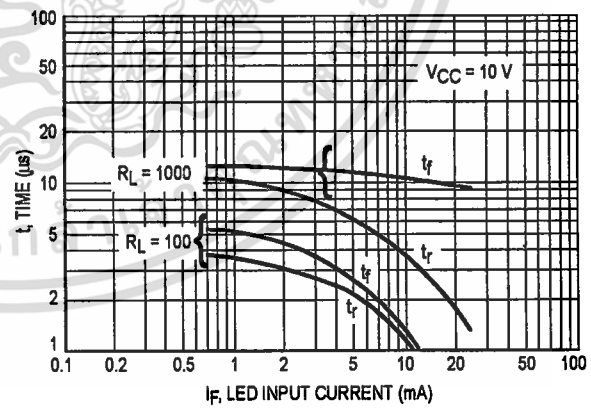


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

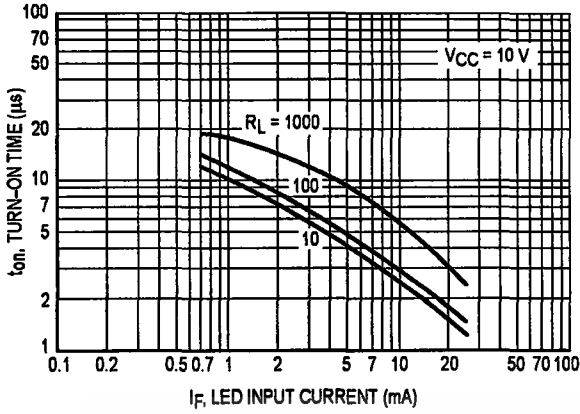


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

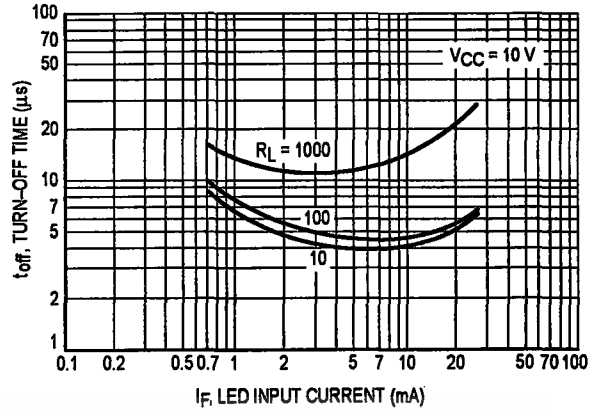


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

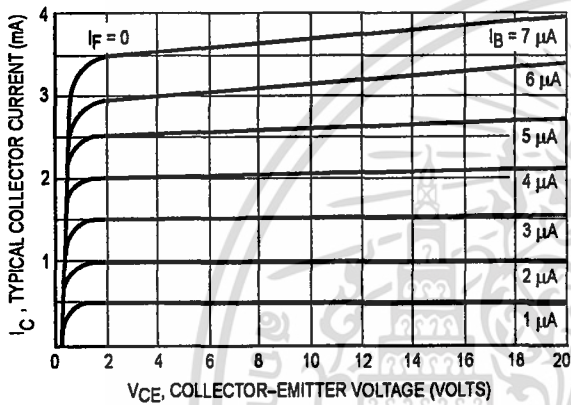


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

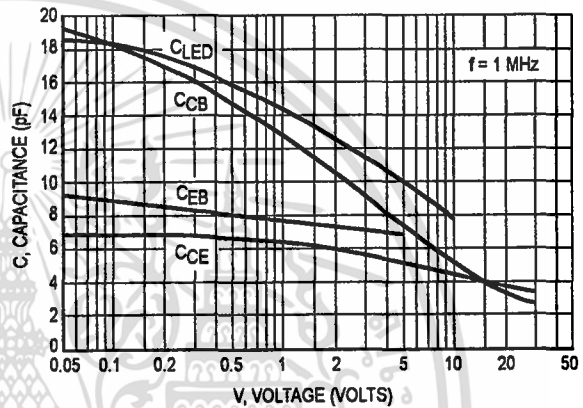


Figure 10. Capacitances versus Voltage

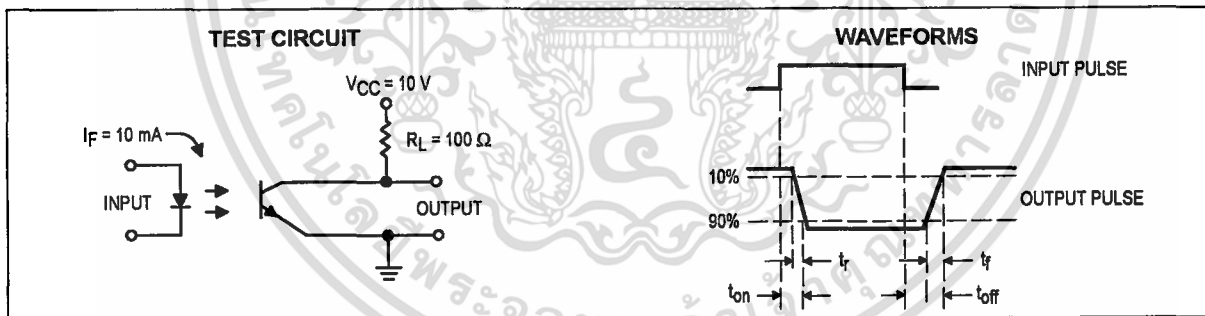
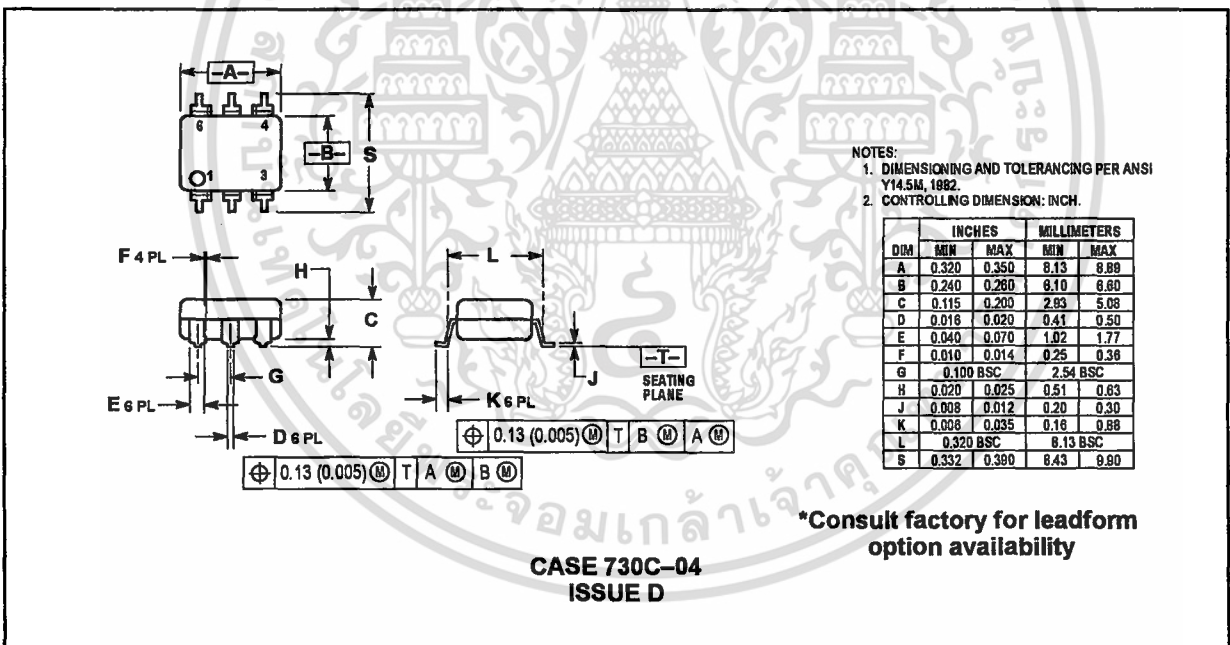
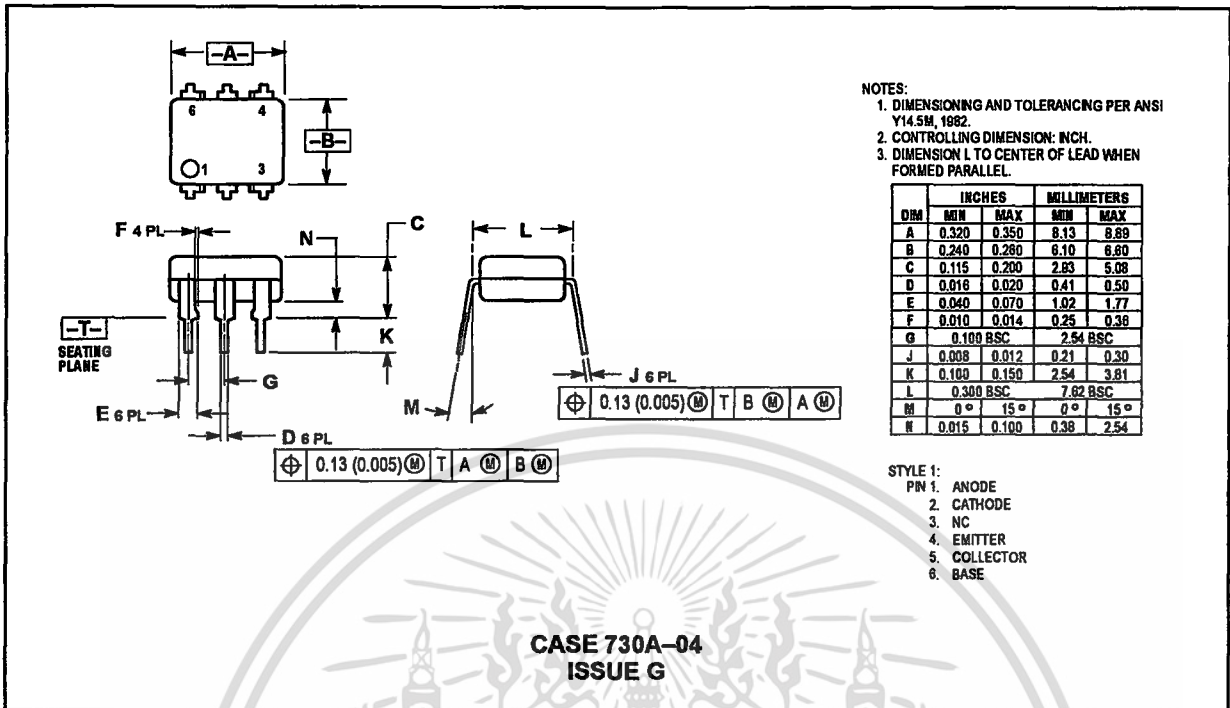


Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

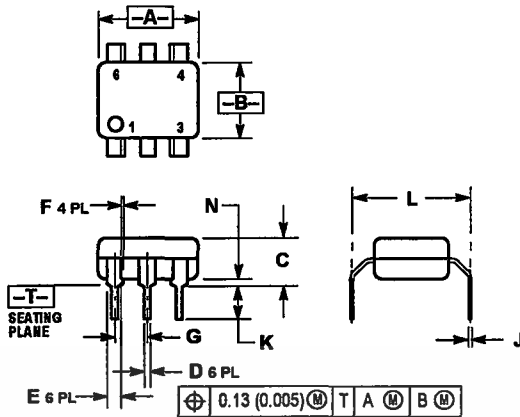
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

PACKAGE DIMENSIONS



4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.280	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100	BSC	2.54	BSC
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.400	0.425	10.16	10.80
N	0.015	0.040	0.38	1.02

***Consult factory for leadform option availability**

**CASE 730D-05
ISSUE D**

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
 INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



Motorola Optoelectronics Devices Data



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 2 Kbytes of Reprogrammable Flash Memory
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7 V to 6 V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-Chip Analog Comparator
- Low Power Idle and Power Down Modes

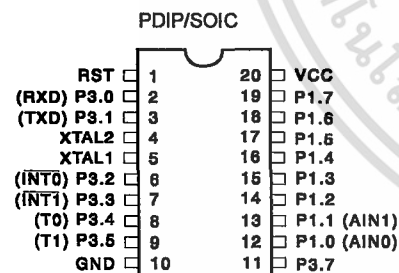
**8-Bit
Microcontroller
with 2 Kbytes
Flash**

Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2 Kbytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and pinout. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2 Kbytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration

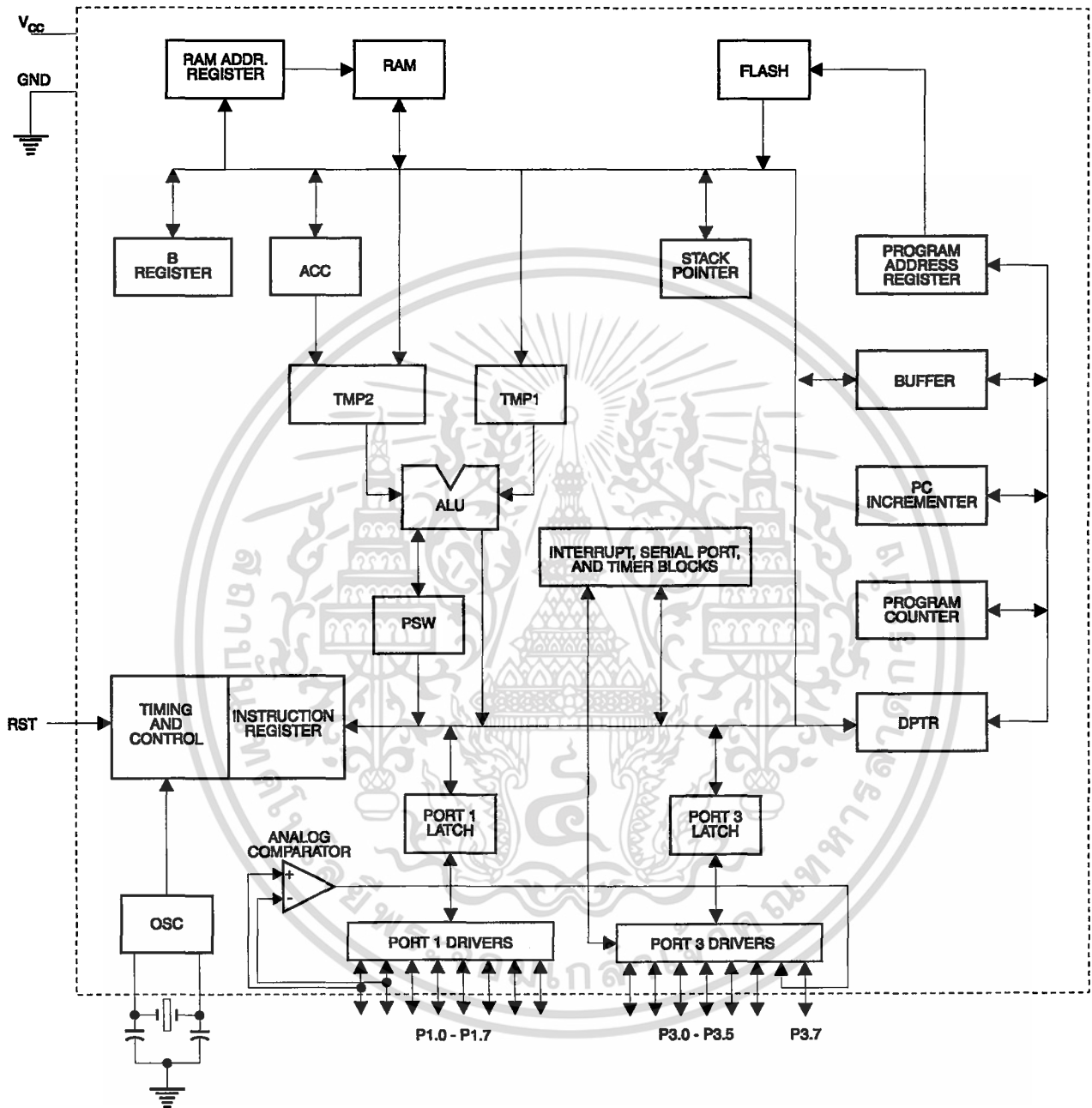


0368C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



Pin Description

Vcc
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 1
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (IIL) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and program verification.

Port 3
Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bidirectional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (IIL) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and programming verification.

RST
Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

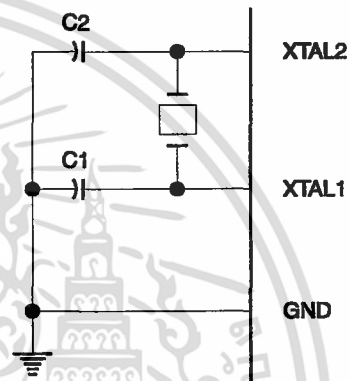
XTAL1
Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2
Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

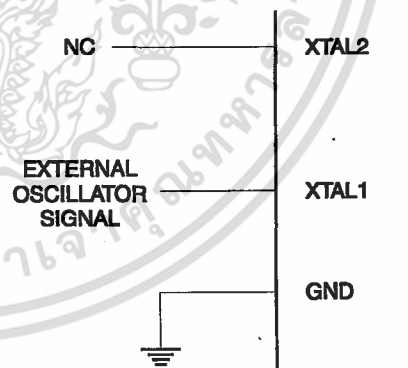
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



Notes: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration





Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return

random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H								0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XXX00000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0XX00000							0AFH
0A0H								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H		SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 and is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2 Kbytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

1. Branching instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ
With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

2. MOVX-related instructions, Data Memory:

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.





Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits		Protection Type
LB1	LB2	
1	U U	No program lock features.
2	P U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Power Down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.

Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2 Kbytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:
Apply power between V_{CC} and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
With all other pins floating, wait for greater than 10 milliseconds
2. Set pin RST to 'H'
Set pin P3.2 to 'H'
3. Apply the appropriate combination of 'H' or 'L' logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.
To Program and Verify the Array:
4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
5. Raise RST to 12V to enable programming.
6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic 'H' level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2 Kbytes array or until the end of the object file is reached.
10. Power-off sequence:
set XTAL1 to 'L'
set RST to 'L'
Float all other I/O pins
Turn V_{CC} power off

Data Polling: The AT89C2051 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from 'L' to 'H'.
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2 Kbytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.





(000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(001H) = 21H indicates 89C2051

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode	RST	P3.2/ PROG	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data ^(1,3)	12V		L	H	H	H
Read Code Data ⁽¹⁾	H	H	L	L	H	
Write Lock	Bit - 1		H	H	H	
	Bit - 2		H	H	L	L
Chip Erase	12V	 ⁽²⁾	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	H	L	L	L	

Notes: 1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL1 pin.

2. Chip Erase requires a 10 ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.

3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.



Figure 3. Programming the Flash Memory

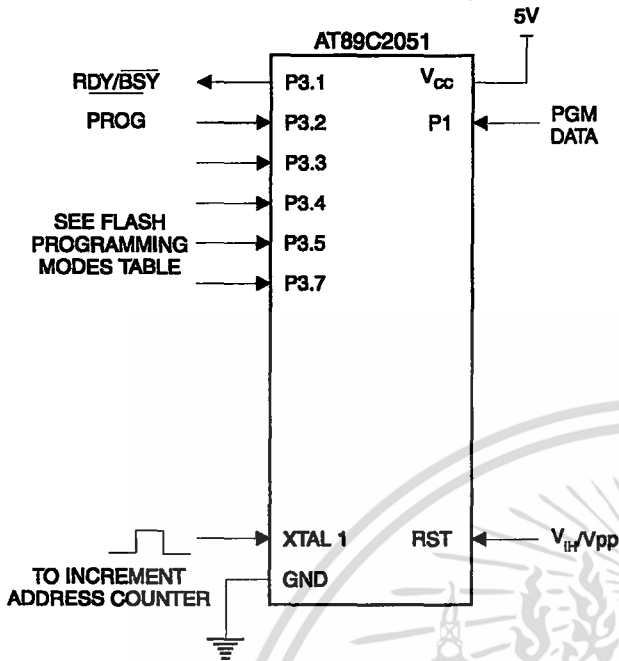
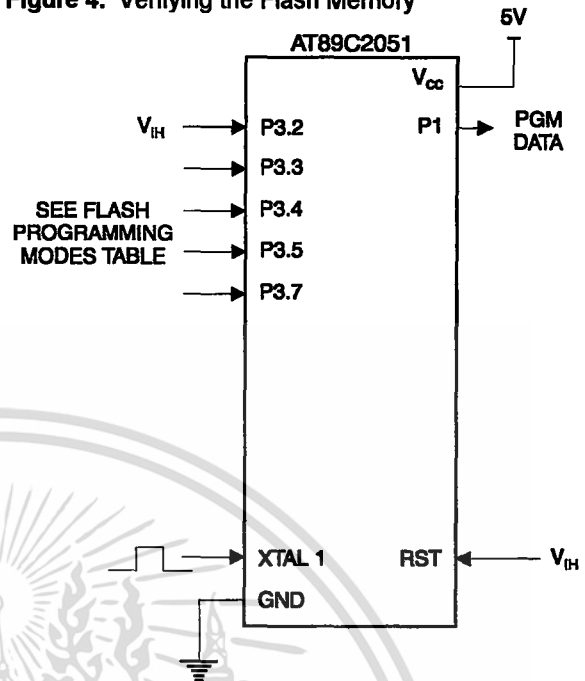


