

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องมือวัดกำลังของแสง



นาย อนุรักษ์ คณาติยานนท์



โครงการพิเศษที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

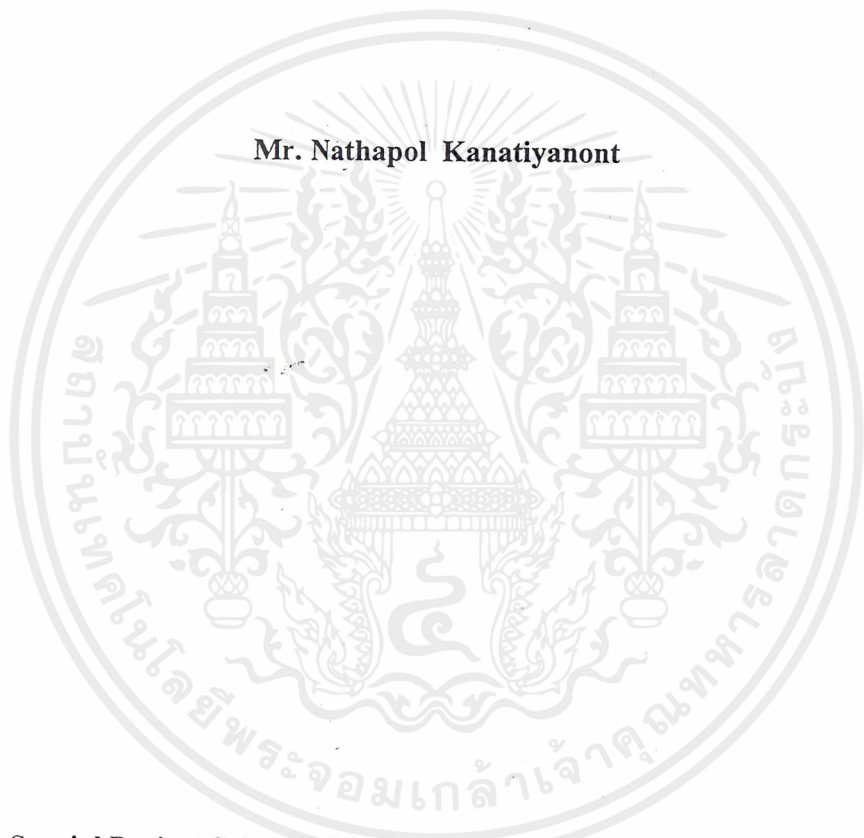
ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 38553
วัน, เดือน, ปี..... 5 ส.ค. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Solar Power Meter

Mr. Nathapol Kanatiyanont



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


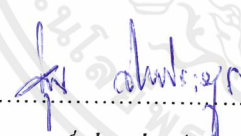
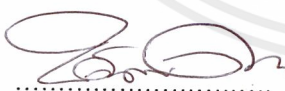

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ เครื่องมือวัดกำลังแสง
A Solar Power Meter
โดย นาย อนุรักษ์ กณาดิยานนท์ รหัส 39054417
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
อ. สุนัน อ่างประยูร

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(รศ. สุรพล รัถวิชัย)
คณะกรรมการโครงการพิเศษ

..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ สุนัน อ่างประยูร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ นิตาพร เกียรติไพศาลโณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องมือวัดกำลังของแสง
นักศึกษา	นาย ณัฐพล คณาติยานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล อ. สุนัน อ่างประยูร
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของโครงการนี้ก็คือเพื่อสร้างระบบที่ใช้ทำการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ ซึ่งระบบนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกได้แก่ ส่วนที่ใช้รับแสงอาทิตย์ซึ่งใช้แผงรับโซลาร์เซลล์เป็นตัวรับแสง ในส่วนที่สองได้แก่ ส่วนที่ใช้แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล โดยใช้ประกอบกับส่วนที่สามคือ ส่วนของการแสดงผล โดยจะใช้คอมพิวเตอร์ให้การแสดงผลออกที่จอภาพ ในส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์ จะทำการหันผิวหน้ารับแสงไปทางทิศเหนือ และทำมุมประมาณ 15° กับพื้น ซึ่งในการทำลองนี้เป็นการรับข้อมูลทางแสงตลอดทั้งวัน ตั้งแต่เวลาประมาณ 5.30 น. ถึงเวลาประมาณ 18.30 น. จากนั้นจะนำข้อมูลมาสร้างกราฟ ซึ่งก็จะได้กราฟที่มีรูปร่างที่ดี และสามารถเก็บไว้เป็นหลักฐานในการศึกษาขั้นต่อไป

Special Project Title **A Solar Power Meter**

Name **Mr. Nathapol Kanatayanont**

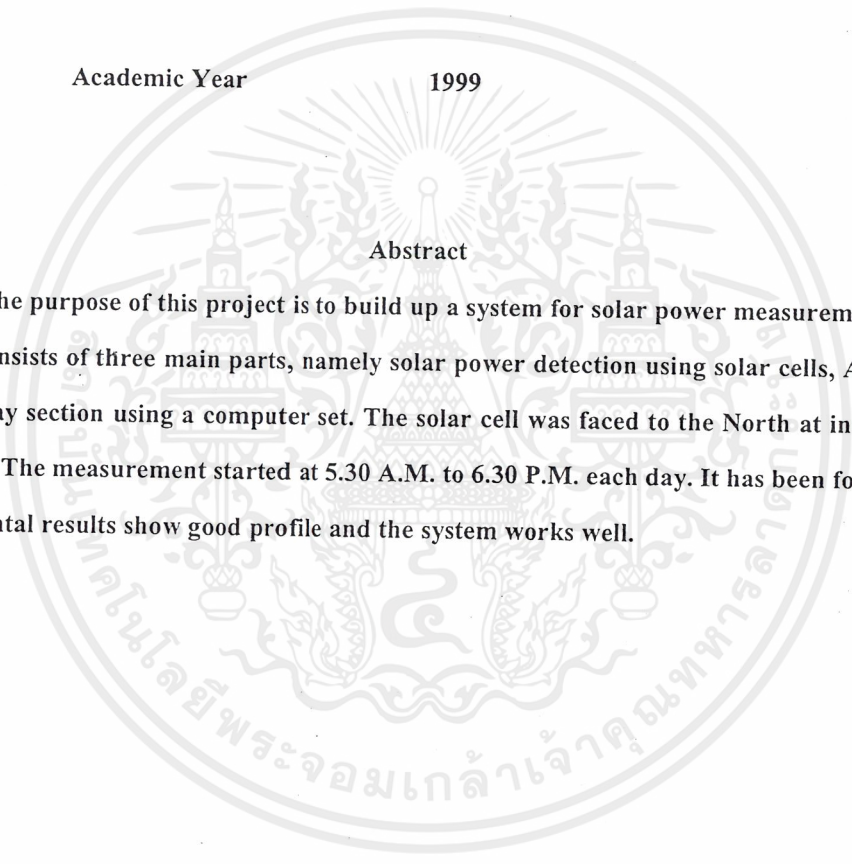
Special Project Advisor **Asst. Prof.Dr. Sirisak Techathawiekul**
Mr. Soon Changprayoon

Department **Applied Physics**

Academic Year **1999**

Abstract

The purpose of this project is to build up a system for solar power measurement. This system consists of three main parts, namely solar power detection using solar cells, A/D part, and display section using a computer set. The solar cell was faced to the North at inclination angle 15°. The measurement started at 5.30 A.M. to 6.30 P.M. each day. It has been found that experimental results show good profile and the system works well.



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้มีพระคุณที่ให้กำเนิด และอุปถัมภ์ค้ำจุนผมมาโดยตลอด

ผศ.ดร.ศรศักดิ์ เตชะทวีกุล และอ. สุนจ่างประยูร ที่คอยให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือทางด้าน

อุปกรณ์ทางการทดลอง

ดี และ โป้ง ที่คอยให้คำปรึกษาทางคอมพิวเตอร์

และสุดท้ายขอขอบคุณทุกๆ คนที่เกี่ยวข้อง และคอยให้แรงใจกับผมมาโดยตลอด.....ขอบคุณมากครับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1	บทนำ
บทที่ 2	เรขาคณิตเชิงแสง
	2.1 การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์
	2.2 มุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียง
	2.3 ผลกระทบจากความโน้มเอียงในแนวระดับ
บทที่ 3	ความเข้มของแสง
	3.1 สเปกตรัมของแสงและความเข้มของแสงเหนือชั้นบรรยากาศ
	3.2 ความเข้มของแสง ณ ระดับปกติของโลก
	3.3 ทิศทางและการแพร่กระจายของแสง
	3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการแยกตัวในแนวราบ และความโน้มเอียงของพื้นผิว
บทที่ 4	การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล
	4.1 วงจร A/D แบบสัญญาณลาดเอียง
	4.2 วงจร A/D แบบแฟรช
	4.3 วงจรรวมเบอร์ ADC 0804
บทที่ 5	โปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อ
	5.1 รายละเอียดในส่วนของการเขียนโปรแกรมภาษาซี
	5.2 รายละเอียดในส่วนของการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก
	5.2.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม
บทที่ 6	สรุปผลการทดลอง
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มแสงภายนอกโลกบนพื้นผิวปกติของดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 21 ของทุกเดือน	11
ตารางที่ 4.1 ตารางกำหนดค่าความแยกชัด	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์	2
รูปที่ 2.2 มุมของแสงที่เกิดจากการโน้มเอียง	3
รูปที่ 2.3 ทิศทางการคำนวณมุมของแสงที่เกิดจากการโน้มเอียง	4
รูปที่ 2.4 มุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียงระหว่างวันในรอบปี	5
รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบของความโน้มเอียงของเส้นแแกนในแนวราบ ณ จุดที่ต่ำกว่าเส้นละติจูด	6
รูปที่ 2.6 ผลกระทบของความโน้มเอียงบนพื้นผิวทางใต้	7
รูปที่ 2.7 ความแตกต่างของมุม θ_n และ ϕ_n ในวันที่ 21 มค. ณ จุดละติจูด 32° เหนือ เปรียบเทียบกับความโน้มเอียงของมุม T	8
รูปที่ 2.8 แผนภาพที่กำหนดมุม θ ระหว่างเส้นของแสงและความโน้มเอียงของผิว	8
รูปที่ 2.9 ส่วนต่างๆ ที่ปรากฏจากการสังเกต ที่จุด O ณ เส้นละติจูดที่แตกต่างกัน และฤดูกาลต่างๆ	9
รูปที่ 3.1 การกระจายสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่ระดับพื้นดิน	10
รูปที่ 3.2 ความเข้มของแสง ณ เดือนต่างๆ	11
รูปที่ 3.3 ค่าแสงภายนอกโลกบนพื้นผิวของเส้นขนานในแนวราบ	13
รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของแสงที่มวลอากาศต่างๆ	14
รูปที่ 3.5 ความเข้มแสงปกติในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสในฤดูร้อน และฤดูหนาว	16
รูปที่ 3.6 การแปรผันของ ส.ป.ส. เฉลี่ยของแสงที่ความหนาแน่นอากาศต่างๆ	18
รูปที่ 4.1 แผนภาพกรอบของวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 4 บิต	21
รูปที่ 4.2 แผนภาพกรอบแสดงส่วนประกอบของวงจร A/D แบบสัญญาณลาดเอียงขนาด 4 บิต	22
รูปที่ 4.3 แผนภาพกรอบของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	22
รูปที่ 4.4 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้อปแอมป์	23
รูปที่ 4.5 แผนภาพกรอบดิจิตอลโวลต์มิเตอร์	24
รูปที่ 4.6 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์แสดงผลด้วยตัวเลข 7 ส่วน 1 หลัก	24

รูป	หน้า
รูปที่ 4.7 วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 3 บิต แบบแฟรช และตารางการทำงานของวงจร	27
รูปที่ 4.8 วงจรขยายแบบสุ่มและเก็บค่า	29
รูปที่ 4.9 การจัดวางขาวงจรรวมเบอร์ ADC 0804	29
รูปที่ 4.10 แสดงการต่อ ADC 0804 กับระบบไมโครโพรเซสเซอร์และไดอะแกรมเวลา แสดงการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล	31
รูปที่ 4.10 (ต่อ)	32
รูปที่ 4.11 วงจรการทดสอบ ADC0804 ทำหน้าที่เป็นตัวแปลง A/D	33
รูปที่ 4.12 วงจรการวัดแสงด้วย ADC0804	34
รูปที่ 4.13 วงจรวัดแสงที่แสดงผลด้วยตัวเลข 7 ส่วน อ่านค่าทุก 1 วินาที	35
รูปที่ 5.1 แสดงเมนูเริ่มต้นของโปรแกรม	37
รูปที่ 5.2 แสดงหน้าต่างที่ทำการแสดงกราฟแรงดันกับเวลา	37
รูปที่ 5.3 แสดงหน้าต่างที่ทำการแสดงข้อมูลที่เก็บไว้ก่อนหน้า	38
รูปที่ 5.4 แสดงหน้าต่างที่แสดงการยืนยันเพื่อออกจากโปรแกรม	39
รูปที่ 5.5 แสดงวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับคอมพิวเตอร์	39
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงข้อมูลระหว่างแรงดันกับเวลาในวันที่ 25 มีค. พ.ศ. 2543	40
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงข้อมูลระหว่างแรงดันกับเวลาในวันที่ 28 มีค. พ.ศ. 2543	40

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา มีแนวโน้มที่จะมีความต้องการที่จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นความต้องการพลังงานพื้นฐาน ได้แก่ ความร้อน และแสงสว่าง และความต้องการพลังงานในรูปกระแสไฟฟ้า ตลอดจนผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมซึ่งต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับ ค่าน้ำมันโลกที่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเราจึงต้องการลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งขณะเดียวกันก็ส่งเสริมการค้นคว้าวิจัย พลังงานทดแทนอื่นๆ อย่างจริงจัง ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญของมนุษย์ จึงมีการค้นคว้าหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานเคมี เพื่อใช้ให้เป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ พลังงานแสงอาทิตย์มักอยู่ในลักษณะเงาจาก กระจาด กระจาย และไม่แน่นอน การที่จะได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละตำแหน่งจะได้น้อยแตกต่างกัน จึงต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการดักจับพลังงานเหล่านี้ ให้ได้มากที่สุดในแต่ละวัน ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามความยาวคลื่น คือ ชนิดความยาวคลื่นสั้น ได้แก่ รังสีตรง และตามความยาวคลื่นยาว ได้แก่ รังสีกระจาย ดังนั้นข้อมูลแสงอาทิตย์ที่ละเอียด และถูกต้องจึงจำเป็นมาก เพราะจะทำให้วิเคราะห์ และประเมินศักยภาพการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานรูปแบบต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทิศทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษา และทำการเก็บข้อมูลที่เป็นแรงดันของแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน
3. ศึกษา และทดลองวงจร และ Solar Cell ในการเก็บข้อมูล
4. ทำความเข้าใจ กับ โปรแกรมที่ใช้ปฏิบัติการกับ วงจรที่ออกแบบได้

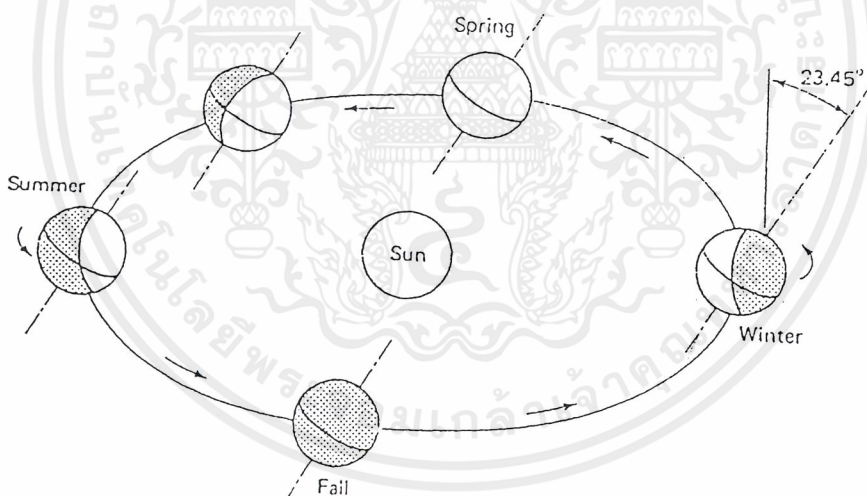
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เรขาคณิตเชิงแสง(Solar Geometry)

2.1 การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์(Motion of the Earth About the Sun)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโลกโดยประมาณ 7,900 ไมล์ (12,700 กม.) ซึ่งวัดด้วยกล้องขยายกำลังสูง โลกมีการหมุนรอบตัวเองโดยใช้เวลา 24 ชม. และใช้เวลาในการหมุนรอบดวงอาทิตย์ โดยสมบูรณ์เฉลี่ย 365.25 วัน โลกเคลื่อนที่ที่รอบดวงอาทิตย์เป็นลักษณะวงรี โดยมีดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลาง ซึ่งระยะที่วัดได้โดยลากเส้น \perp กับเส้นระดับนี้ทำให้โลกมีระยะใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด ในวันที่ 1 มกราคม และมีระยะห่างไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ในวันที่ 1 กรกฎาคม ซึ่งระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์กับโลกในเดือนมกราคมมีเพียง 3.3% เท่านั้น แต่ความเข้มของแสงจะเป็นส่วนกลับกับระยะห่างนี้ โดยความเข้มของแสงในเดือนมกราคมจะสูงกว่าเดือนกรกฎาคม ประมาณ 7% ส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของโลกในการหมุนรอบมีความโน้มเอียงที่ระดับ 23.45° ของการหมุนในแนวราบของดวงอาทิตย์ ซึ่งระดับความโน้มเอียงในการหมุนรอบนี้เองเป็นสาเหตุให้เกิดฤดูกาลต่างๆขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์

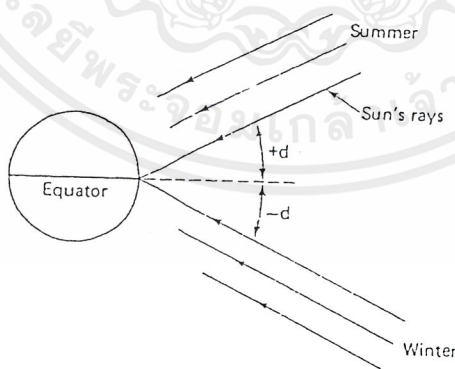
จากภาพเส้นผ่าศูนย์กลางของโลกที่ลากผ่านในแนวตั้ง ณ ระดับความโน้มเอียง 23.45° ของการหมุนในแนวราบ เมื่อถึงฤดูหนาวทางซีกโลกเหนือ ส่วนบนของเส้นผ่าศูนย์กลางจะบ่ายเบนออกจากดวงอาทิตย์ และเมื่อถึงฤดูร้อนทางซีกโลกเหนือ ส่วนบนของเส้นผ่าศูนย์กลางจะบ่ายเบนเข้าหาดวงอาทิตย์ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

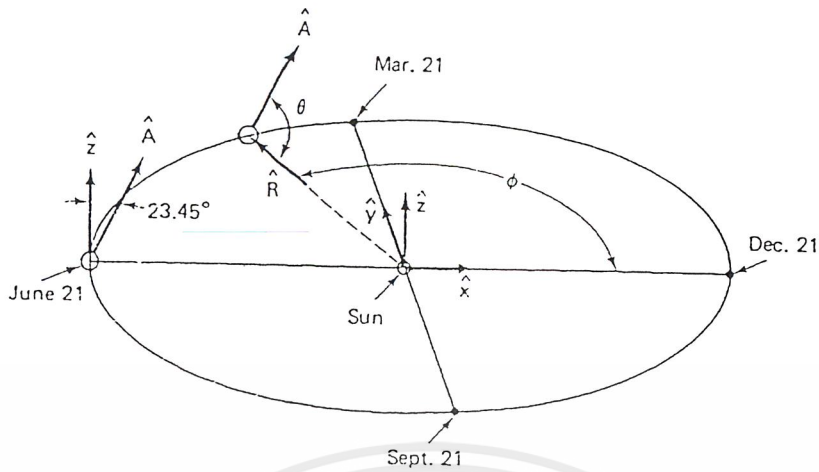
เฉพาะ วันที่ 21 มิถุนายน และวันที่ 21 ธันวาคม ความโน้มเอียงของเส้นผ่าศูนย์กลางจะมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ แต่ในวันที่ 21 มิถุนายน และวันที่ 21 กันยายน ความโน้มเอียงของเส้นผ่าศูนย์กลางจะมีความบ่่ายเบนจากความเป็นจริงมาก และในทางตรงกันข้าม ฤดูกาลของทางซีกโลกใต้จะผกผันกับทางซีกโลกเหนือ โดยที่ฤดูหนาวจะเกิดขึ้นทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร และฤดูร้อนจะเกิดขึ้นทางเหนือของเส้นศูนย์สูตร และเมื่อขณะที่โลกอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุด ฤดูหนาวทางซีกโลกเหนือ (และฤดูร้อนทางซีกโลกใต้) จะมีความแตกต่างของฤดูกาล โดยอุณหภูมิระหว่างฤดูหนาวและฤดูร้อนจะแตกต่างกันมาก โดยทางซีกโลกใต้มีความแตกต่างของอุณหภูมิมากกว่าทางซีกโลกเหนือ

2.2 มุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียง(Angle of Declination)

ในการอธิบายครั้งนี้จะจำกัดเพียงแต่ทางซีกโลกเหนือเท่านั้น แต่สามารถนำไปอธิบายทางซีกโลกใต้ได้เช่นกัน เมื่อตำแหน่งของพระอาทิตย์ที่ปรากฏ โดยการสังเกตจากบนพื้นผิวของโลก ทำให้ทราบว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรงมาจากทางด้านบนในแนวคิ่ง (หรือด้านล่าง) ในแถบเส้นศูนย์สูตรหรือในเขตร้อน ในช่วงฤดูร้อน (ฤดูหนาว) แสงจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวันมีตำแหน่งที่แน่นอนซึ่งกำหนดได้จากเวลา เมื่อแสงที่เกิดจากจุดศูนย์กลางของโลกผ่านไปยังดวงอาทิตย์และไปยังเส้นแวง ซึ่งสามารถทำให้กำหนดตำแหน่งของแสงได้แน่นอน มุมของรังสีตกกระทบกับเส้นศูนย์สูตรในเวลากลางวัน เรียกว่า “มุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียง” (angle of declination) โดยที่มุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียง จะเปลี่ยนแปลงจากระดับ 23.45° ในวันที่ 21 มิถุนายน เป็นระดับ 0° ในวันที่ 21 กันยายน และเปลี่ยนแปลงจากระดับ 23.45° ในวันที่ 21 ธันวาคม เป็นระดับ 0° ในวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นในสภาพของอากาศในฤดูหนาวและฤดูร้อน ดังรูปภาพที่ 2.2



รูปที่ 2.2 มุมของแสงที่เกิดจากการโน้มเอียง



รูปที่ 2.3 ทิศทางในการคำนวณมุมของแสงที่เกิดจากการโน้มเอียง

แบบจำลองสำหรับการคำนวณมุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียงในช่วงวันต่างๆในรอบปี โดยพิจารณาจากแผนภาพในรูปที่ 2.3 เส้นคาร์ทีเซียน x, y, z คือเส้นที่เกิดจากสมมติ โดยกำหนดให้เป็นจุดร่วมของระบบ โดยการกำหนดจากทิศทางของ x และ y ในการหมุนในแนวราบ และทิศทางของ z ในการ \perp ของการหมุนในแนวราบ และเวกเตอร์ x, y, z, \hat{A} และ \hat{R} มีความยาวเท่ากับ 1 หน่วย โดยที่เวกเตอร์ \hat{A} มีจุดของเส้นผ่านศูนย์กลางจากทางเหนือสู่ทางใต้ (แนวตั้ง) และเวกเตอร์ \hat{R} อยู่ในแนวระดับของการหมุนของดวงอาทิตย์ และมุม θ เป็นมุมระหว่าง \hat{R} และ \hat{A} และมุม ϕ อยู่ในแนวระดับของการหมุนของแต่ละวันในรอบปี

กำหนดให้จำนวนวันใน 1 ปี เท่ากับ D_s โดย $D_s = 1$ ในวันที่ 21 มกราคม และ $D_s = 365$ ในวันที่ 20 ธันวาคม และ $\phi = 180^\circ$ ที่ 182.6 วัน ดังสมการ

$$\phi = (D_s - 1) \frac{180}{182.6} (\text{degrees}) \quad (2.1)$$

เวกเตอร์ \hat{R} เกิดจากเวกเตอร์ x และ y ดังสมการ

$$\hat{R} = (\cos \phi) \hat{x} + (\sin \phi) \hat{y} \quad (2.2)$$

เวกเตอร์ \hat{A} เกิดจากไม่มีเวกเตอร์ใดๆอยู่ในตำแหน่ง ณ วันที่ 21 มิถุนายน ดังสมการ

$$\hat{A} = \cos(23.45^\circ) \hat{z} + \sin(23.45^\circ) \hat{x} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียงเป็นมุมที่เกิดจากรังสีตกกระทบกับเส้นศูนย์สูตร เมื่อเวกเตอร์ $\hat{A} \perp$ กับเส้นศูนย์สูตร จึงเกิดมุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียง คือ

$$d = 90^\circ - \theta \quad (2.4)$$

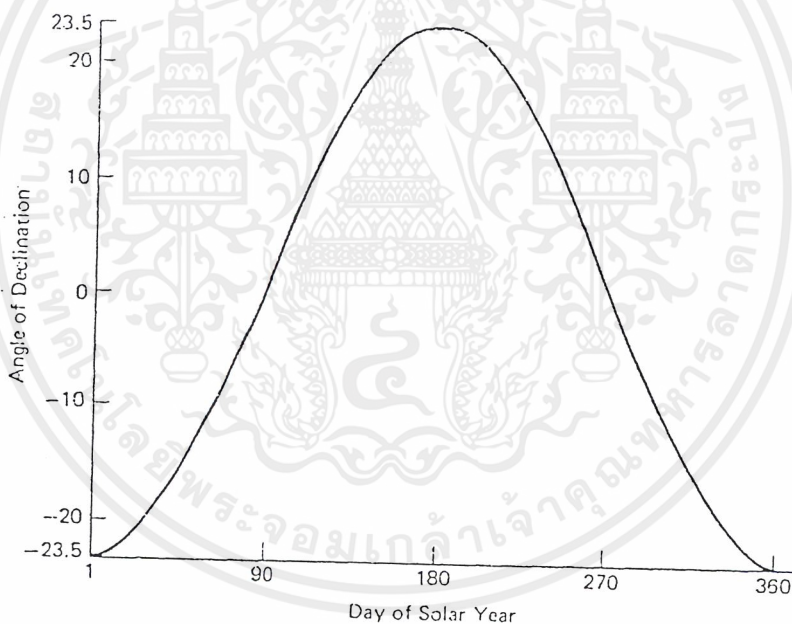
มุม θ สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\cos \theta = -\hat{R} \cdot \hat{A} = \cos \phi \sin(23.45^\circ) \quad (2.5)$$

จากการรวมสมการ 2.1, 2.4 และ 2.5 ปรากฏผลดังนี้

$$\sin d = -\cos(D_s - 1) \frac{180}{182.6} \sin(23.45^\circ) \quad (2.6)$$

ซึ่งผลจากการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.4



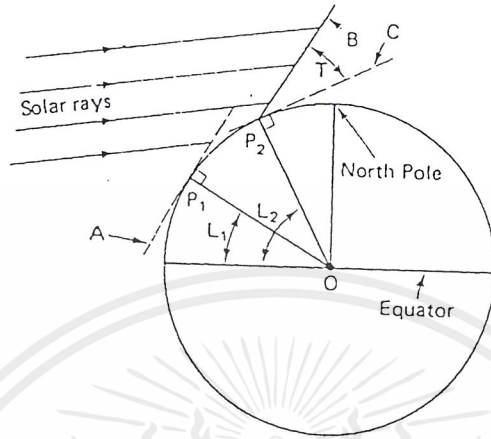
รูปที่ 2.4 มุมของแสงที่เกิดจากความโน้มเอียงระหว่างวันในรอบปี

2.3 ผลกระทบจากความโน้มเอียงในแนวระดับ (Effect of Tilting the Reference Plane)

ดวงอาทิตย์มีตำแหน่งอยู่ห่างไกล โดยสมมติให้แสงจากดวงอาทิตย์ที่สาตส่องมาถึงพื้นโลก มีลักษณะเป็นเส้นขนานและมีตำแหน่งที่เป็นอิสระ ส่งผลให้ความโน้มเอียงของพื้นผิวทั้ง 2 พื้นผิว ในมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกันมีความสัมพันธ์กับเส้นแสงที่จุดศูนย์กลางของโลกและดวงอาทิตย์ โดยสมมติให้มุม θ และมุม ϕ เป็นมุมเดียวกัน พิจารณาจากแผนภาพ 2.5 เส้นขนานในแนวราบ A สัมผัสกับพื้นผิวที่จุด P_1 ณ ตำแหน่งละติจูดที่ L_1°