Figure 4. Verifying the Flash Memory



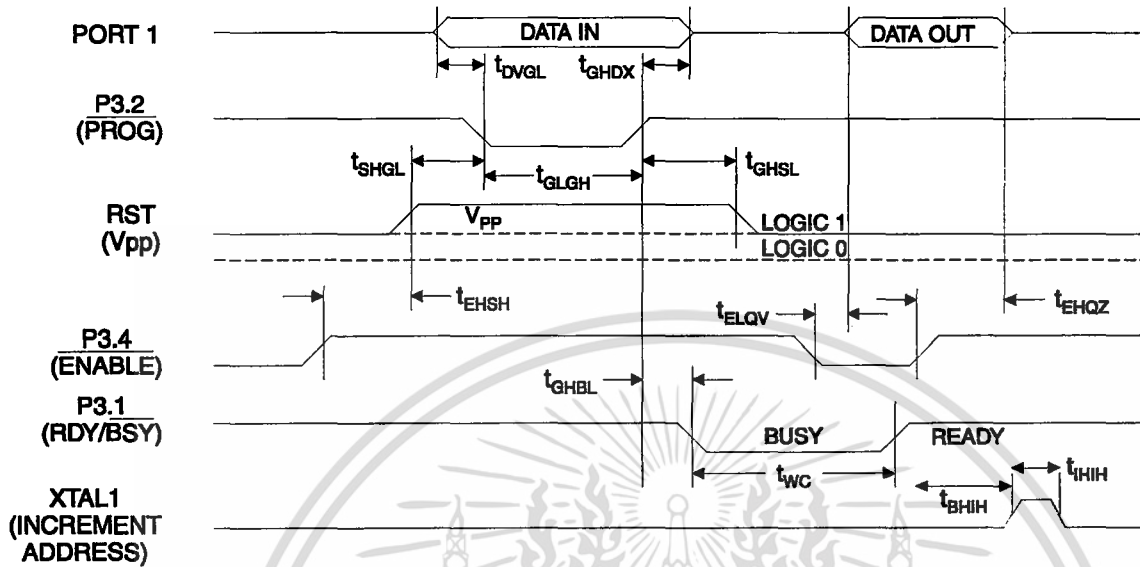
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 21^\circ\text{C}$ to 27°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}	Programming Enable Current		250	μA
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		μs
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	1.0		μs
t_{ESH}	P3.4 (ENABLE) High to V_{PP}	1.0		μs
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t_{GHSL}	V_{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{ELQV}	ENABLE Low to Data Valid		1.0	μs
t_{EHQZ}	Data Float After ENABLE	0	1.0	μs
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		50	ns
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
t_{BHIH}	$\overline{\text{RDY/BSY}}$ to Increment Clock Delay	1.0		μs
t_{IHIL}	Increment Clock High	200		ns

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

Flash Programming and Verification Waveforms



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0 V to +7.0 V
Maximum Operating Voltage	6.6 V
DC Output Current.....	25.0 mA

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



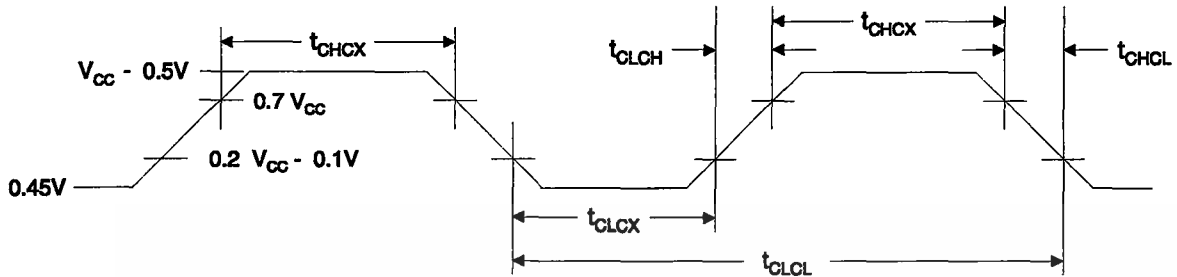
D.C. Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.7\text{ V}$ to 6.0 V (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1, 3)	$I_{OL} = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$ $I_{OL} = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 2.7\text{ V}$		0.5	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 3)	$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -30\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -12\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3)	$V_{IN} = 0.45\text{ V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)	$V_{IN} = 2\text{ V}$		-750	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	$0 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
V_{OS}	Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$		20	mV
V_{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V_{CC}	V
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{ V}/3\text{ V}$		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{ V}/3\text{ V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		5/1	mA
	Power Down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{ V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC} $V_{CC} = 3\text{ V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		100 20	μA μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA
 If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
 2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2 V.

External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	V _{CC} = 2.7 V to 6.0 V		V _{CC} = 4.0 V to 6.0 V		Units
		Min	Max	Min	Max	
1/t _{CLCL}	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
t _{CLCL}	Clock Period	83.3		41.6		ns
t _{CHCX}	High Time	30		15		ns
t _{CLCX}	Low Time	30		15		ns
t _{CLCH}	Rise Time		20		20	ns
t _{CHCL}	Fall Time		20		20	ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

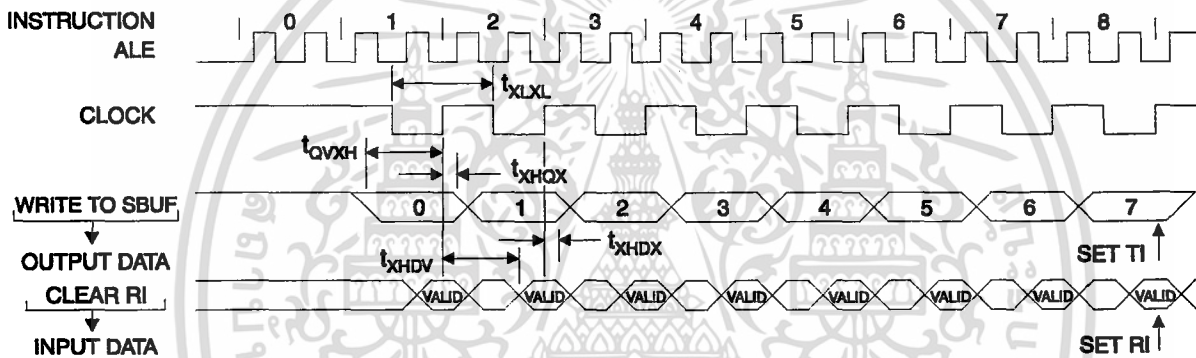


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

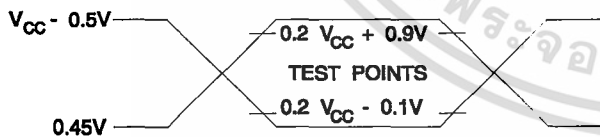
($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-33$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

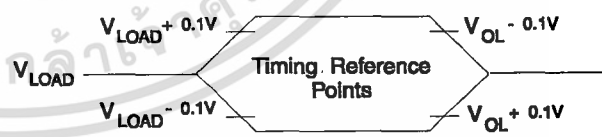


AC Testing Input/Output Waveforms ⁽¹⁾



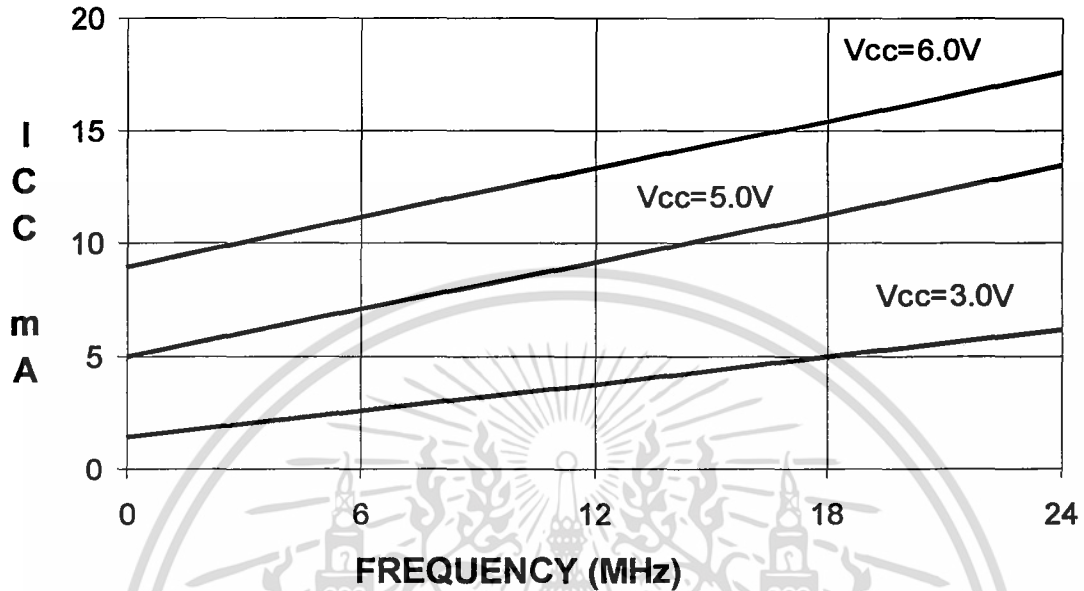
Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5\text{ V}$ for a logic 1 and 0.45 V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms ⁽¹⁾