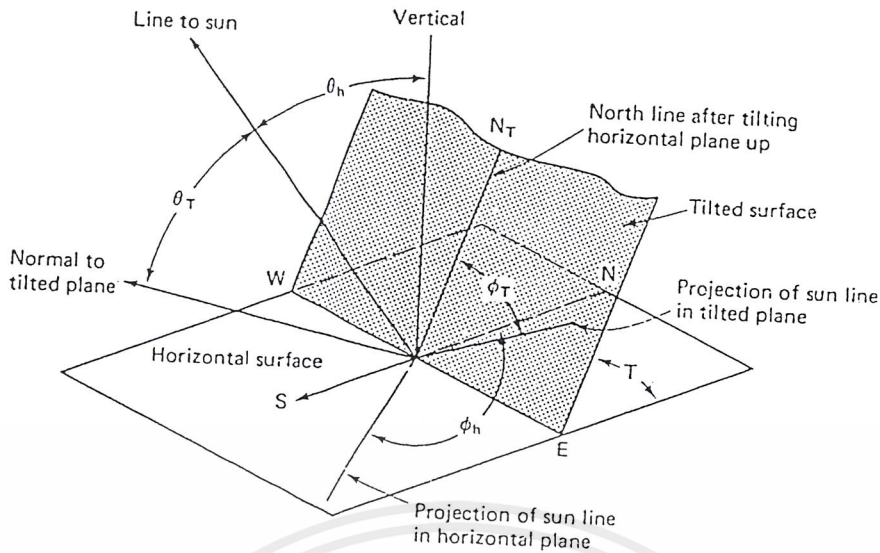


รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบของความโน้มเอียงของเส้นแแกนในแนวราบ ณ จุดที่ต่ำกว่าเส้นละติจูด

ณ ตำแหน่งละติจูดที่สูงกว่า L_2° เส้นขนานในแนวราบ C สัมผัสกับพื้นผิว ณ จุด P_2 ซึ่งความโน้มเอียงของพื้นผิว B เกิดจากความเอียงเพิ่มขึ้นของเส้นขนานในแนวราบ ซึ่งมีมุมเท่ากับ T เมื่อกำหนดให้ T มีค่ามุมตกกระทบเท่ากับ $L_2 - L_1$ ทำให้แสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบที่พื้นผิว B และในมุมเดียวกันลักษณะของพื้น A จะเป็นเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ความโน้มเอียง ณ มุมละติจูด ทำให้พื้นผิวโลก ณ จุดสัมผัสมีความคล้ายคลึงกับเส้นขนานในแนวราบ ณ จุดเส้นศูนย์สูตรของโลก ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความโน้มเอียงของพื้นผิว ณ จุดเส้นละติจูด และเส้นขนานในแนวราบ ณ จุดเส้นศูนย์สูตรเช่นเดียวกันด้วยแสงที่ตกกระทบใน 2 ลักษณะ ซึ่งดวงอาทิตย์มีลักษณะของมุมตกกระทบเช่นเดียวกับโลกเช่นกัน ฉะนั้นความโน้มเอียงของพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงระยะห่างที่มีความเท่ากันของพื้นผิวเส้นขนานในแนวราบ ณ ละติจูดที่ตกกระทบ L-T ดังนั้นถ้ากำหนดให้มุมที่ตกกระทบมีลักษณะเช่นเดียวกับภาพที่ 2.6 ดังสมการ

$$\cos \theta_T = \cos(L - T) \cos d \cos h + \sin(L - T) \sin d \tag{2.7}$$

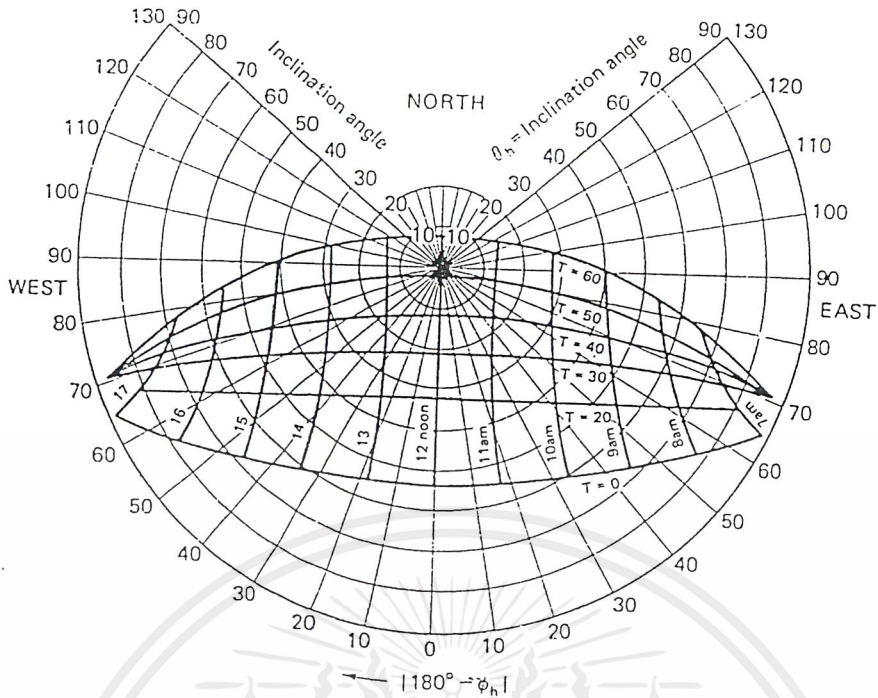
$$\cos \phi_T = \frac{\sin d - \sin(L - T) \cos \theta_T}{\cos(L - T) \sin \theta_T} \tag{2.8}$$



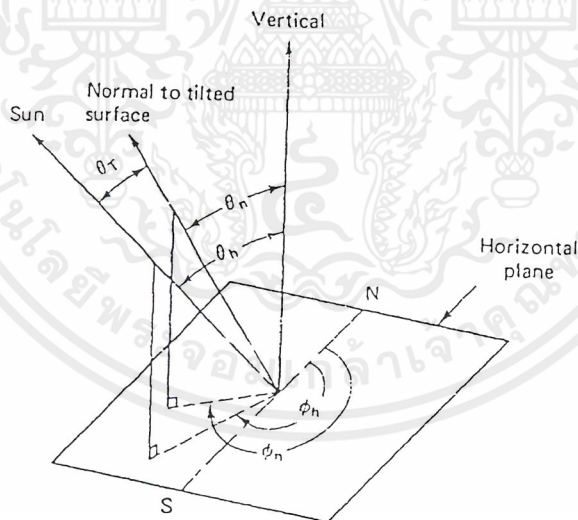
รูปที่ 2.6 ผลกระทบของความโน้มเอียงบนพื้นผิวทางใต้

ความโน้มเอียงในแนวราบมีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากบนพื้นผิวที่กว้างของพื้นโลกมีความเป็นปกติมากกว่าพื้นผิวในแนวราบของดวงอาทิตย์ แผ่นสะสมพลังงานความร้อน ณ เส้นละติจูด สามารถรับแสงจากดวงอาทิตย์ได้เท่ากับพื้นผิวในแนวราบ ณ เส้นศูนย์สูตรในมุมเดียวกัน ผลกระทบของความโน้มเอียงบนพื้นผิว ณ มุม θ_T และ ϕ_T ในวันที่ 21 มกราคม ที่จุด $L = 32^\circ$ เหนือ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ให้เห็นว่าความโน้มเอียง ณ มุม 53° ทำให้เส้นแสงจากดวงอาทิตย์มีความสำคัญอย่างมากในเวลากลางวัน

ความโน้มเอียงของพื้นผิวโดยทั่วไป บางครั้งในทางปฏิบัติโดยทั่วไปแล้วเส้นขนานในแนวตั้งและแนวนอนจะเพิ่มขึ้นไม่พร้อมกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ความโน้มเอียงที่แท้จริงในแนวราบจะไม่ปรากฏ แต่ความโน้มเอียงที่เกิดขึ้นปกติในแนวราบจะปรากฏ และสามารถกำหนดให้เส้นละติจูดของความโน้มเอียงในแนวราบให้เกิดขึ้นได้เช่นกัน โดยปกติแล้วสามารถอธิบายด้วยมุมของขั้วโลก θ_h และ ϕ_h ที่มีความสัมพันธ์กันกับเส้นขนานในแนวราบ เส้นแสงของดวงอาทิตย์สามารถอธิบายด้วยมุม θ_h และ ϕ_h ที่มีความสัมพันธ์กับเส้นขนานในแนวราบเช่นกัน นอกจากนี้ทฤษฎีการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต อธิบายได้ว่ามุมตกกระทบของ $\cos \theta_T$ ระหว่างเส้นแสงของดวงอาทิตย์และความโน้มเอียงของพื้นผิว

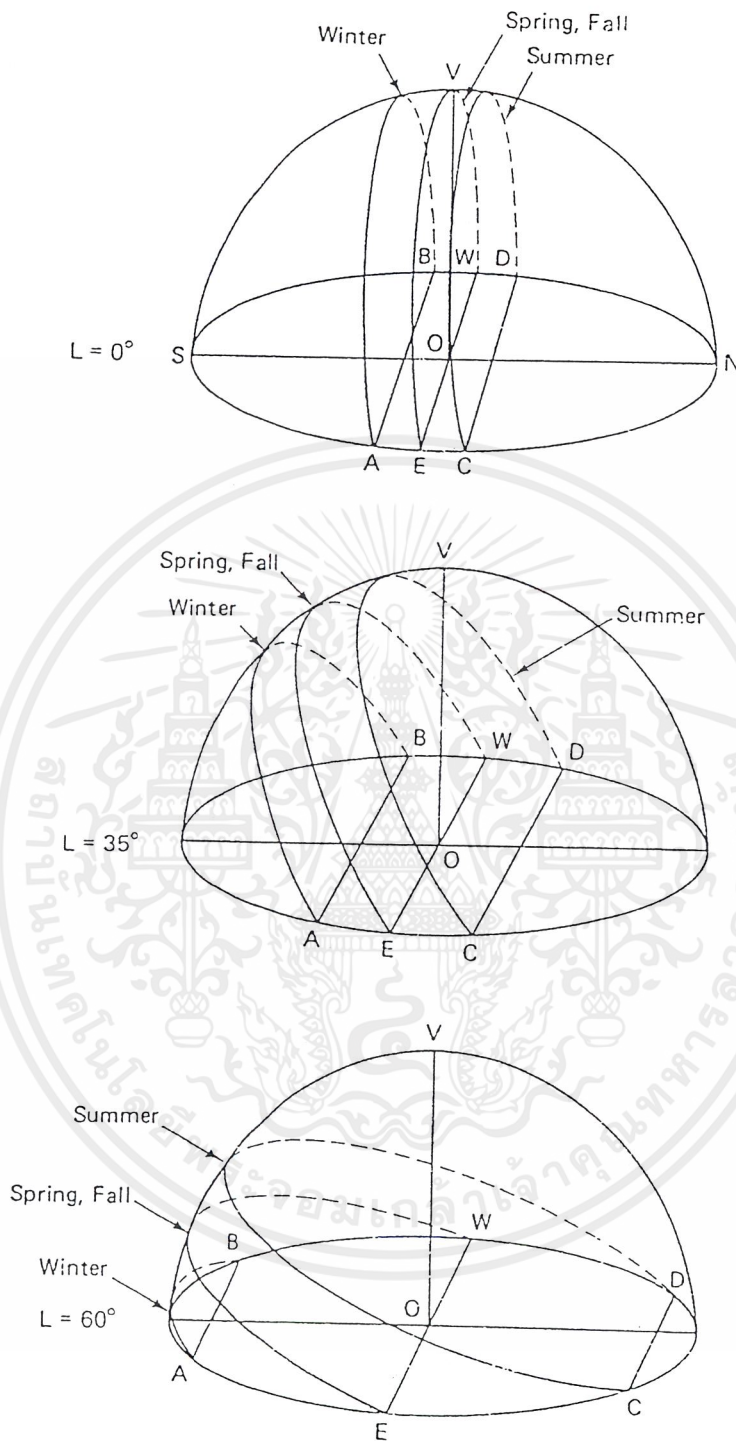


รูปที่ 2.7 ความแตกต่างของมุม θ_h และ ϕ_h ในวันที่ 21 มค. ณ จุดละติจูด 32° เหนือ เปรียบเทียบกับ ความโน้มเอียงของมุม T



รูปที่ 2.8 แผนภาพที่กำหนดมุม θ_t ระหว่างเส้นของแสงและความโน้มเอียงของผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ส่วนต่างๆ ที่ปรากฏจากวารสังเขต ที่จุด O ณ เส้นละติจูดที่แตกต่างกัน และฤดูกาลต่างๆ

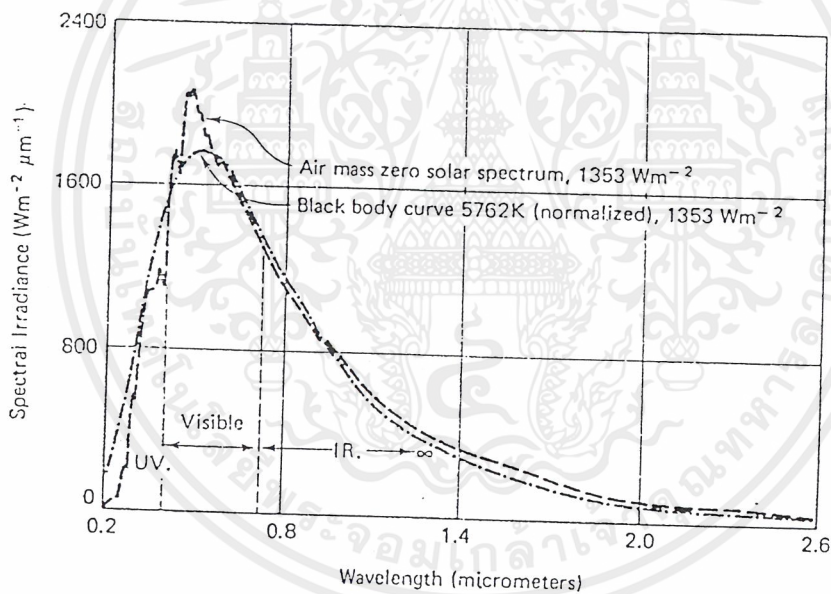
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ความเข้มของแสง (Solar Intensities)

3.1 สเปกตรัมของแสงและความเข้มของแสงเหนือชั้นบรรยากาศ (Solar Spectrum and Intensities above the Atmosphere)

การปลดปล่อยพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของรังสีอิเล็กตรอนให้กระจายเหนือช่วงความยาวคลื่นแสง โดยมีความยาวคลื่นแสงช่วงสั้น ประมาณ $0.4 \mu\text{m}$ (ไมโครมิเตอร์) เมื่อเปรียบเทียบกับรังสีอินฟราเรด และมีความยาวคลื่นแสงช่วงยาว ประมาณ $0.7 \mu\text{m}$ (ไมโครมิเตอร์) เมื่อเปรียบเทียบกับรังสีอินฟราเรด Rocket and satellite borne เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสงเหนือชั้นบรรยากาศโลก ผลปรากฏแสดงในรูปที่ 3.1