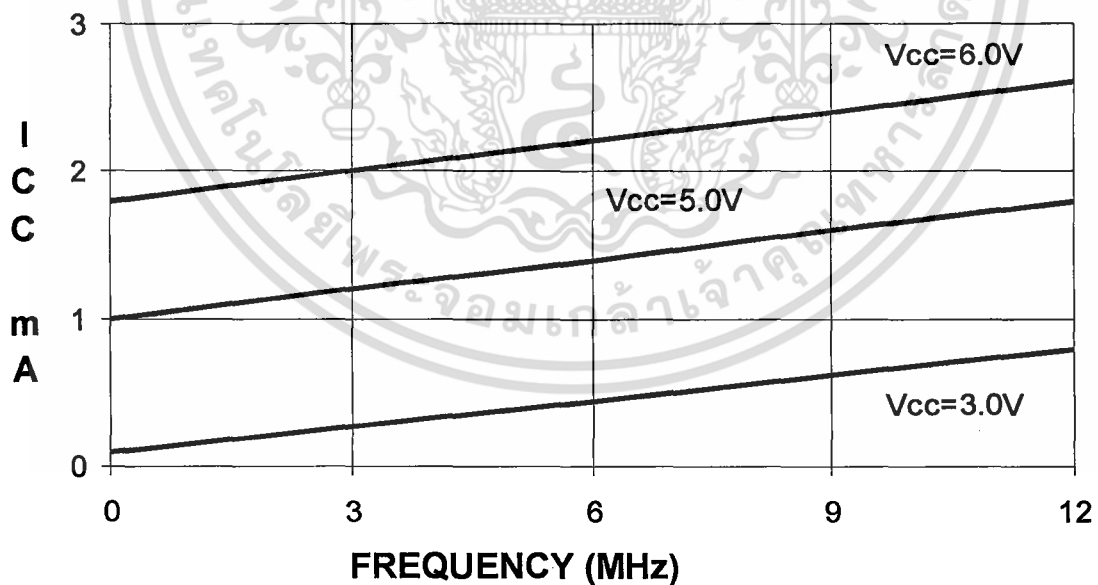


Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

AT89C2051
TYPICAL ICC - ACTIVE (85°C)

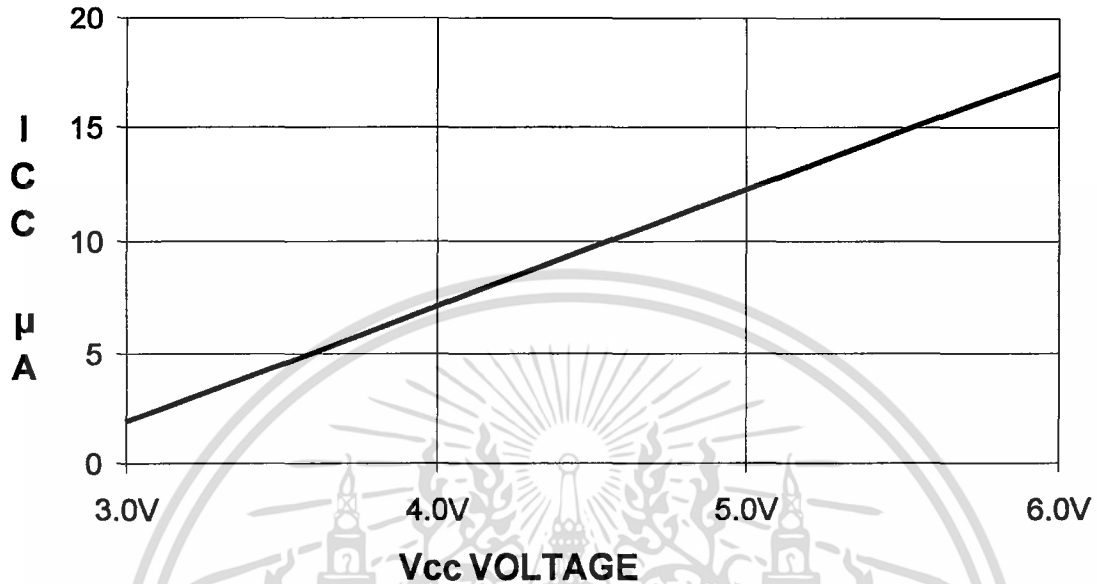


AT89C2051
TYPICAL ICC - IDLE (85°C)



AT89C2051

TYPICAL ICC vs. VOLTAGE- POWER DOWN (85°C)



- Note:
1. XTAL1 tied to GND for I_{CC} (power down).
 2. P.1.0 and P1.1 = V_{CC} or GND.
 3. Lock bits programmed.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7 V to 6.0 V	AT89C2051-12PC AT89C2051-12SC	20P3 20S	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-12PI AT89C2051-12SI	20P3 20S	Industrial (-40°C to 85°C)
24	4.0 V to 6.0 V	AT89C2051-24PC AT89C2051-24SC	20P3 20S	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-24PI AT89C2051-24SI	20P3 20S	Industrial (-40°C to 85°C)



Package Type

20P3	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
20S	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM131A/LM131, LM231A/LM231, LM331A/LM331 Precision Voltage-to-Frequency Converters

General Description

The LM131/LM231/LM331 family of voltage-to-frequency converters are ideally suited for use in simple low-cost circuits for analog-to-digital conversion, precision frequency-to-voltage conversion, long-term integration, linear frequency modulation or demodulation, and many other functions. The output when used as a voltage-to-frequency converter is a pulse train at a frequency precisely proportional to the applied input voltage. Thus, it provides all the inherent advantages of the voltage-to-frequency conversion techniques, and is easy to apply in all standard voltage-to-frequency converter applications. Further, the LM131A/LM231A/LM331A attains a new high level of accuracy versus temperature which could only be attained with expensive voltage-to-frequency modules. Additionally the LM131 is ideally suited for use in digital systems at low power supply voltages and can provide low-cost analog-to-digital conversion in microprocessor-controlled systems. And, the frequency from a battery powered voltage-to-frequency converter can be easily channeled through a simple photoisolator to provide isolation against high common mode levels.

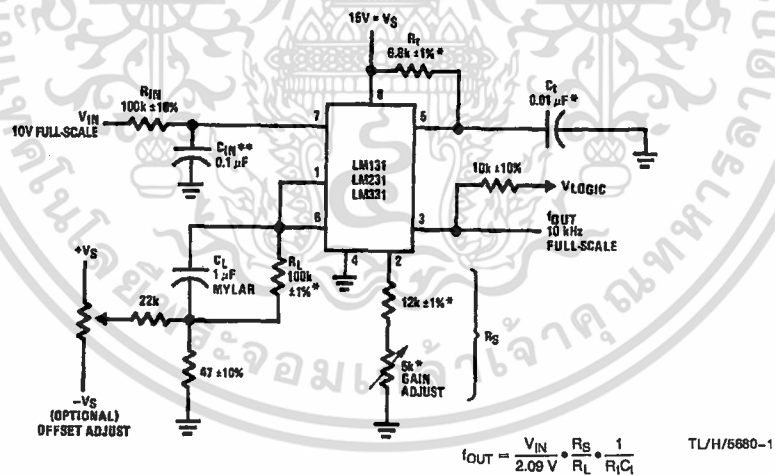
The LM131/LM231/LM331 utilizes a new temperature-compensated band-gap reference circuit, to provide excellent accuracy over the full operating temperature range, at power supplies as low as 4.0V. The precision timer circuit

has low bias currents without degrading the quick response necessary for 100 kHz voltage-to-frequency conversion. And the output is capable of driving 3 TTL loads, or a high voltage output up to 40V, yet is short-circuit-proof against V_{CC} .

Features

- Guaranteed linearity 0.01% max
- Improved performance in existing voltage-to-frequency conversion applications
- Split or single supply operation
- Operates on single 5V supply
- Pulse output compatible with all logic forms
- Excellent temperature stability, ± 50 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ max
- Low power dissipation, 15 mW typical at 5V
- Wide dynamic range, 100 dB min at 10 kHz full scale frequency
- Wide range of full scale frequency, 1 Hz to 100 kHz
- Low cost

Typical Applications



*Use stable components with low temperature coefficients. See Typical Applications section.

**0.1 μF or 1 μF , See "Principles of Operation."

FIGURE 1. Simple Stand-Alone Voltage-to-Frequency Converter with $\pm 0.03\%$ Typical Linearity ($f = 10$ Hz to 11 kHz)

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

	LM131A/LM131	LM231A/LM231	LM331A/LM331
Supply Voltage	40V	40V	40V
Output Short Circuit to Ground	Continuous	Continuous	Continuous
Output Short Circuit to V_{CC}	Continuous	Continuous	Continuous
Input Voltage	-0.2V to $+V_S$	-0.2V to $+V_S$	-0.2V to $+V_S$
Operating Ambient Temperature Range	T_{MIN} T_{MAX} -55°C to +125°C	T_{MIN} T_{MAX} -25°C to +85°C	T_{MIN} T_{MAX} 0°C to +70°C
Power Dissipation (P_D at 25°C) and Thermal Resistance (θ_{JA})			
(H Package) P_D	670 mW		
θ_{JA}	150°C/W		
(N Package) P_D		1.25W	1.25W
θ_{JA}		100°C/W	100°C/W
(M Package) P_D		1.25W	
θ_{JA}		85°C/W	
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)			
Dual-In-Line Package (Plastic)	260°C	260°C	260°C
Metal Can Package (TO-5)	260°C		
ESD Susceptibility (Note 4)			
Metal Can Package (TO-5)	2000V		
Other Packages		500V	500V