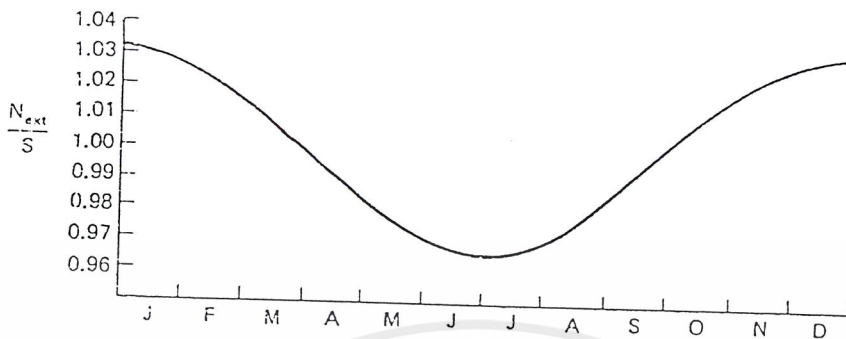


รูปที่ 3.1 การกระจายสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่ระดับพื้นดิน

จากภาพการสังเกตการฉายแสงแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบระหว่างแสงที่เกิดจากความคาดหมายความสมบูรณ์ของ black body ณ ระดับ $5,489^{\circ}\text{C}$ ($5,792^{\circ}\text{K}$) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ณ ระดับความยาวคลื่นแสงช่วงยาว ระดับพื้นที่เหนือเส้นกราฟในรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงพลังงานแสงอาทิตย์ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ ที่ตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงบนพื้นผิวปกติของเส้นแสงเหนือชั้นบรรยากาศ ความแตกต่างของความเข้มแสงในแต่ละวันในรอบปี มีสาเหตุเนื่องมาจากระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ความเข้มของแสง ณ เดือนต่างๆ

ความคงที่ของแสงถูกกำหนดจากความเข้มแสงภายนอกโลก ณ จุดที่ระยะห่างโดยเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์มายังโลก ค่าที่ยอมรับสำหรับความคงที่ของแสงในทุกๆปี มีค่าเท่ากับ $1,353 \text{ W/m}^2$ จากการทดสอบที่ผ่านมาเมื่อเร็วๆนี้แสดงให้เห็นว่าค่าที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ $1,337 \text{ W/m}^2$ โดยถือได้ว่าเป็นค่าที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบัน ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์มีค่าน้อยที่สุด ณ วันที่ 2 มกราคม และมีระยะห่างมากที่สุด ณ วันที่ 2 กรกฎาคม จากการคำนวณค่าความเข้มแสงภายนอกโลกบนพื้นผิวปกติของดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 21 ของทุกๆเดือน ปรากฏผลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มแสงภายนอกโลกบนพื้นผิวปกติของดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 21 ของทุกเดือน

Month	Watts/meter ²	Btu/hr-ft ²
January	1422	450.9
February	1401	446.7
March	1387	439.8
April	1364	432.3
May	1344	426.0
June	1333	422.8
July	1334	423.0
August	1345	426.6
September	1367	433.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Month	Watts/meter ²	Btu/hr-ft ²
October	1390	440.6
November	1411	447.4
December	1423	451.2

จากเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถอธิบายการคำนวณค่าความเข้มของแสงภายนอกโลก บนพื้นผิวปกติของดวงอาทิตย์ทุกๆ 1 วัน กำหนดให้ S คือ ค่าความคงที่ของแสง โดยมีข้อจำกัดว่าเป็น ความเข้มของแสงปกติของดวงอาทิตย์ เมื่อโลกมีระยะห่างโดยเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์เท่ากับ r ดังนั้นแสง ภายนอกโลกที่ไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ของวันต่างๆที่กำหนดไว้ คำนวณได้จากสมการ

$$N_{ext} = S \frac{\bar{r}^2}{r} \quad (3.1)$$

อย่างไรก็ตามความแตกต่างของความเข้มแสงเป็นส่วนกลับของค่าคงที่ โดยการหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$r = \frac{A(1 - \varepsilon^2)}{1 + \varepsilon \cos \phi} \quad (3.2)$$

เมื่อกำหนดให้ระยะห่างจากดวงอาทิตย์เท่ากับ r , E คือค่าความยืดหยุ่น, A คือความยาวครึ่ง หนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางหลัก และ ϕ คือมุมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเส้นผ่านศูนย์กลางหลัก โดยค่า เฉลี่ยคงที่คำนวณได้จากเส้นรอบวงรี ปรากฏดังสมการ

$$\bar{r} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} r(\phi) d\phi = a(1 - \varepsilon^2)^{1/2} \quad (3.3)$$

ดังนั้น ค่า N_{ext} ที่ปรากฏ คือ

$$N_{ext} = \frac{S(1 + \varepsilon \cos \phi)^2}{(1 - \varepsilon^2)} \quad (3.4)$$

ค่าความยืดหยุ่นในการหมุนรอบโลกเท่ากับ 0.01672 และ $\phi = 0$ ณ วันที่ 2 มกราคม สำหรับ วันที่ปรากฏในปฏิทินประจำปี ดังสมการ

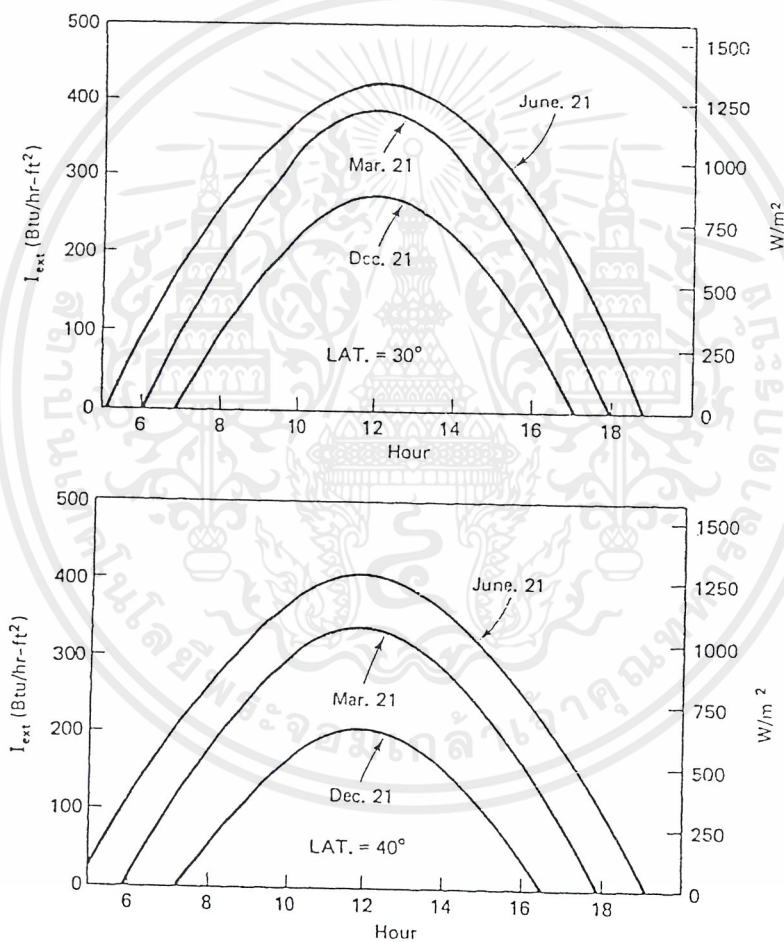
$$\phi = (D - 2) \frac{360^\circ}{365.2} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.4 และ 3.5 ค่า N_{ext} คำนวณได้จากแสงภายนอกที่ตกกระทบบนพื้นผิวเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนานบนพื้นผิว ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังสมการ

$$I_{ext} = N_{ext} \cos \theta \quad (3.6)$$

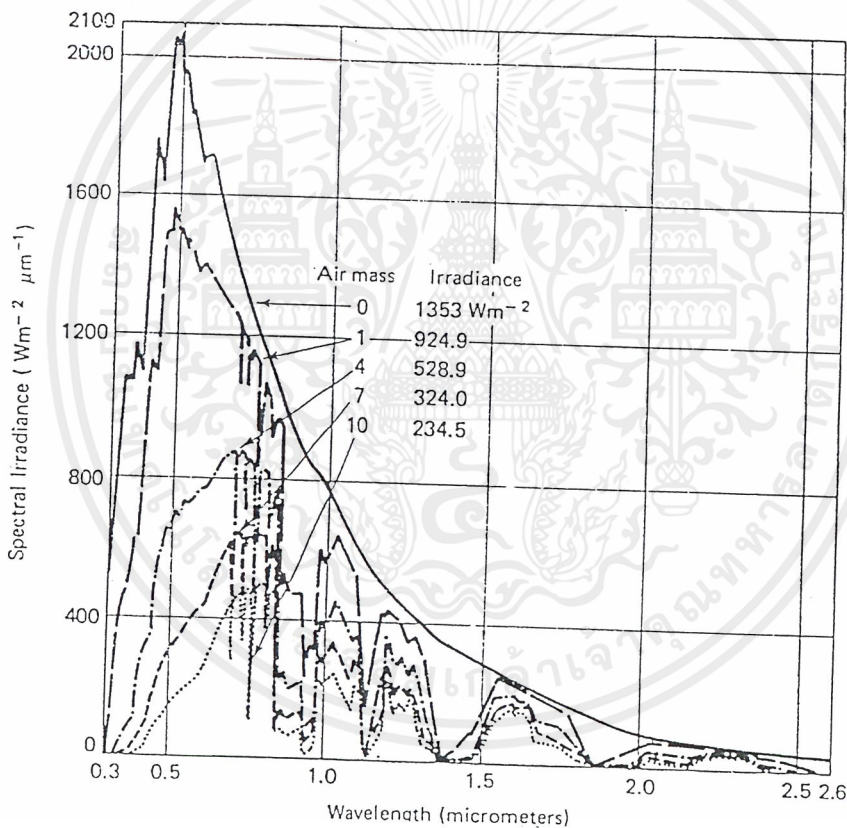
เมื่อ θ คือมุมระหว่างรังสีตกกระทบของดวงอาทิตย์กับพื้นผิวในแนวราบ การอธิบายค่า $\cos \theta$ จากบทที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของจำนวนชั่วโมงในแต่ละวันในรอบปี ทำให้ค่า I_{ext} มีความแตกต่างกัน ณ เส้นละติจูด 30° และ 40° ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ค่าแสงภายนอกโลกบนพื้นผิวของเส้นขนานในแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของแสงที่ได้รับ ณ ระดับต่างๆซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากความเข้มแสงหลังขบวนการดูดซับและการกระจายของชั้นบรรยากาศ โดยปกติแล้วสเปกตรัมจะรับ air mass zero (มวลอากาศที่ศูนย์) เหนือชั้นบรรยากาศและสเปกตรัมจะรับ air mass zero ในระดับพื้นโลก เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงเหนือศีรษะ และชั้นบรรยากาศอยู่ในสภาพที่ไร้ air mass one (มวลอากาศที่หนึ่ง) เช่นเดียวกับมุมที่มีค่าความลาดเอียงสูงสุดของดวงอาทิตย์ในแนวขนานกับความยาวของรังสีผ่านชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น เมื่อรังสีผ่านชั้นบรรยากาศที่ 2,3,4, สเปกตรัมจะรับไว้ ณ ระดับพื้นโลก โดยใช้ฟังก์ชันของมวลในอากาศ ความแตกต่างของมวลอากาศในช่วงเวลาของแต่ละวันซึ่งมีความแตกต่างกันในรอบปี ณ เส้นละติจูด 40° เหนือ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของแสงที่มวลอากาศต่างๆ

ผลกระทบของความยาวคลื่นแสงในชั้นบรรยากาศในวันต่างๆ คำนวณได้จากสมการ

$$l = h \sec \theta_h \tag{3.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

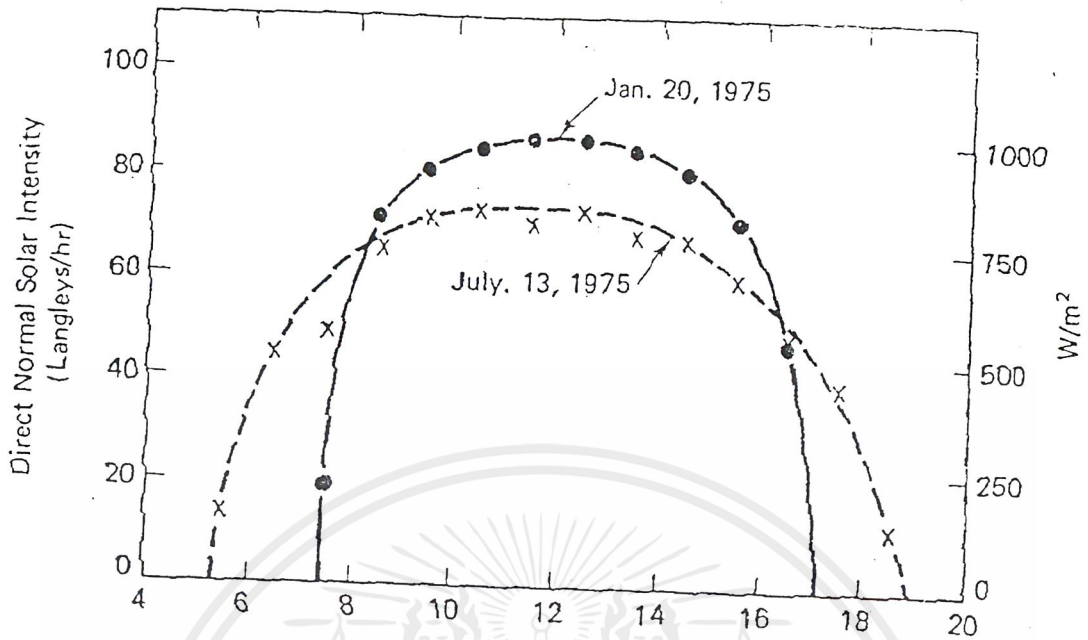
เมื่อ θ_h ที่กำหนดในบทที่ 2 และ h คือผลกระทบในแนวตั้งที่คงที่ ซึ่งผ่านชั้นบรรยากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ถึงแม้ว่า h จะมีความแตกต่างกันในพื้นที่หรือตำแหน่งต่างๆ แต่จะต้องขึ้นอยู่กับ air mass (มวลอากาศ) เช่นกัน ในส่วนของแสงที่ผ่านขบวนการดูดซับและการกระจายโดยชั้นบรรยากาศ ณ ระดับความยาวคลื่นแสง λ เนื้อความยาว l นั่นคือ $[-\beta(\lambda)l]$ โดย $\beta(\lambda)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ λ ส่วนการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศเป็นการนำพาโดยลำแสงและความยาวคลื่น ซึ่งการคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์; β ดังนั้น ค่าสื่อกลาง คือ $[-\beta]$ เมื่อ l คือ มวลอากาศที่ 1 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.65 ดังนั้นค่า β ที่กำหนดไว้ สามารถคำนวณได้จาก

$$\exp[-\beta] = 0.65$$

$$\beta = 0.431$$

3.2 ความเข้มของแสง ณ ระดับปกติของโลก (Solar Intensities at Earth Level Normal to the sun)