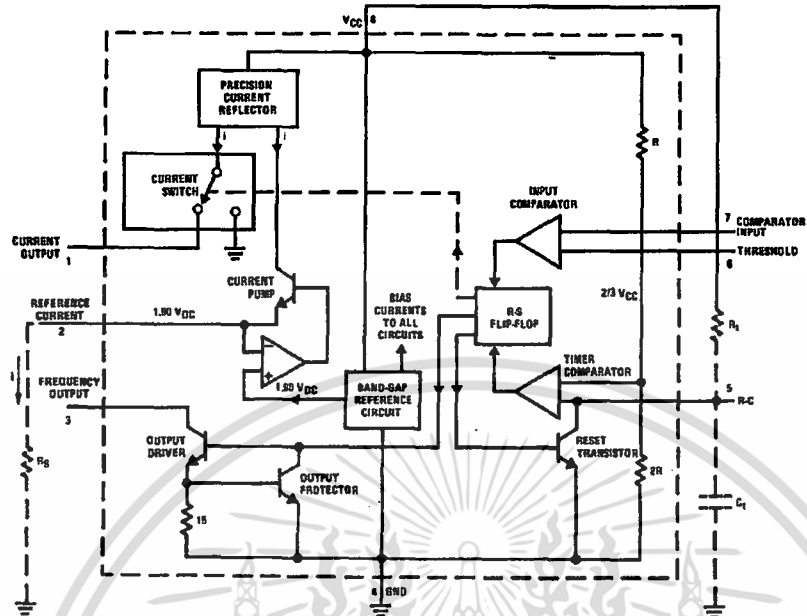
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified (Note 2)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
VFC Non-Linearity (Note 3)	$4.5V \leq V_S \leq 20V$		± 0.003	± 0.01	% Full-Scale
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		± 0.006	± 0.02	% Full-Scale
VFC Non-Linearity In Circuit of Figure 1	$V_S = 15V, f = 10\text{ Hz to } 11\text{ kHz}$		± 0.024	± 0.14	% Full-Scale
Conversion Accuracy Scale Factor (Gain) LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	$V_{IN} = -10V, R_S = 14\text{ k}\Omega$	0.95 0.90	1.00 1.00	1.05 1.10	kHz/V kHz/V
Temperature Stability of Gain LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}, 4.5V \leq V_S \leq 20V$		± 30 ± 20	± 150 ± 50	ppm/°C ppm/°C
Change of Gain with V_S	$4.5V \leq V_S \leq 10V$ $10V \leq V_S \leq 40V$		0.01 0.006	0.1 0.06	%/V %/V
Rated Full-Scale Frequency	$V_{IN} = -10V$	10.0			kHz
Gain Stability vs Time (1000 Hrs)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		± 0.02		% Full-Scale
Overrange (Beyond Full-Scale) Frequency	$V_{IN} = -11V$	10			%
INPUT COMPARATOR					
Offset Voltage LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		± 3	± 10	mV
			± 4	± 14	mV
			± 3	± 10	mV
Bias Current			-80	-300	nA
Offset Current			± 8	± 100	nA
Common-Mode Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	-0.2		$V_{CC} - 2.0$	V

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified (Note 2) (Continued)						
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units	
TIMER						
Timer Threshold Voltage, Pin 5		0.63	0.667	0.70	$\times V_S$	
Input Bias Current, Pin 5 All Devices LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	$V_S = 15\text{V}$ $0\text{V} \leq V_{\text{PIN}5} \leq 9.9\text{V}$ $V_{\text{PIN}5} = 10\text{V}$ $V_{\text{PIN}5} = 10\text{V}$		± 10 200 200	± 100 1000 500	nA nA nA	
$V_{\text{SAT PIN}5}$ (Reset)	$I = 5\text{ mA}$		0.22	0.5	V	
CURRENT SOURCE (Pin 1)						
Output Current LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	$R_S = 14\text{ k}\Omega$, $V_{\text{PIN}1} = 0$	126 116	135 136	144 156	μA μA	
Change with Voltage	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}1} \leq 10\text{V}$		0.2	1.0	μA	
Current Source OFF Leakage LM131, LM131A LM231, LM231A, LM331, LM331A All Devices	$T_A = T_{\text{MAX}}$		0.01 0.02 2.0	1.0 10.0 50.0	nA nA nA	
Operating Range of Current (Typical)			(10 to 500)		μA	
REFERENCE VOLTAGE (Pin 2)						
LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A		1.76 1.70	1.89 1.89	2.02 2.08	V_{DC} V_{DC}	
Stability vs Temperature			± 60		ppm/ $^\circ\text{C}$	
Stability vs Time, 1000 Hours			± 0.1		%	
LOGIC OUTPUT (Pin 3)						
V_{SAT}	$I = 5\text{ mA}$ $I = 3.2\text{ mA}$ (2 TTL Loads), $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$		0.15 0.10	0.50 0.40	V V	
OFF Leakage			± 0.05	1.0	μA	
SUPPLY CURRENT						
LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	$V_S = 5\text{V}$ $V_S = 40\text{V}$ $V_S = 5\text{V}$ $V_S = 40\text{V}$	2.0 2.5 1.5 2.0	3.0 4.0 3.0 4.0	4.0 6.0 6.0 8.0	mA mA mA mA	
<p>Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.</p> <p>Note 2: All specifications apply in the circuit of Figure 3, with $4.0\text{V} \leq V_S \leq 40\text{V}$, unless otherwise noted.</p> <p>Note 3: Nonlinearity is defined as the deviation of f_{OUT} from $V_{\text{IN}} \times (10\text{ kHz} / -10\text{ V}_{\text{DC}})$ when the circuit has been trimmed for zero error at 10 Hz and at 10 kHz, over the frequency range 1 Hz to 11 kHz. For the timing capacitor, C_T, use NPO ceramic, Teflon[®], or polystyrene.</p> <p>Note 4: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.</p>						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Block Diagram



Pin numbers apply to 8-pin packages only. See connection diagram for LM231WM pin numbers.

FIGURE 1a

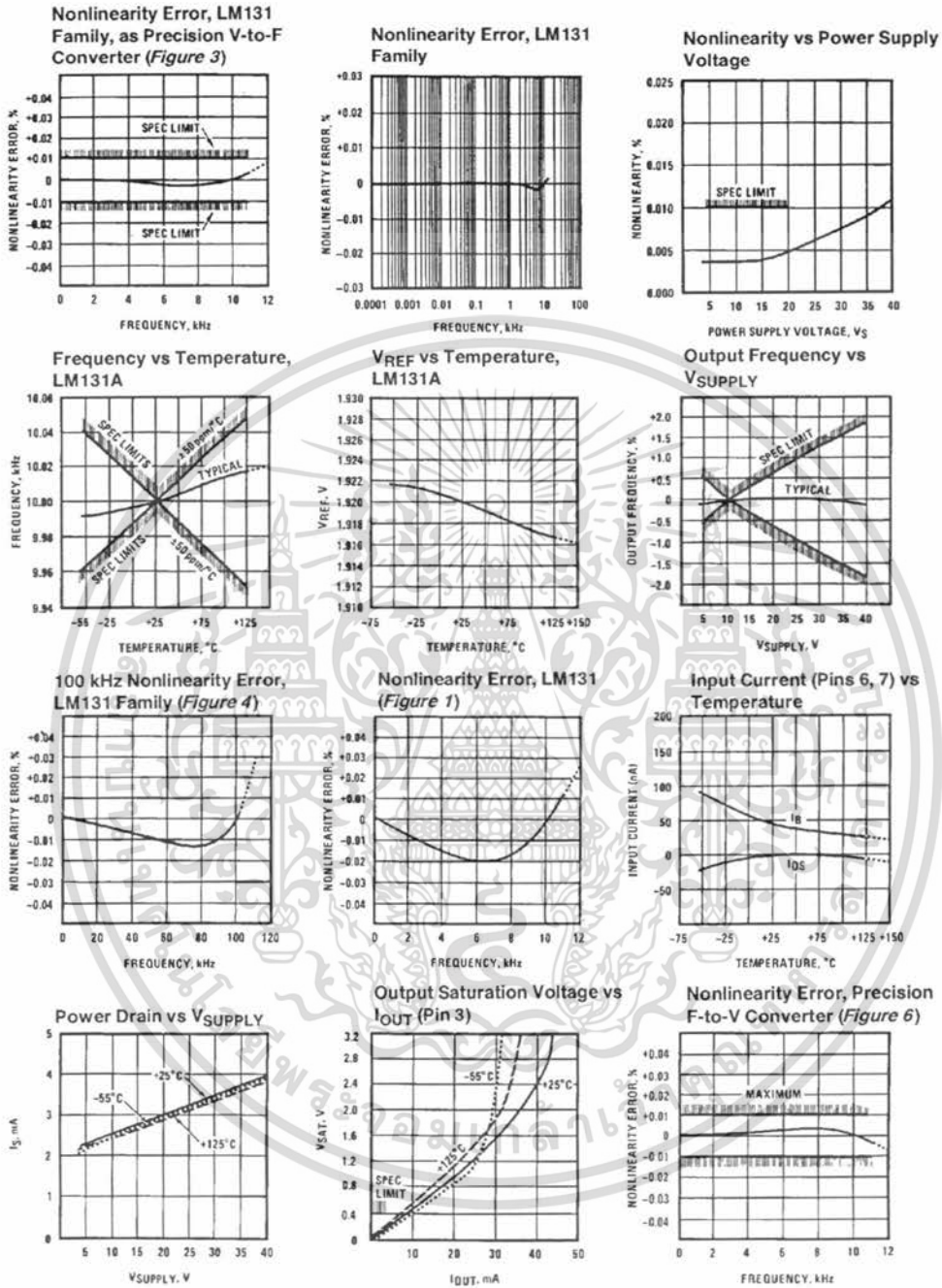
Telxon® registered trademark of DuPont

TL/H/6680-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

(All electrical characteristics apply for the circuit of Figure 3, unless otherwise noted.)



TL/H/5680-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

PRINCIPLES OF OPERATION OF A SIMPLIFIED VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERTER

The LM131 is a monolithic circuit designed for accuracy and versatile operation when applied as a voltage-to-frequency (V-to-F) converter or as a frequency-to-voltage (F-to-V) converter. A simplified block diagram of the LM131 is shown in Figure 2 and consists of a switched current source, input comparator, and 1-shot timer.

The operation of these blocks is best understood by going through the operating cycle of the basic V-to-F converter, Figure 2, which consists of the simplified block diagram of the LM131 and the various resistors and capacitors connected to it.

The voltage comparator compares a positive input voltage, V_1 , at pin 7 to the voltage, V_x , at pin 6. If V_1 is greater, the comparator will trigger the 1-shot timer. The output of the timer will turn ON both the frequency output transistor and the switched current source for a period $t = 1.1 R_f C_f$. During this period, the current i will flow out of the switched current source and provide a fixed amount of charge, $Q = i \times t$, into the capacitor, C_L . This will normally charge V_x up to a higher level than V_1 . At the end of the timing period, the current i will turn OFF, and the timer will reset itself.