โดยปกติแล้วความเข้มของแสงในการตกกระทบของแสงบนพื้นผิวในสภาพอากาศที่ปกติ ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ในช่วงวันของฤดูร้อนและฤดูหนาว ใน Fort Hood, Texas แสดงให้เห็นว่าช่วงระยะเวลากลางวันและความเข้มแสงในฤดูร้อนมีสูงกว่าในฤดูหนาว โดยที่ความเข้มของแสงสูงสุดในฤดูหนาวได้กำหนดจากระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ และค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นสัมพัทธ์ในชั้นบรรยากาศ โดยขบวนการที่เรียกว่า “less atmospheric absorption” เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นเหนือเส้นขอบฟ้า ค่า normal incidence pyrheliometer (NIP) ซึ่งได้รับจากแสงอาทิตย์ ณ ระดับการตกกระทบของแสงโดยปกติ ความเข้มของแสงซึ่งบันทึกโดย NIP เป็นความเข้มของแสงนอกโลก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขบวนการดูดซับและการกระจายแสงโดยชั้นบรรยากาศ เมื่อใกล้เวลาที่พระอาทิตย์จะขึ้นและตก ส่วนของความยาวคลื่นแสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศจะมีความยาวมาก (มากกว่าในมวลอากาศ) และเมื่อพระอาทิตย์ขึ้นสู่ท้องฟ้าแล้ว จะดูดซับความยาวของแสงได้ลดลง และสิ่งนี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ลักษณะของกราฟ NIP ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 3.5 ความเข้มแสงปกติในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสในฤดูร้อน และฤดูหนาว

ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ในทางปฏิบัติ จุดสูงสุดของค่า NIP จะไม่น้อยกว่า 70% ของค่าความเข้มของแสงภายนอกโลก โดยปกติแล้วพื้นที่ต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา ในวันที่สภาพอากาศปลอดโปร่งอย่างน้อยที่สุด 2 ใน 3 ของรังสีภายนอกโลกสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ดีสามารถรับเอารังสีบางส่วนจากพื้นโลกได้ แต่ในสภาพอากาศที่เลวร้าย ค่า NIP สามารถมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ สำหรับสภาพอากาศที่ North Central Texas พบว่า ในช่วงโมงปกติแล้วความเข้มของแสงที่ตกกระทบในวันที่สภาพอากาศปกติ ณ Central Texas สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$N(H, D) = N_o \left[1 - \frac{|H - 12|^{3.5}}{4.7 + 0.0126D} \right] \tag{3.8}$$

เมื่อ

$$N_o = 77 - 6 \cos 1 - \frac{(D_s - 220)\pi}{182.6} \tag{3.9}$$

และ N คือค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบโดยปกติของ Lanley/hr. (1 Langley/hr. = 11.63 W/m²) ณ เวลาที่ H โดยที่ D คือ วันที่ 21 ธันวาคม และ D_s คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในรอบปี

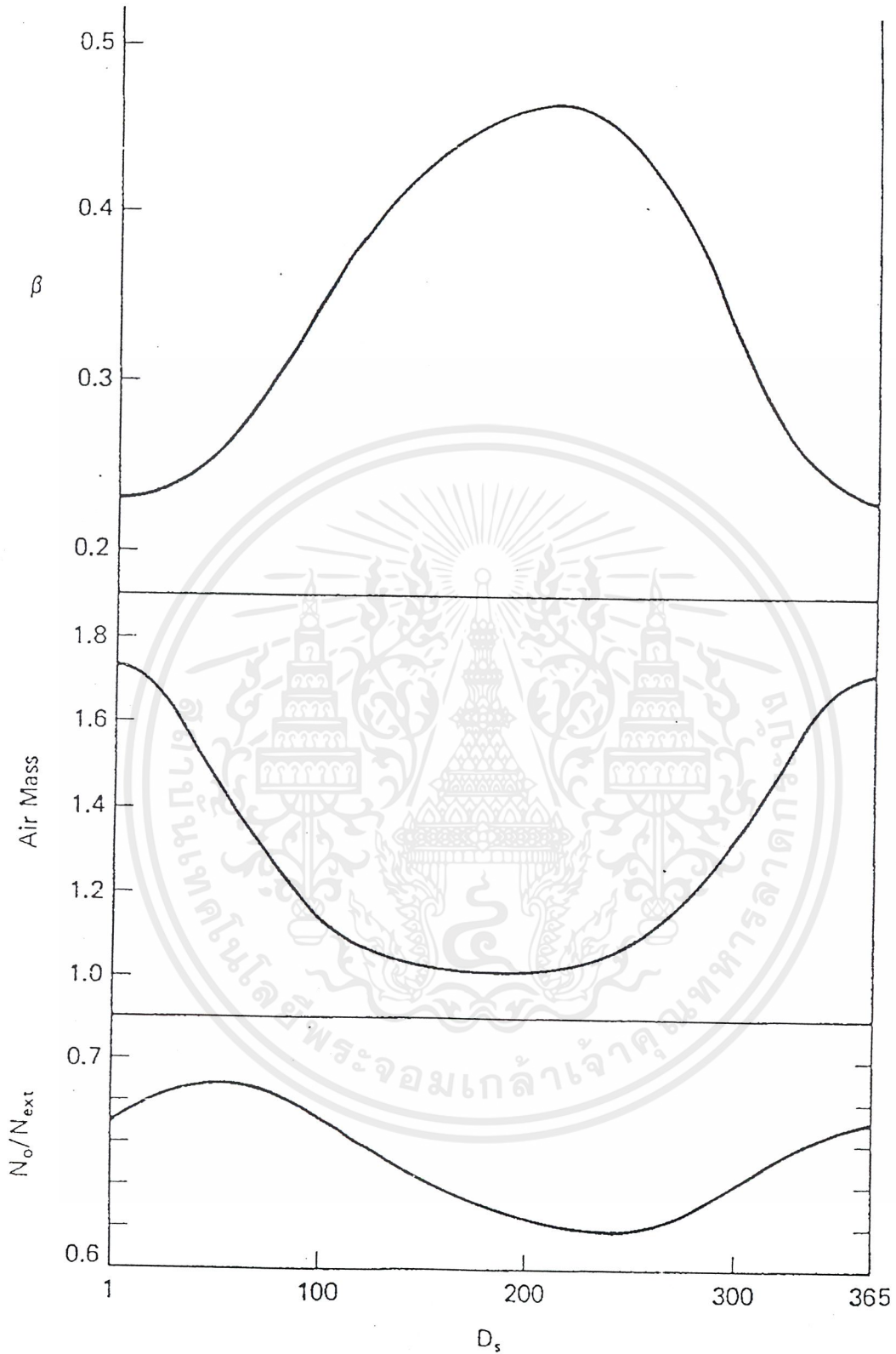
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(กำหนดให้ วันที่ 21 ธันวาคม = 1, 21 กรกฎาคม = 183 และ 20 ธันวาคม = 365) แสดงให้เห็นว่าจุดของความเข้มแสงสูงสุด ; N_0 ในเวลา 12.00 ซึ่งมีความแตกต่างมาจาก 83 Langley/hr. (965.3 W/m^2) และ D_s เท่ากับ 37 (ณ วันที่ 26 มกราคม) และมีค่าต่ำกว่า 71 Langley/hr. (825.7 W/m^2) และ D_s เท่ากับ 220 (ณ วันที่ 30 กรกฎาคม) ซึ่งเป็นผลที่คำนวณได้จาก Central Texas โดยที่แต่ละพื้นที่ที่ไม่มีควมจำเป็นที่จะต้องมีค่าที่เท่ากันเสมอไป และเมื่อวันที่ 31 มกราคม มีค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 83 Langley/hr. หรือเท่ากับ $306.0 \text{ Btu/hr-ft}^2$ หรือเท่ากับ 965.3 W/m^2 คิดเป็น 69.1% ของความเข้มของแสงภายนอกโลก และเมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม มีอัตราเท่ากับ 63.0% ของความเข้มแสงภายนอกโลก ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับค่าเฉลี่ยในแต่ละปี คิดเป็น 65% ของความเข้มของแสงภายนอกโลก สำหรับวันที่มีสภาพอากาศปกติ ณ Albuquerque และคิดเป็น 60% ของความเข้มของแสงภายนอกโลก ณ Raleigh, North Carolina

จากสมการที่ 3.8 และ 3.9 สามารถคำนวณค่า $N(H, D_s)$ ณ ระดับพื้นโลกในวันที่มีสภาพอากาศปกติที่ Central Texas โดยทั่วไปแล้ววิธีการนี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงกับพื้นที่อื่นได้ ณ ระดับความเข้มของแสงที่ปกติได้ทุกเวลา โดยคำนวณได้จากสมการ

$$N(H, D_s) = N_{ext}(D_{ext}) \exp\{-\beta(D_s) \sec[\theta_h(H, D_s)]\} \quad (3.10)$$

เมื่อ $\beta(D_s)$ คือค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของแสงในรอบปี (D_s) และ $\sec\theta_h$ คือมวลอากาศ ณ ชั่วโมง H ในช่วงวัน (D_s) ค่า N_0 จากสมการ 3.9 สามารถใช้อ้างอิงได้กับค่า $\beta(D_s)$ ที่ Central Texas โดยผลปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การแปรผันของ สัมประสิทธิ์เฉลี่ยของแสงที่ความหนาแน่นอากาศต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ทิศทางและการแพร่กระจายของแสง (Direct and Diffuse Radiation)

ทิศทางของความเข้มของแสง (N) สามารถวัดได้จากลำแสงที่ผ่านเลนส์ของ pyrheliometer การแยกตัวของอนุภาคบนพื้นผิวในแนวราบ (I_0) และความโน้มเอียงที่เพิ่มขึ้น ณ มุม T (I_T) สามารถทำการวัดและทดสอบได้ ต่อคำถามที่ว่าทิศทางการแตกตัวของอนุภาคทำให้เกิดการแพร่กระจายของแสงแท้ที่จริงแล้วทิศทางของความเข้มของแสงเกิดจากกำลังของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวปกติของดวงอาทิตย์จากทิศทางของรังสี ส่วนประกอบทิศทางของรังสีบนพื้นผิวต่างๆสามารถคำนวณได้จากค่า N โดยมุม Cosin ที่เกิดจากการตกกระทบของพื้นผิวปกติกับเส้นจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากบทที่ 2 มุม Cosin ทิศทางความเข้มของแสงในแนวราบและมุมตกกระทบได้จากสมการ

$$D_0 = N \cos \theta_0 \quad (3.11)$$

$$D_T = N \cos \theta_T \quad (3.12)$$

จากสมการ 2.7 ได้นำค่า Cosin และ $T = 0$ สำหรับการคำนวณในแนวราบของพื้นผิว ถ้านำทิศทางของความเข้มแสงไปหักล้างกับอนุภาคของความเข้มแสงที่สังเกตได้ ทำให้สามารถคำนวณทิศทางการกระจายของความเข้มแสงได้โดยสมการ

$$F_0 = I_0 - D_0 \quad (3.13)$$

$$F_T = I_T - D_T \quad (3.13)$$

จากการคำนวณค่า I_0 , I_T และ N ทำให้ทราบว่าค่าของส่วนประกอบของทิศทางและการกระจายของความเข้มของแสงบนพื้นผิว ก็สามารถคำนวณได้เช่นกัน

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการแยกตัวในแนวราบและความโน้มเอียงของพื้นผิว (Relation between Insolation on Horizontal and Tilted Surfaces)

ปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างการแยกตัวของอนุภาคซึ่งเป็นส่วนประกอบของทิศทางและการกระจายของแสง ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้จากการคำนวณการแยกตัวของอนุภาคบนความโน้มเอียงของพื้นผิวจากการวัดในแนวราบของพื้นผิว ฉะนั้น การวัดการแตกตัวของอนุภาคในแนวราบของพื้นผิวจึงเป็นสิ่งที่กระทำ ณ ตำแหน่งต่างๆมาหลายปีแล้ว แต่การวัดในบางครั้งได้กระทำบนพื้นผิวที่มีความโน้มเอียงบ้าง เมื่อมีอุปกรณ์การเก็บพลังงานแสงซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับความโน้มเอียงของพื้นผิวด้วย การคำนวณอนุภาคในบางครั้งจำเป็นต้องมีการคำนวณจากการแตกตัวของอนุภาคบนพื้นผิวที่มีความโน้มเอียงโดยวัดจากพื้นผิวที่อยู่ในแนวราบ

เมื่อรังสีตกกระทบพื้นผิวในแนวราบในทิศทางของตัวเอง ซึ่งสามารถคำนวณความเข้มของแสงบนความโน้มเอียงของพื้นผิวจากพื้นผิวในแนวราบ โดยการเพิ่มค่าของ $(\cos\theta_r/\cos\theta_o)$ โดยปกติแล้วการคำนวณอัตราส่วนเช่นนี้จะกระทำในช่วงต่างๆของพื้นที่ที่แตกต่างกัน หากจะเป็นการเรียงมาเกินไปถ้ารังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวในแนวราบซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของทิศทางของแสงและส่วนหนึ่งของการกระจายของแสง มันเป็นเรื่องที่ไม่ถูกต้องถ้าการเพิ่มการกระจายอนุภาคของแสงบนพื้นผิวในแนวราบ โดยอัตราส่วนที่คำนวณได้จากการกระจายตัวของแสงบนความโน้มเอียงของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของแสงบนพื้นผิวในแนวราบและพื้นผิวที่มีความโน้มเอียงสามารถกำหนดได้โดยการคำนวณอัตราส่วนนี้เรียกว่า Q จากสมการ

$$Q = \frac{F_r}{F_o} \quad (3.15)$$

อัตราส่วนของทิศทางของแสงบนพื้นผิวที่มีความโน้มเอียงต่อทิศทางของแสงบนพื้นผิวในแนวราบสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R = \frac{\cos\theta_r}{\cos\theta_o} \quad (3.15ก)$$