Now there is no current flowing from pin 1, and the capacitor C_L will be gradually discharged by R_L until V_x falls to the level of V_1 . Then the comparator will trigger the timer and start another cycle.

The current flowing into C_L is exactly $I_{AVE} = i \times (1.1 \times R_f C_f) \times f$, and the current flowing out of C_L is exactly $V_x / R_L \approx V_{IN} / R_L$. If V_{IN} is doubled, the frequency will double to maintain this balance. Even a simple V-to-F converter can provide a frequency precisely proportional to its input voltage over a wide range of frequencies.

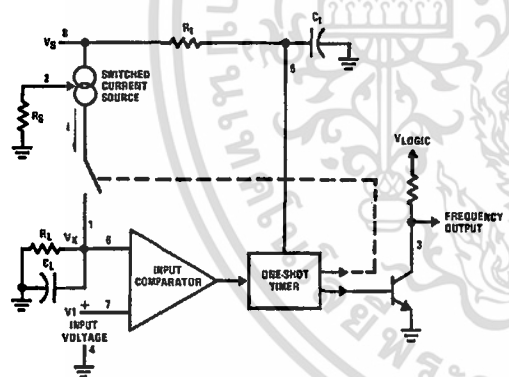


FIGURE 2. Simplified Block Diagram of Stand-Alone Voltage-to-Frequency Converter Showing LM131 and External Components

DETAIL OF OPERATION, FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM (FIGURE 1a)

The block diagram shows a band gap reference which provides a stable $1.9 V_{DC}$ output. This $1.9 V_{DC}$ is well regulated over a V_S range of 3.9V to 40V. It also has a flat, low temperature coefficient, and typically changes less than $1/2\%$ over a 100°C temperature change.

The current pump circuit forces the voltage at pin 2 to be at 1.9V, and causes a current $i = 1.90V / R_S$ to flow. For $R_S = 14k$, $i = 135 \mu\text{A}$. The precision current reflector provides a current equal to i to the current switch. The current switch switches the current to pin 1 or to ground depending on the state of the R_S flip-flop.

The timing function consists of an R_S flip-flop, and a timer comparator connected to the external $R_f C_f$ network. When the input comparator detects a voltage at pin 7 higher than pin 6, it sets the R_S flip-flop which turns ON the current switch and the output driver transistor. When the voltage at pin 5 rises to $2/3 V_{CC}$, the timer comparator causes the R_S flip-flop to reset. The reset transistor is then turned ON and the current switch is turned OFF.

However, if the input comparator still detects pin 7 higher than pin 6 when pin 5 crosses $2/3 V_{CC}$, the flip-flop will not be reset, and the current at pin 1 will continue to flow, in its attempt to make the voltage at pin 6 higher than pin 7. This condition will usually apply under start-up conditions or in the case of an overload voltage at signal input. It should be noted that during this sort of overload, the output frequency will be 0; as soon as the signal is restored to the working range, the output frequency will be resumed.

The output driver transistor acts to saturate pin 3 with an ON resistance of about 50Ω . In case of overvoltage, the output current is actively limited to less than 50 mA.

The voltage at pin 2 is regulated at $1.90 V_{DC}$ for all values of i between $10 \mu\text{A}$ to $500 \mu\text{A}$. It can be used as a voltage reference for other components, but care must be taken to ensure that current is not taken from it which could reduce the accuracy of the converter.

PRINCIPLES OF OPERATION OF BASIC VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERTER (FIGURE 1)

The simple stand-alone V-to-F converter shown in Figure 1 includes all the basic circuitry of Figure 2 plus a few components for improved performance.

A resistor, $R_{IN} = 100 k\Omega \pm 10\%$, has been added in the path to pin 7, so that the bias current at pin 7 (-80 nA typical) will cancel the effect of the bias current at pin 6 and help provide minimum frequency offset.

The resistance R_S at pin 2 is made up of a $12 k\Omega$ fixed resistor plus a $5 k\Omega$ (cermet, preferably) gain adjust rheostat. The function of this adjustment is to trim out the gain tolerance of the LM131, and the tolerance of R_f , R_L and C_f .

Typical Applications (Continued)

For best results, all the components should be stable low-temperature-coefficient components, such as metal-film resistors. The capacitor should have low dielectric absorption; depending on the temperature characteristics desired, NPO ceramic, polystyrene, Teflon or polypropylene are best suited.

A capacitor C_{IN} is added from pin 7 to ground to act as a filter for V_{IN} . A value of $0.01 \mu F$ to $0.1 \mu F$ will be adequate in most cases; however, in cases where better filtering is required, a $1 \mu F$ capacitor can be used. When the RC time constants are matched at pin 6 and pin 7, a voltage step at V_{IN} will cause a step change in f_{OUT} . If C_{IN} is much less than C_L , a step at V_{IN} may cause f_{OUT} to stop momentarily. A 47Ω resistor, in series with the $1 \mu F C_L$, is added to give hysteresis effect which helps the input comparator provide the excellent linearity (0.03% typical).

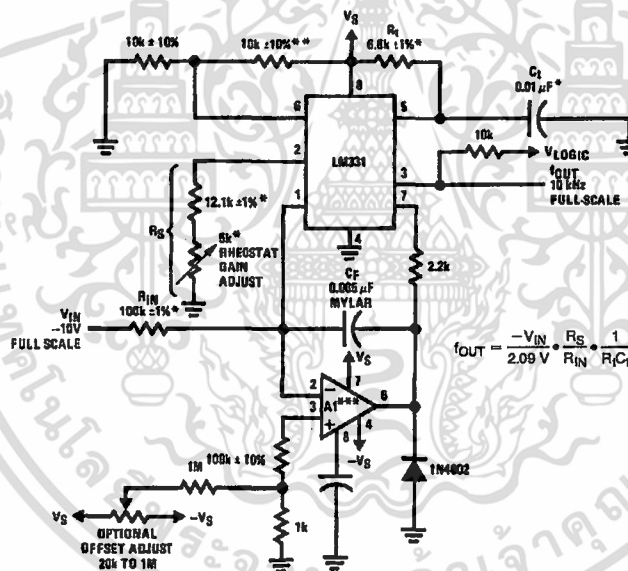
DETAIL OF OPERATION OF PRECISION V-TO-F CONVERTER (FIGURE 3)

In this circuit, integration is performed by using a conventional operational amplifier and feedback capacitor, C_F . When the integrator's output crosses the nominal threshold level at pin 6 of the LM131, the timing cycle is initiated.

The average current fed into the op amp's summing point (pin 2) is $i \times (1.1 R_T C_T) \times f$ which is perfectly balanced with $-V_{IN}/R_{IN}$. In this circuit, the voltage offset of the LM131 input comparator does not affect the offset or accuracy of the V-to-F converter as it does in the stand-alone V-to-F converter; nor does the LM131 bias current or offset current. Instead, the offset voltage and offset current of the operational amplifier are the only limits on how small the signal can be accurately converted. Since op amps with voltage offset well below 1 mV and offset currents well below 2 nA are available at low cost, this circuit is recommended for best accuracy for small signals. This circuit also responds immediately to any change of input signal (which a stand-alone circuit does not) so that the output frequency will be an accurate representation of V_{IN} , as quickly as 2 output pulses' spacing can be measured.

In the precision mode, excellent linearity is obtained because the current source (pin 1) is always at ground potential and that voltage does not vary with V_{IN} or f_{OUT} . (In the stand-alone V-to-F converter, a major cause of non-linearity is the output impedance at pin 1 which causes i to change as a function of V_{IN}).

The circuit of Figure 4 operates in the same way as Figure 3, but with the necessary changes for high speed operation.



TL/H/6680-5

*Use stable components with low temperature coefficients. See Typical Applications section.

**This resistor can be 5 k Ω or 10 k Ω for $V_S = 6V$ to $22V$, but must be 10 k Ω for $V_S = 4.5V$ to $6V$.

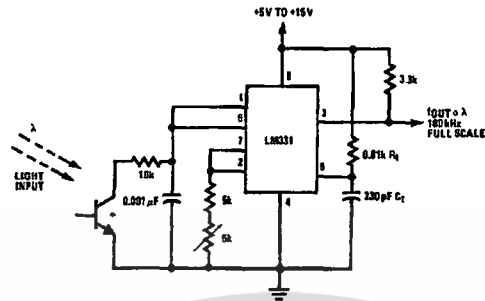
***Use low offset voltage and low offset current op amps for A1: recommended types LM108, LM308A, LF411A

FIGURE 3. Standard Test Circuit and Applications Circuit, Precision Voltage-to-Frequency Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

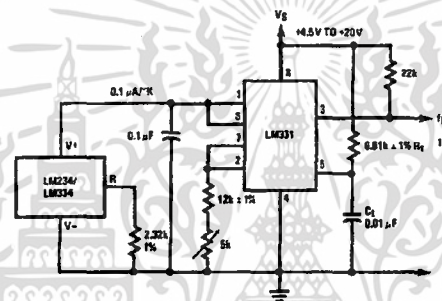
Light Intensity to Frequency Converter



TL/H/5680-9

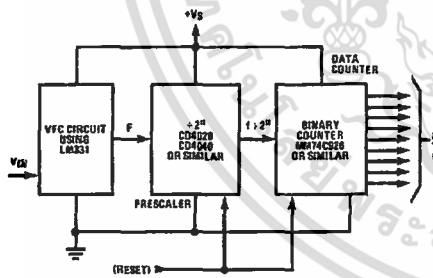
*L14F-1, L14G-1 or L14H-1, photo transistor (General Electric Co.) or similar