การคำนวณอัตราส่วนทั้งหมด จากสมการ

$$s = \frac{I_r}{I_o} = \frac{F_o}{I_o} Q + 1 - \frac{F_o}{I_o} R \quad (3.16)$$

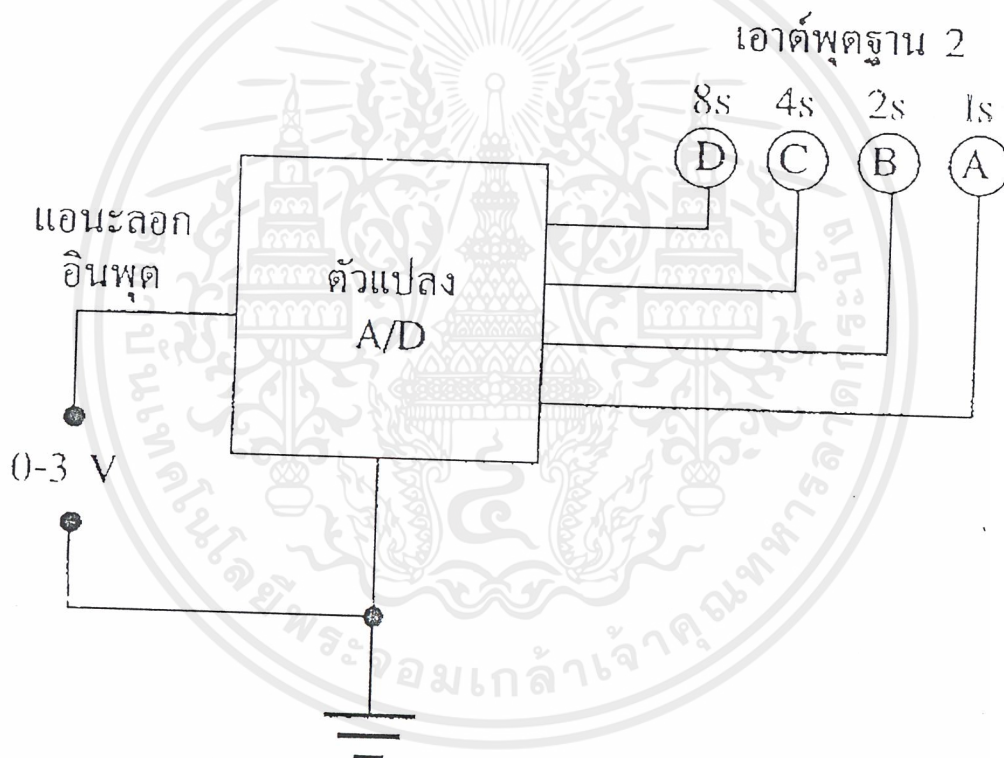
โดยที่ I_o คือค่าที่วัดได้ แต่ I_r เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่า s เมื่ออัตราส่วน (R) สามารถทำการคำนวณได้เสมอ เมื่ออัตราส่วนของการกระจายของแสง (F_o/I_o) มีค่าน้อย ทำให้ค่า s มีความใกล้เคียงกับค่า R ด้วย ต่อคำถามที่ว่าค่า R ควรจะมีความใกล้เคียงกับค่า s หรือไม่นั้น คำตอบนั้นไม่เป็นที่ชัดเจนแน่นอน แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้ข้อแนะนำและผลการศึกษที่เกิดขึ้นจากการศึกษาที่ North Central Texas อธิบาย

บทที่ 4

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

4.1 วงจร A/D แบบสัญญาณลาดเอียง

วงจรการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรพื้นฐานแสดงในรูปที่ 4.1 นั่นคือด้านอินพุตของวงจรรับแรงดันแอนะล็อก และวงจร A/D ทำหน้าที่แปลงแรงดันแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 4 บิต ค่าแรงดันต่ำสุด 0 V จะได้รับรหัสดิจิทัลเอาต์พุต 4 บิต เท่ากับ 0000 และที่ค่าแรงดันอินพุตสูงสุด (+3V) จะได้รับรหัสดิจิทัลเอาต์พุต 4 บิต เท่ากับ 1111



รูปที่ 4.1 แผนภาพกรอบของวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 4 บิต

สำหรับแผนภาพกรอบของวงจร A/D โดยละเอียดจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 คือ

1. วงจรเปรียบเทียบ ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันแอนะล็อกอินพุตที่จุด A กับแรงดันป้อน

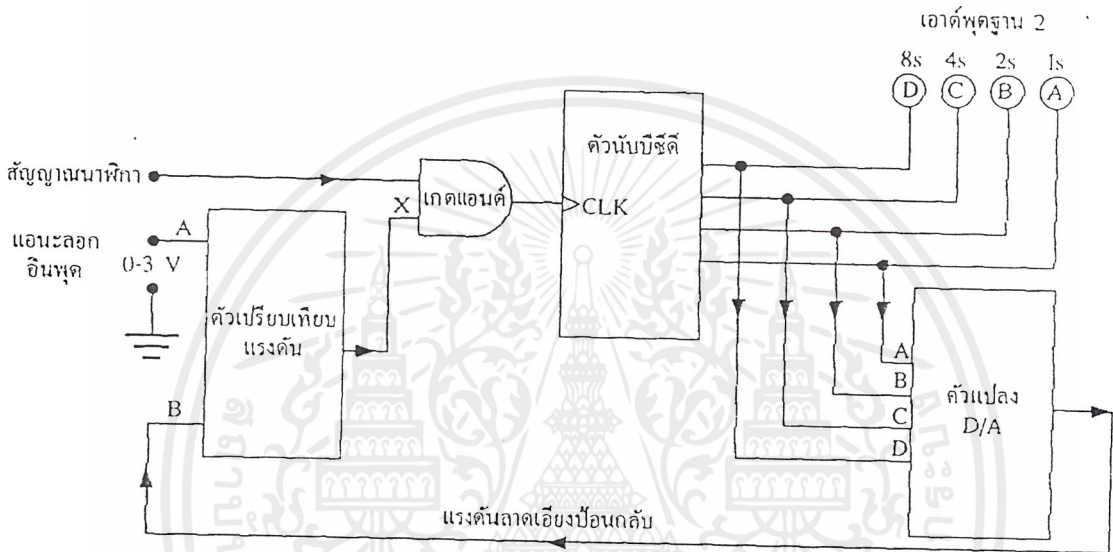
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับที่จุด B เพื่อส่งสัญญาณลอจิกไปควบคุมสัญญาณนาฬิกา

2. เกตแอนด์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิด สัญญาณนาฬิกา เพื่อป้องกันวงจรนับ

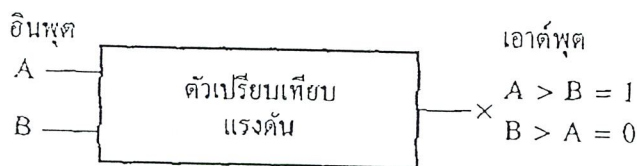
3. วงจรนับบีชีดี วงจรนับรหัสบีชีดีขนาด 4 บิต เพื่อแสดงผลตามจำนวนพัลส์ที่เกิดแอนด์จ่ายออกมา และส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังวงจร D/A

4. วงจรแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ทำหน้าที่แปลงรหัสดิจิทัลที่แสดงผลทางไบนารีเอาต์พุตให้เป็นแรงดันแอนะล็อก เพื่อนำกลับไปยังอินพุต B ซึ่งแรงดันนี้จะเป็นแรงดันของสัญญาณลาดเอียง



รูปที่ 4.2 แผนภาพกรอบแสดงส่วนประกอบของวงจร A/D แบบสัญญาณลาดเอียงขนาด 4 บิต

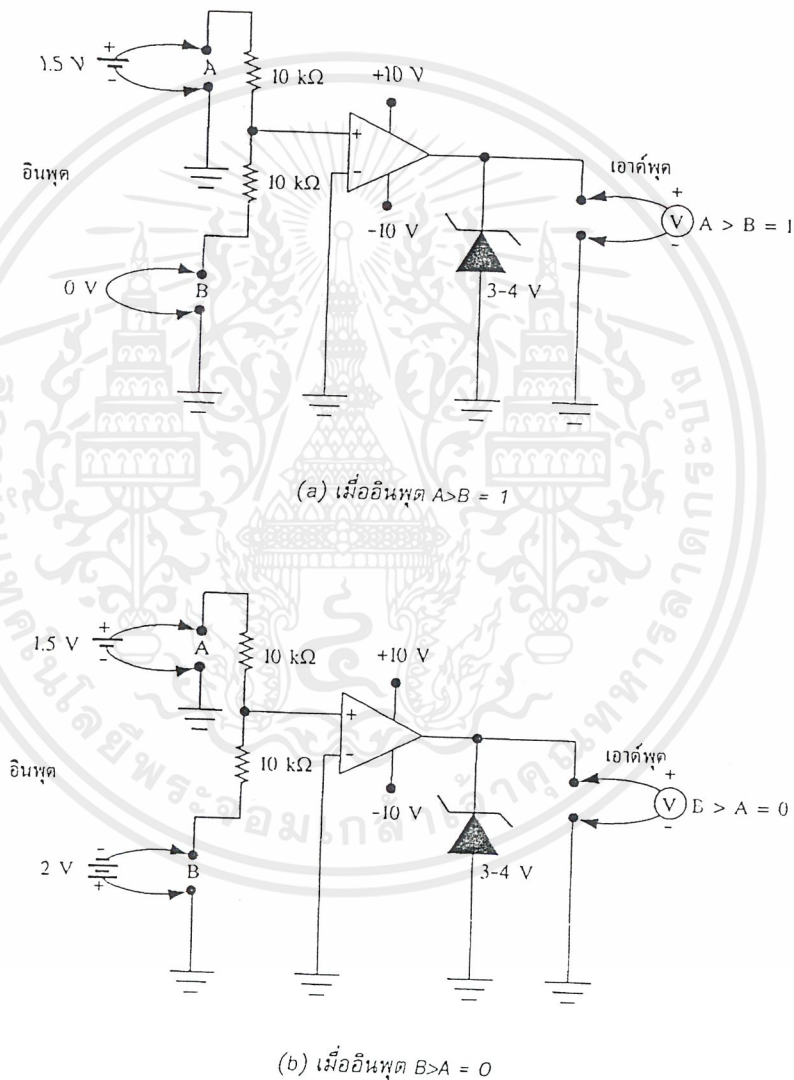
การทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน มีลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน มีอินพุตรับแรงดันแอนะล็อก 2 อินพุต คือ A และ B เพื่อเปรียบเทียบกันดังแผนภาพกรอบที่ ผลของการเปรียบเทียบแรงดัน คือ ถ้าแรงดันอินพุต $A > B$ เอาต์พุต $x = 1$ และถ้าอินพุต $B > A$ ($A < B$) เอาต์พุต $x = 0$



รูปที่ 4.3 แผนภาพกรอบของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

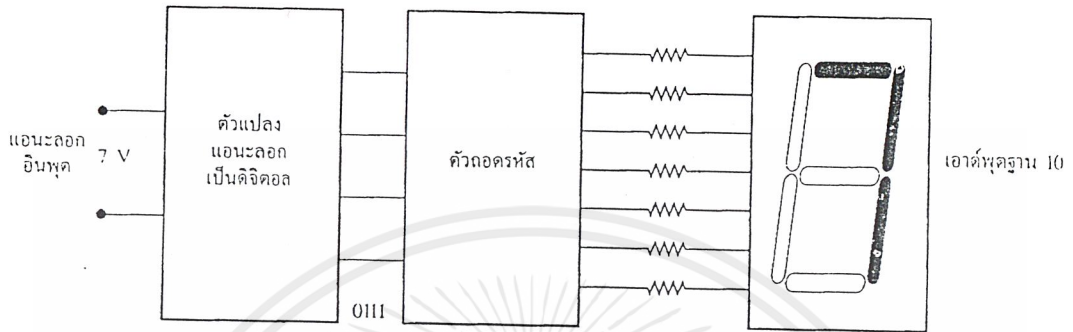
วงจรภายในของวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะใช้วงจรออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดัน ดังรูปที่ 4.4 เมื่อแรงดันแอนะล็อกที่อินพุต A เท่ากับ 1.5 V มากกว่าแรงดันแอนะล็อกที่อินพุต B (0 V) ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์เท่ากับ 4 V เท่าแรงดันซีเนอร์ที่เอาต์พุตของออปแอมป์ เอาต์พุตจะเป็นลอจิก “1” ($A > B = 1$) และในรูปที่ 4.4 เมื่อแรงดันที่อินพุต B เท่ากับ 2 V ดังนั้นแรงดันที่ B มากกว่าที่อินพุต A ผลคือแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะได้ 0 V (ลอจิก “0”) นั่นคือ ($B > A = 0$)



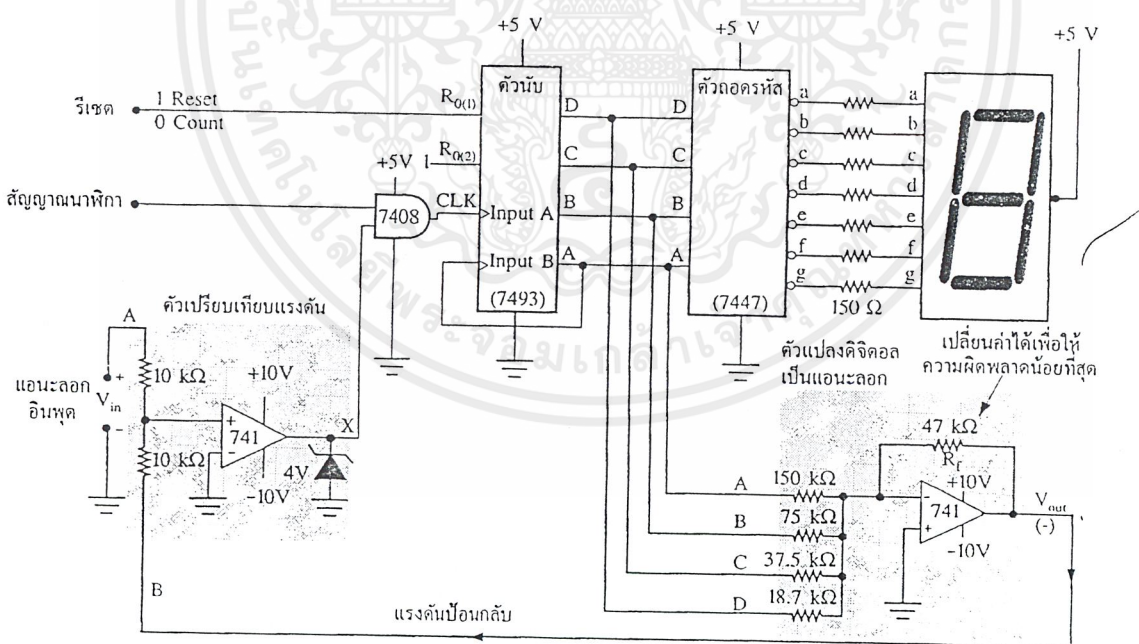
รูปที่ 4.4 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้ออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานวงจรการแปลงแรงดันแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เห็นได้ชัดเจน เช่น วงจร โวลต์มิเตอร์ชนิดแสดงผลด้วยตัวเลข เมื่อนำโวลต์มิเตอร์ไปวัดแรงดันแอนะล็อก เช่น แรงดันขนาด 7 V วงจร A/D จะรับค่าแรงดันแอนะล็อกเข้ามา และเปลี่ยนเป็นรหัสดิจิทัลเพื่อแสดงผลที่จอภาพของ มิเตอร์ให้ได้ 7 V เป็นต้น แผนภาพกรอบของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ แสดงในรูปที่ 4.5.



รูปที่ 4.5 แผนภาพกรอบดิจิทัลโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 4.6 วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์แสดงผลด้วยตัวเลข 7 ส่วน 1 หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพกรอบของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ สามารถออกแบบและสร้างได้โดยกำหนดให้ โวลต์มิเตอร์แสดงผลด้วยตัวเลข 7 ส่วน 1 หลัก แสดงค่าได้ตั้งแต่ 0-9 โวลต์ มีตัวถอดรหัสดิจิทัล 4 บิต เป็นเลขฐาน 10 รับข้อมูลดิจิทัล 4 บิต มาจากวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ตัวถอดรหัสนี้ใช้ ทีทีแอลเบอร์ 7447 เป็นตัวจัดการแสดงผลเลข 7 ส่วน ชนิดแอนดรอรวม ข้อมูลดิจิทัล 4 บิต กำเนิด จากวงจรนับเลขฐาน 2 เบอร์ 7493 (ดังรูปที่ 4.6) ควบคุมการรีเซตวงจรนับที่ขา $R_{0(1)}$ ขาสัญญาณนาฬิกา ต่อผ่านแอนด์เกตเบอร์ 7408 ซึ่งอินพุตที่หนึ่งของแอนด์เกตต่อกับสัญญาณนาฬิกาภายนอก และอินพุต ที่สองต่อกับเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้โอปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งไบแอสด้วยแรงดัน $\pm 10\text{ V}$ สำหรับวงจรรวมทีทีแอล ไบแอสด้วยแรงดัน $+5\text{ V}$ วงจรเปรียบเทียบแรงดันมี 2 อินพุต อินพุต A ต่อกับแรงดันแอนะล็อกภายนอก และอินพุต B ต่อกับแรงดันลาดเอียงที่ป้อนกลับมาจากวงจร D/A วงจร D/A นี้มีขนาด 4 บิต ซึ่งต่อสัญญาณดิจิทัลอินพุตมาจากเอาต์พุตของวงจรนับเลขฐาน 2 รายละเอียดแสดงในวงจรรูปที่ 4.6

การทำงานของวงจรในรูปที่ 4.6 อธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้ สมมติให้มีแรงดันอินพุตแอนะ ลอกเท่ากับ 2 V และเอาต์พุตของวงจรนับถุนรีเซตที่ 0000 ขณะนี้วงจรเปรียบเทียบแรงดันระหว่างอิน พุต A และ B แรงดันที่ A มากกว่า B ($A = 2\text{ V}$ และ $B = 0\text{ V}$) วงจรเปรียบเทียบแรงดันให้ลอจิก “1” ที่ เอาต์พุต ดังนั้นแอนด์เกตจึงทำงานได้ ส่งสัญญาณนาฬิกาพัลส์ที่ 1 เข้าสู่อินพุต clock ของวงจรนับเลข ฐาน 2 วงจร นับจะปรากฏเอาต์พุต 4 บิต คือ 0001 รหัสเลขฐาน 2 นี้ถูกตัวถอดรหัส ถอดรหัสเป็นเลข 1 ฐาน 10 แสดงที่ผลเลข 7 ส่วน โดยติดสว่างที่ส่วน B และ C ในขณะเดียวกัน เอาต์พุต 0001 จ่ายเข้า วงจร D/A ด้วยลอจิก “1” ที่บิต A มีแรงดันประมาณ 3.2 V จ่ายผ่าน $R = 150\text{ k}\Omega$ ทางด้านอินพุต ของออปแอมป์ ทำให้แรงดัน V_{out} ของออปแอมป์เท่ากับ -1 V

$$\text{เนื่องจาก } A_v = R_f/R_m = 47\text{ k}\Omega/150\text{ k}\Omega = 0.31$$

$$\therefore V_{out} = A_v \cdot V_{in} = 0.31 \times 3.2 \cong -1\text{ V}$$

แรงดัน -1 V นี้จะป้อนกลับไปสู่อินพุต B ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ผลคือที่อินพุต $A = 2\text{ V}$ $B = -1\text{ V}$ นั่นคือ $A > B = 1$ แอนด์เกตทำงานอีกครั้งส่งสัญญาณนาฬิกาพัลส์ที่สองเข้าวงจร นับ วงจรนับจะให้เอาต์พุต 4 บิต เท่ากับ 0010 ที่ตัวเลข 7 ส่วน จะแสดงผลด้วยเลข 2 ฐาน 10 อินพุต ของ D/A ก็ได้รับรหัส 0010 เช่นกัน ทำให้ V_{out} ของวงจร D/A มีแรงดันเท่ากับ -2 V แรงดันนี้ป้อน กลับไปยังอินพุต B ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะพบว่าแรงดัน $A = +2\text{ V}$ ที่อินพุต + ของออปแอมป์ จะมีแรงดัน 0 V พอดี ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะเป็น 0 V คือลอจิก “0” ทำให้ แอนด์เกตไม่ทำงาน สัญญาณนาฬิกาจะไม่ถูกส่งไปยังวงจรนับ การแสดงผลจะแสดงเลข 2 ค้างอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่า แรงดันแอนะล็อกอินพุต 2V ถูกแสดงเป็นสัญญาณดิจิทัล และปรากฏเป็นเลข 2 ที่ตัวแสดงผล 7 ส่วน

4.2 วงจร A/D แบบแฟรช

วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบแฟรชเป็นวงจรการแปลงสัญญาณที่มีความเร็วสูงกว่า A/D แบบสัญญาณลาดเอียง และถ้าเป็น A/D แบบแฟรชที่มีจำนวนเอาต์พุตมากๆ ขนาดของวงจรจะใหญ่กว่าแบบอื่นๆ เช่น A/D แบบ Flash ขนาด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันถึง 255 ($2^8 - 1$) ตัว เป็นต้น เพราะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบแรงดัน 1 บิตต่อ 1 ตัว หรือ A/D แบบแฟรชขนาด 10 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน 1023 ($2^{10} - 1$) วงจร เป็นต้น หลักการทำงานของ A/D แบบแฟรชจะใช้วงจรขนาด 3 บิต อธิบายดังรูปที่ 4.7

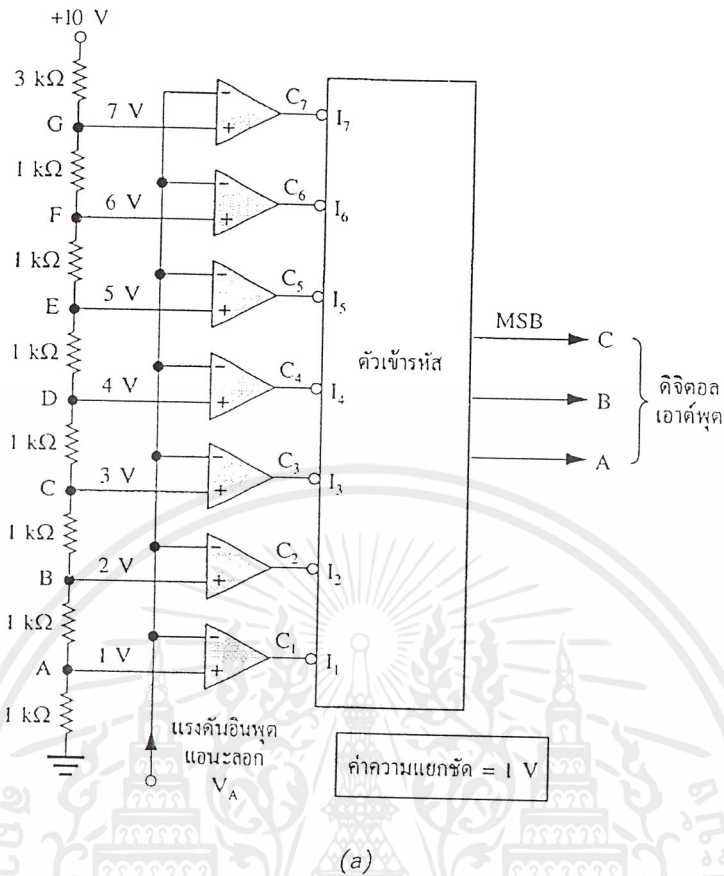
เมื่อพิจารณาวงจร A/D แบบแฟรช ขนาด 3 บิต จากรูปที่ 4.7 ด้านอินพุตของวงจร 3 บิต จะมีตัวเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้โอปแอมป์เท่ากับ $2^n - 1 = 7$ ตัว ในรูปคือ $C_1 - C_7$ โดยอินพุตลบของโอปแอมป์ทุกตัวต่อรวมกันเป็นจุดรับแรงดันแอนะล็อกอินพุต (V_A) และขาอินพุตบวกของโอปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันแต่ละตัวต่อเข้ากับจุด A - G ของวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งจุดต่อ A มีแรงดัน +1V จุดต่อ B มีแรงดัน +2V และจุดต่อ C D E F G มีแรงดัน +3V +4V +5V +6V และ +7V ตามลำดับ

การทำงานของวงจรเริ่มต้นที่แรงดันแอนะล็อกด้านเข้าที่อินพุต V_A ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 V เอาต์พุตของโอปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันทุกตัวจะเป็น "1" เนื่องจากไม่มีโอปแอมป์ตัวใดทำงานเมื่อ $V_A > 1V$ แต่ไม่เกิน 2 V โอปแอมป์ตัว C_1 จะทำงาน ตัวเข้ารหัสจะส่งเอาต์พุต 3 บิตเป็น 001 ดังตารางในรูปที่ 4.7 นั่นคือแรงดันแอนะล็อก 1V เอาต์พุตดิจิทัลเท่ากับ 1_{10} เช่นกัน และเมื่อ $V_A > 2V$ แต่ไม่เกิน 3 V โอปแอมป์ตัวที่ C_2 จะทำงานในขณะที่ C_1 ยังทำงานอยู่ ผลคือดิจิทัลเอาต์พุตของตัวเข้ารหัสจะเป็น 010 หรือ 2_{10} และเมื่อแรงดันแอนะล็อกอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นครั้งละ 1V ดิจิทัลเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับเช่นกัน เมื่อแรงดันเอาต์พุต $V_A > 7V$ ดิจิทัลเอาต์พุตคือ 111 หรือ 7_{10}

วงจร A/D แบบแฟรช ในรูปที่ 4.7 มีค่าความแยกชัด = 1V เพราะการกำหนดค่าแรงดันอ้างอิงที่อินพุตบวกของโอปแอมป์ตัวแรกเท่ากับ 1 V และขั้นของแรงดันอ้างอิงต่างกันขั้นละ 1 V

วงจร A/D แบบแฟรช จะใช้เวลาในการแปลงระหว่างแรงดันแอนะล็อกเป็นรหัสดิจิทัลน้อยมากเนื่องจากความไวของโอปแอมป์และตัวเข้ารหัส ตัวอย่างเช่น A/D เบอร์ AD9002 แปลงแรงดันแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต มีความเร็วของเวลาในการแปลงน้อยกว่า 10 nS เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อินพุตแอนะล็อก	เอาต์พุตของออปแอมป์							ดิจิตอลเอาต์พุต		
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C	B	A
0-1 V	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1-2 V	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2-3 V	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
3-4 V	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
4-5 V	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
5-6 V	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6-7 V	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
>7 V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

รูปที่ 4.7 วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 3 บิต แบบแฟรช และตารางการทำงาน ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองความถี่ด้านเข้าของแรงดันแอนะล็อกอินพุต วงจร A/D ทำงานได้ในย่านการเปลี่ยนแปลงค่าเป็นคลื่นไซน์ได้ไม่เกิน ± 1 บิต ดังนั้นความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตที่วงจร A/D จะทำงานได้คือ

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi(T_c)2^n} \quad (4.1)$$

เมื่อ	f_{\max}	=	ความถี่ตอบสนองสูงสุดของวงจร A/D
	T_c	=	เวลาของการแปลงสัญญาณ 1 รอบ
	n	=	จำนวนบิตเอาต์พุตของ A/D

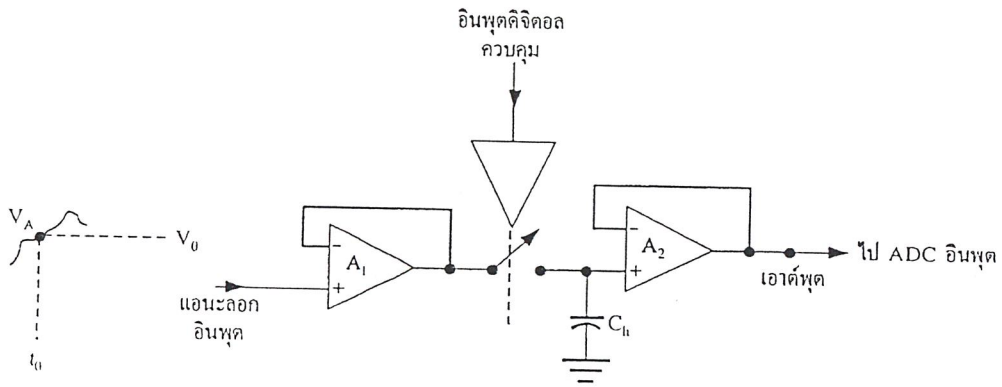
ตัวอย่าง 4.1 จงหาค่าความถี่ตอบสนองสูงสุดของ A/D ขนาด 8 บิต เบอร์ AD9002 เมื่อ T_c ของวงจรมีค่า 10 nS

วิธีทำ

$$\begin{aligned} f_{\max} &= 1 / (2\pi(10 \times 10^{-9})) \times 2^8 \\ &= 62.169 \text{ kHz} \end{aligned}$$

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มค่าความถี่ตอบสนองของสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้าของวงจร A/D ต้องใช้วงจรขยายแบบสุ่มและเก็บค่า (Sample and Hold Amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ต่อเข้าด้านอินพุตของวงจร A/D

แรงดันแอนะล็อกอินพุตเข้าทางขาบวกของ A_1 และสวิตช์แอนะล็อกถูกควบคุมโดยสัญญาณควบคุมการสุ่มและเก็บค่า เพื่อทำงานร่วมกับ C_n ในการควบคุมแรงดันแอนะล็อกเอาต์พุตของ A_2 ที่จะต่อเข้ากับอินพุตของวงจร A/D มีค่าคงที่เสมอ จากรูปที่ $V_o = V_A$ โดยเมื่อสวิตช์เปิด C_n จะประจุด้วยแรงดันอินพุต V_A ขณะนี้เป็นเวลาสุ่มค่า โดยที่แรงดันที่ C_n จะมีค่าคงที่เท่ากับ V_A และเมื่อสวิตช์เปิดวงจรพร้อมจะรับแรงดันอินพุตตัวใหม่ ดังนั้นจะเห็นว่าแรงดันด้านออกของวงจรจะมีค่าคงที่เท่ากับแรงดันตกคร่อม C_n ตลอดเวลา เนื่องจากความเร็วของสวิตช์สูงมาก ทำให้ผลการตอบสนองความถี่ด้านอินพุตของวงจร A/D สูงขึ้นตามความเร็วของการเปิดสวิตช์