Temperature to Frequency Converter



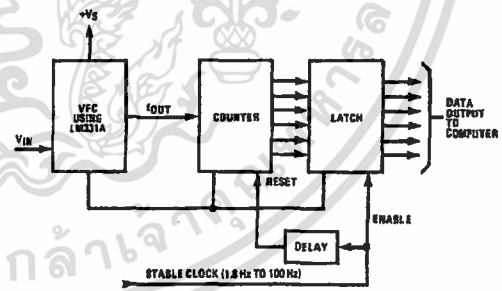
TL/H/5680-10

Long-Term Digital Integrator Using VFC



TL/H/5680-11

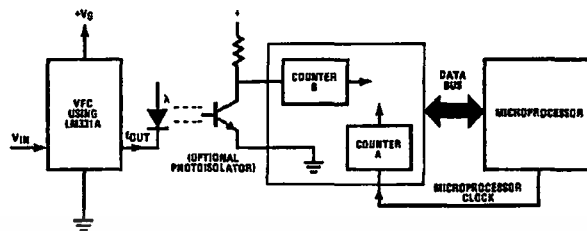
Basic Analog-to-Digital Converter Using Voltage-to-Frequency Converter



TL/H/5680-12

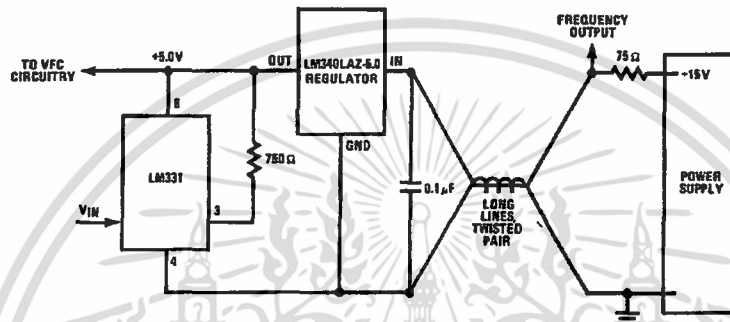
Typical Applications (Continued)

Analog-to-Digital Converter with Microprocessor



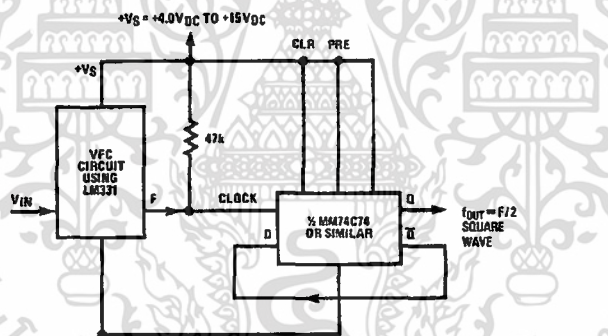
TL/H/6680-13

Remote Voltage-to-Frequency Converter with 2-Wire Transmitter and Receiver



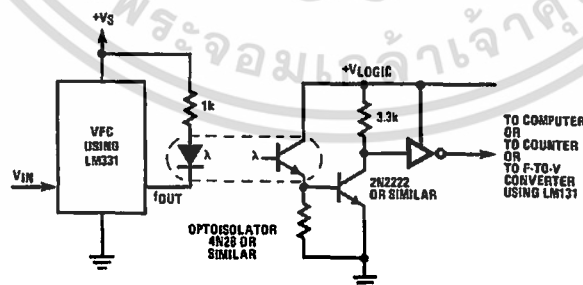
TL/H/6680-14

Voltage-to-Frequency Converter with Square-Wave Output Using ± 2 Flip-Flop



TL/H/6680-15

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators

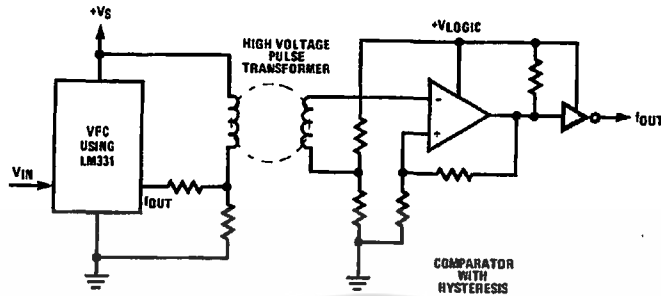


TL/H/6680-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

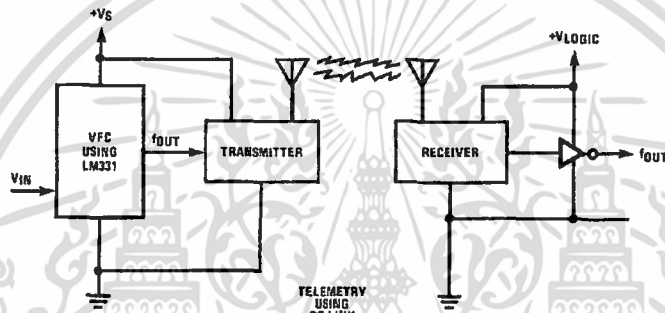
Typical Applications (Continued)

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



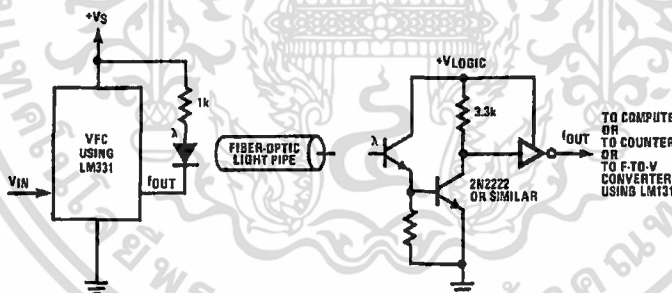
TL/H/6680-17

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



TL/H/6680-18

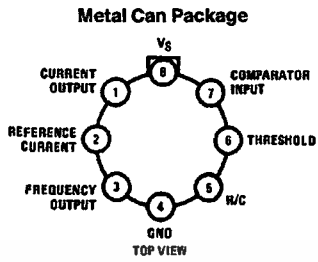
Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



TL/H/6680-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

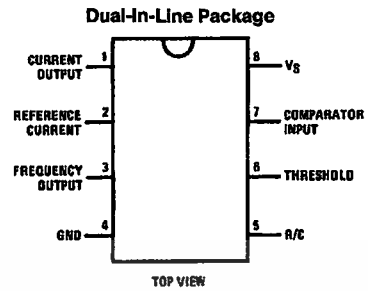
Connection Diagrams



Note: Metal case is connected to pin 4 (GND.)

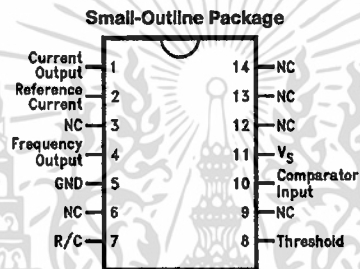
TL/H/5680-20

Order Number LM131H/883 or LM131AH/883
 See NS Package Number H08C



TL/H/6680-21

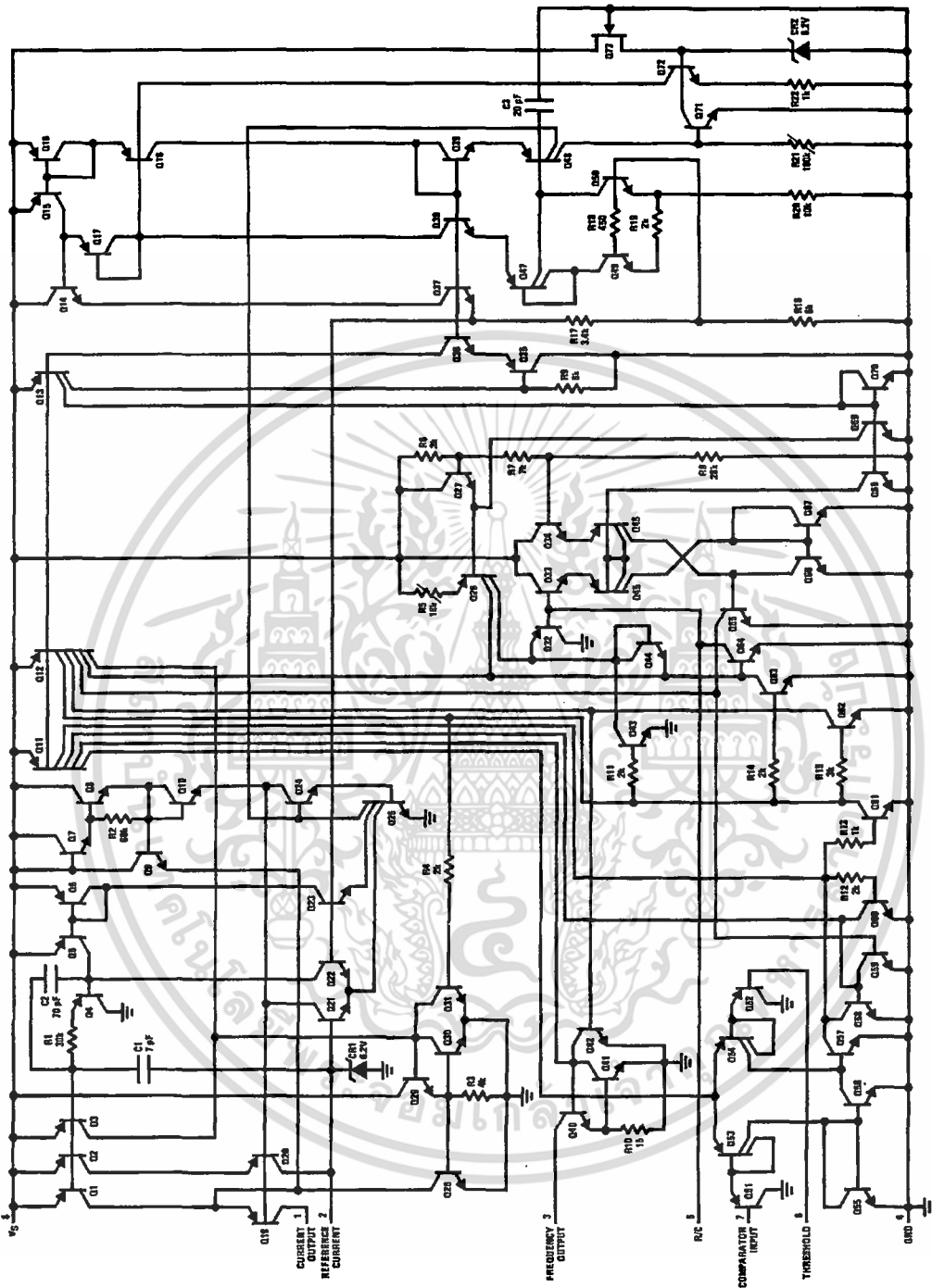
Order Number LM231AN, LM231N, LM331AN,
 or LM331N
 See NS Package Number N08E



TL/H/5680-24

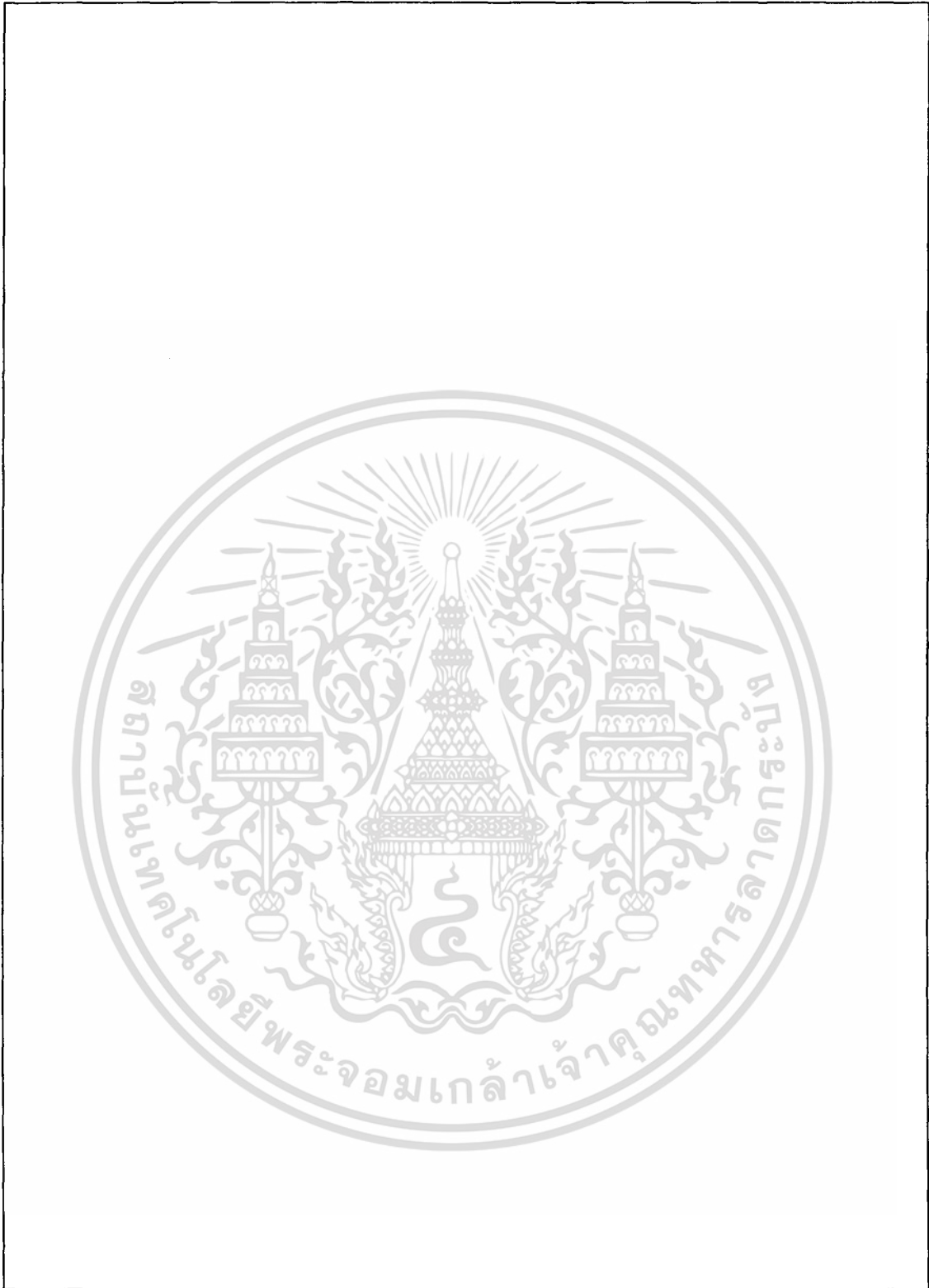
Order Number LM231WM
 See NS Package Number M 14B

Schematic Diagram



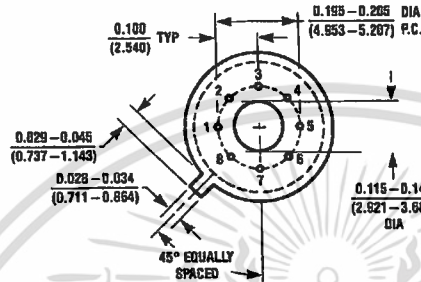
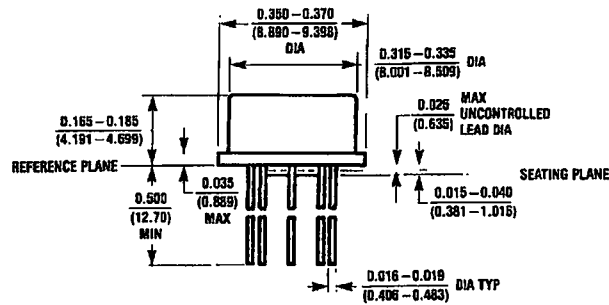
TL/H/5680-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

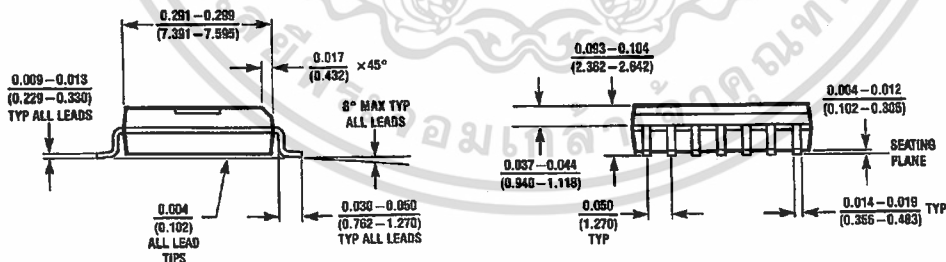
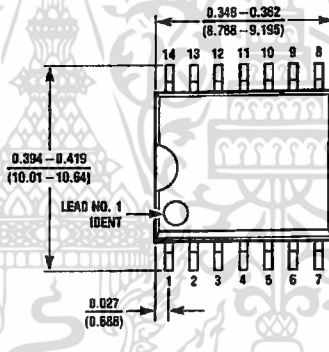


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)



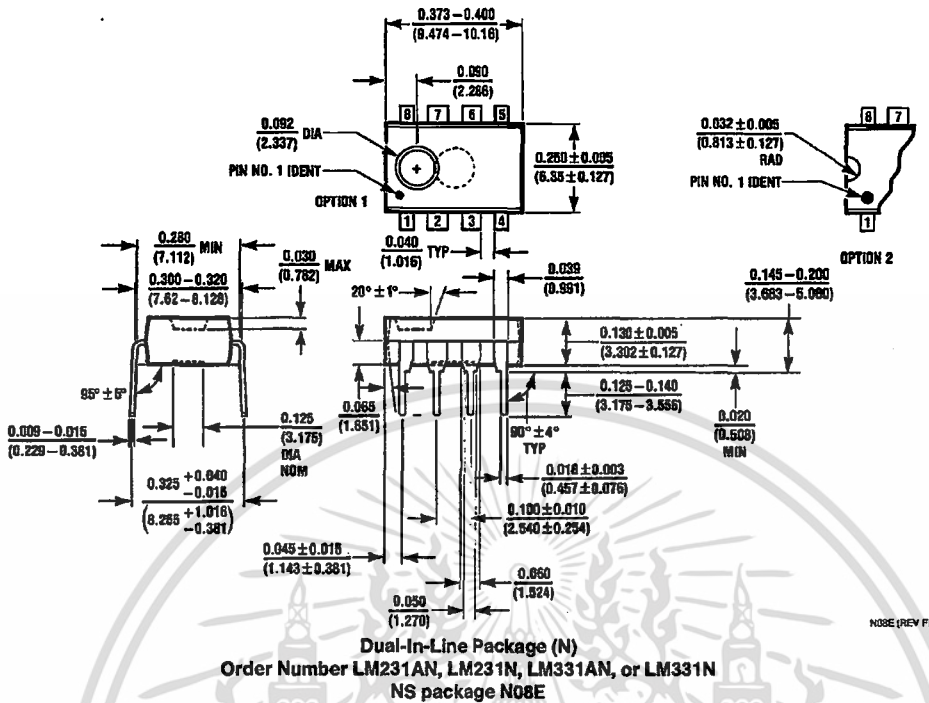
Metal Can Package (H)
Order Number LM131H/883 or LM131AH/883
NS Package H08C



14-Pin Small Outline Package (M)
Order Number LM231WM
NS Package M14B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9959
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (+49) 0-180-530 85 88
 Email: crjwgo@tevm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1600
 Fax: (852) 2736-9800

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Kenneth J. Ayala, **The 8051 Microcontroller : Architecture, Programming and Applications**, West Publishing Company, USA, 1991.
2. ประเมษฐ์ ประชนยานันท์, ปิยพงศ์ เผ่าวานิช, **คู่มือและการประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51**, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน).
3. David K. McDaniels, **The Sun**, pp. 87-102, John Wiley & Sons, New York, 1979.
4. Donald Rapp, **Solar Energy**, pp.19-37, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981.
5. Tomas Markvart, **Solar Electricity**, pp. 5-18, John Wiley & Sons, 1994
6. H. P. Garg and S. N. Garg, **Measurement of Solar Radiation-I : Radiation Instruments**, Renewable Energy Vol. 3, No. 4/5, pp. 321-333, 1993.
7. D. J. Norris, **Calibration of Pyranometers**, Solar Energy, Vol 14, pp. 99-108, Pergamon Press, 1973.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวณัฐนิชา ลามพิเชษฐ เกิดวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ.2518 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีมหาพฤฒาราม ในปี พ.ศ.2536 และได้ศึกษาต่อที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ.2540

นายวันชนะ ทองหั่งสาย เกิดวันที่ 21 มกราคม พ.ศ.2518 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสมุทรปราการ ในปี พ.ศ.2536 และได้ศึกษาต่อที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ.2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้