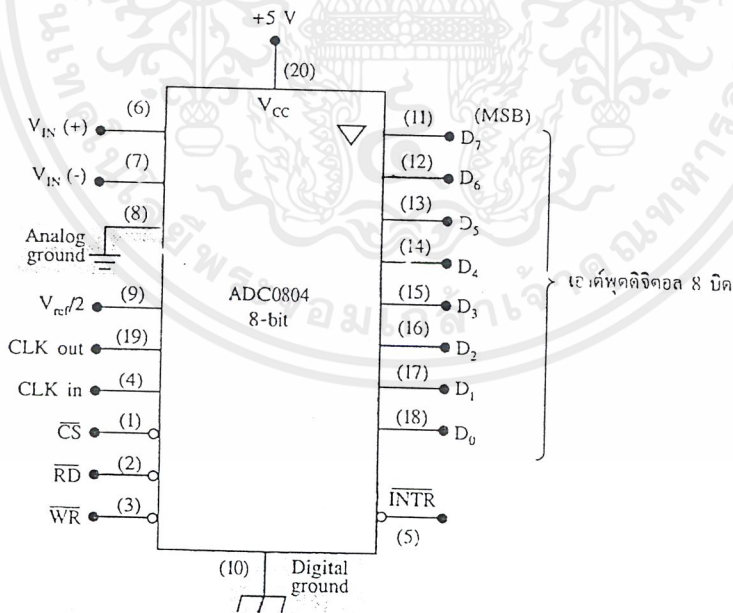


ลอจิกควบคุม = 1 → สวิตช์ปิด → โหมดสุ่มค่า
 ลอจิกควบคุม = 0 → สวิตช์เปิด → โหมดเก็บค่า

รูปที่ 4.8 วงจรขยายแบบสุ่มและเก็บค่า

4.3 วงจรรวมเบอร์ ADC 0804

วงจรรวมเบอร์ ADC 0804 เป็นวงจรรวมแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเอาต์พุตขนาด 8 บิต เอาต์พุตเป็นเลขฐาน 2 มีขา 20 ขา ตัวถังแบบ DIP ลักษณะการจัดวางขาแสดงในรูปที่ 4.9 รายละเอียดและหน้าที่ของขามีดังนี้



รูปที่ 4.9 การจัดวางขาวงจรรวมเบอร์ ADC 0804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา 1 คือขา - CS รับสัญญาณการเลือกทำงานจากไมโครโพรเซสเซอร์
- ขา 2 คือขา - RD (Read) ขาคควบคุมการอ่านข้อมูลจาก ADC0804 โดยสัญญาณควบคุมมาจากไมโครโพรเซสเซอร์
- ขา 3 คือขา - WR (Write) ขาคควบคุมการเขียนข้อมูลลงใน ADC0804 โดยสัญญาณควบคุมมาจากไมโครโพรเซสเซอร์
- ขา 4 คือขา CLICK IN รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
- ขา 5 คือขา - INTR (Interrupt) รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์มาจากไมโครโพรเซสเซอร์ (ADC 0804 ออกแบบมาให้ใช้กับไมโครโพรเซสเซอร์ขนาด 8 บิตโดยตรง ใช้ได้หลายเบอร์ เช่น Z80, 8085, 6502 และ 6800 เป็นต้น)
- ขา 6 คือขา $V_{in}(+)$ เป็นอินพุตรับแรงดันบวก
- ขา 7 คือขา $V_{in}(-)$ เป็นอินพุตรับแรงดันลบ (0 V)
- ขา 8 คือขา A GND จุดดินของวงจรแอนะล็อกภายใน ADC0804
- ขา 9 คือขา $V_{ref}/2$ เป็นอินพุตรับแรงดันอ้างอิง
- ขา 10 คือขา D GND จุดดินของวงจรดิจิตอลภายใน ADC0804
- ขา 11-18 คือขา Digital output ขา 11 คือ D_7 (MSB) และขา 18 คือขา D_0 (LSB)
- ขา 19 คือขา CLK out เป็นอินพุตสำหรับต่อตัวต้านทานภายนอกสำหรับสัญญาณนาฬิกา
- ขา 20 คือขา V_{cc} (or Ref) เป็นขาจ่ายกำลังไฟฟ้า $+5 V_{DC}$

วงจรรวม ADC0804 โครงสร้างของวงจรดิจิตอลภายในเป็นแบบซีมอส มีความเร็วในการแปลงสัญญาณแต่ละรอบเท่ากับ $100 \mu S$ โครงสร้างภายในเป็นแบบ Successive approximation หรือแบบประมาณค่าต่อเนื่อง และรับแรงดันแอนะล็อกอินพุตได้ในย่าน 0 ถึง $+5V$ ด้านเอาต์พุต 8 บิตดิจิตอลมีลอจิก 3 สถานะเป็นบัฟเฟอร์ทำให้ต่อเข้ากับบัสข้อมูลของระบบไมโครโพรเซสเซอร์ได้โดยตรง สะดวกต่อการใช้งาน ค่าความแยกขั้วต่อบิตคือ $19.6 mV$ (เมื่อ $V_{cc} = +5V$ ดังนั้น $5V = 19.6 mV$) ความถี่ของสัญญาณที่เหมาะสมคือ $f = 1$ คาในคู่มือกำหนด $R = 10 k\Omega$ และ $c = 150 pF$ R และ C นี้คือที่ขา CLK out และ CLK in ดังรูปที่ เมื่อแทนค่า $R = 10 k\Omega$, $c = 150 pF$ จะได้ความถี่ของสัญญาณภายในเท่ากับ $606 kHz$ แต่ถ้าใช้สัญญาณนาฬิกาภายนอก ต้องต่อเข้าที่ขา CLK in และเปิดวงจร CLK out ที่ความถี่ $606 kHz$ เวลาในการแปลงข้อมูลแต่ละรอบคือ $100 \mu S$ การต่อจุดดินของวงจรรวม ADC0804 ควรแยกกันระหว่างจุดดินของดิจิตอล และจุดดินของแอนะล็อก (จะ

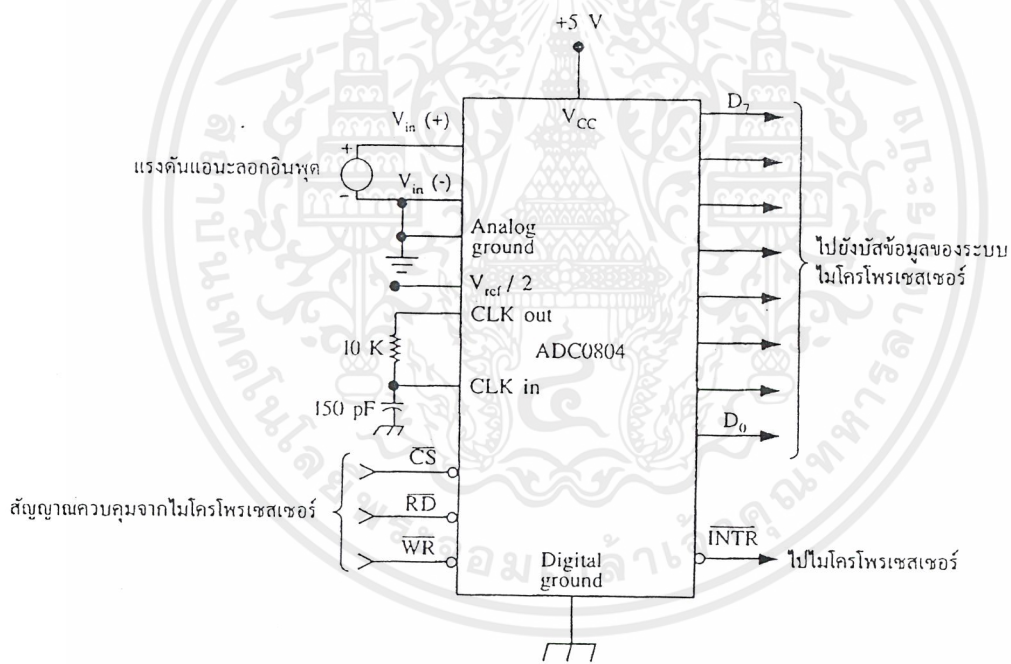
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นว่าในรูปที่ 4.10 และ 4.11 จะใช้สัญลักษณ์จุดดินต่างกัน) เนื่องจากในระบบดิจิทัลมีสัญญาณรบกวนมากกว่า อาจทำให้การทำงานไม่สมบูรณ์ได้

สำหรับอินพุต $V_{ref}/2$ เป็นตัวกำหนดผ่านของการรับแรงดันแอนะล็อกอินพุต และกำหนดค่าความแยกชัด (mV) ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 4.1

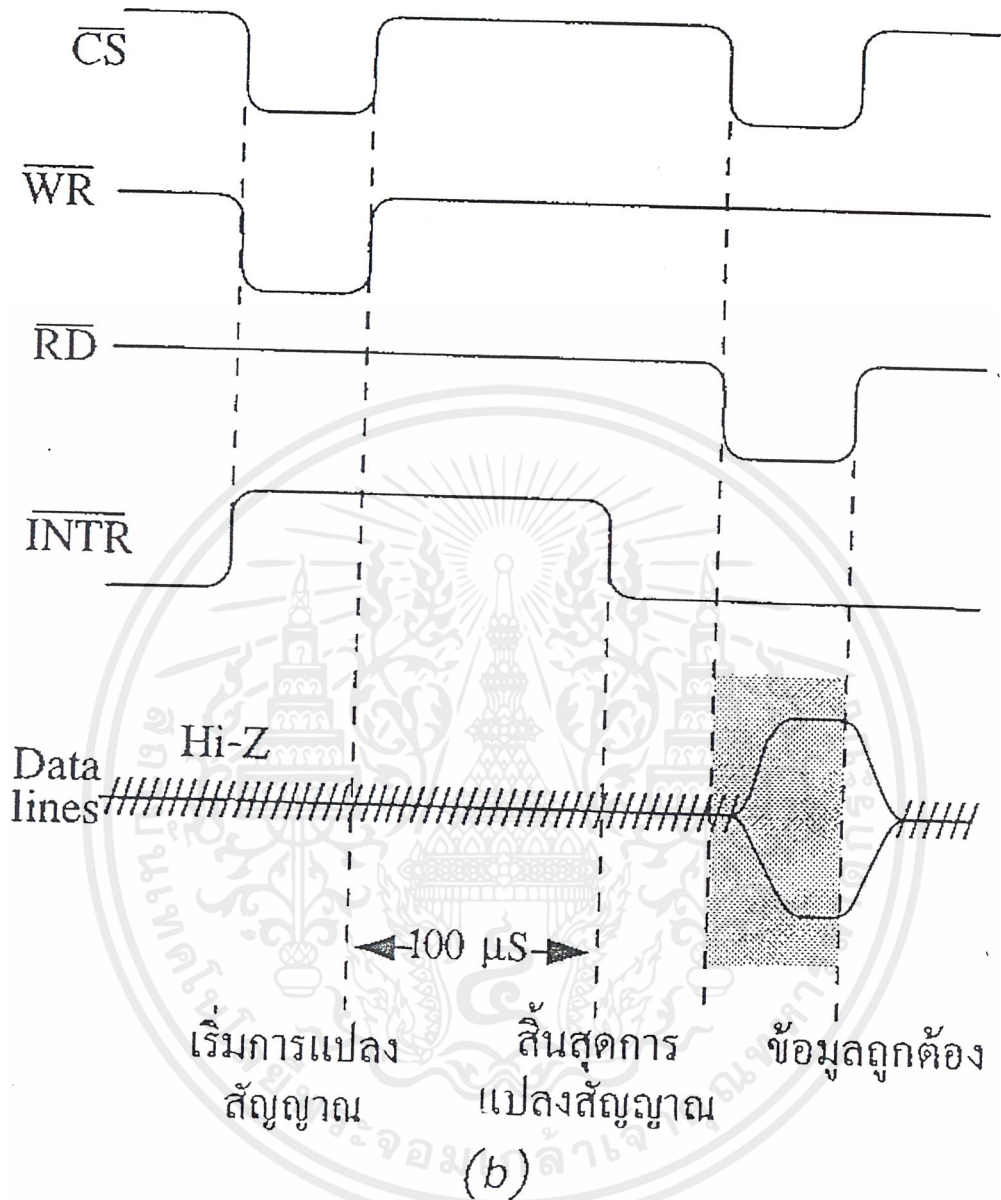
$V_{ref}/2(V)$	แรงดันอินพุต (V)	ค่าความแยกชัด (mV)
เปิดวงจร	0-5.0	19.6
2.25	0-4.5	17.6
2.00	0-4.0	15.7
1.50	0-3.0	11.8



(a)

รูปที่ 4.10 แสดงการต่อ ADC 0804 กับระบบไมโครโพรเซสเซอร์และไคอะแกรมเวลา แสดงการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



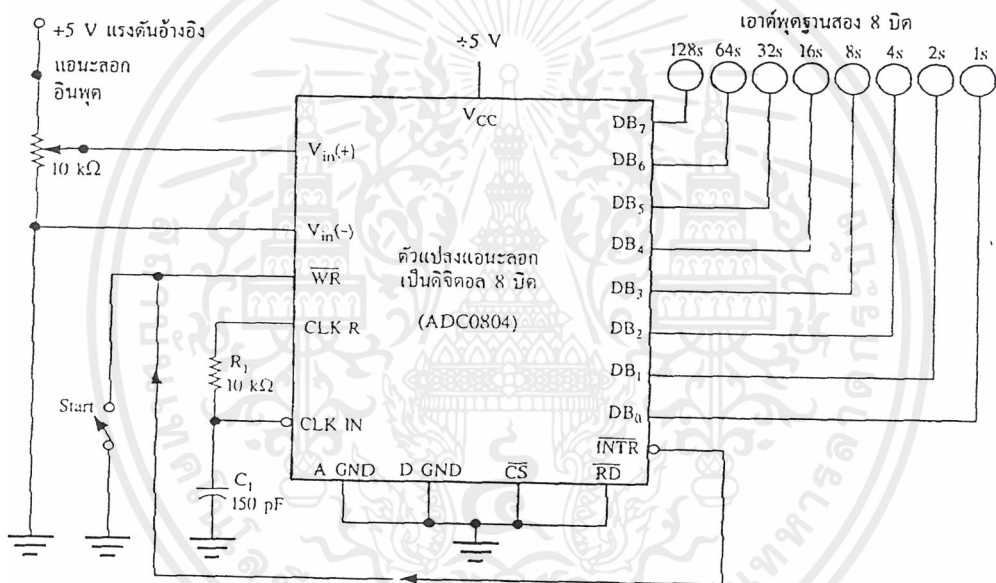
รูปที่ 4.10 (ต่อ)

วงจรการต่อวงจรรวมเบอร์ ADC0804 กับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ และไคอะแกรมเวลาของสัญญาณ \overline{CS} \overline{WR} \overline{RD} และ \overline{INTR} แสดงในรูปที่ เมื่อ ADC0804 ได้รับคำสั่ง \overline{CS} และ \overline{WR} มาจากไมโครโปรเซสเซอร์ จะใช้เวลาในการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลประมาณ $100 \mu\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่ง $-CS$ และ $-RD$ เพื่ออ่านข้อมูลดิจิทัลจาก ADC0804 เข้าสู่บัสข้อมูลของไมโครโปรเซสเซอร์ ดังแสดงในไดอะแกรมเวลาในรูปที่ 4.10

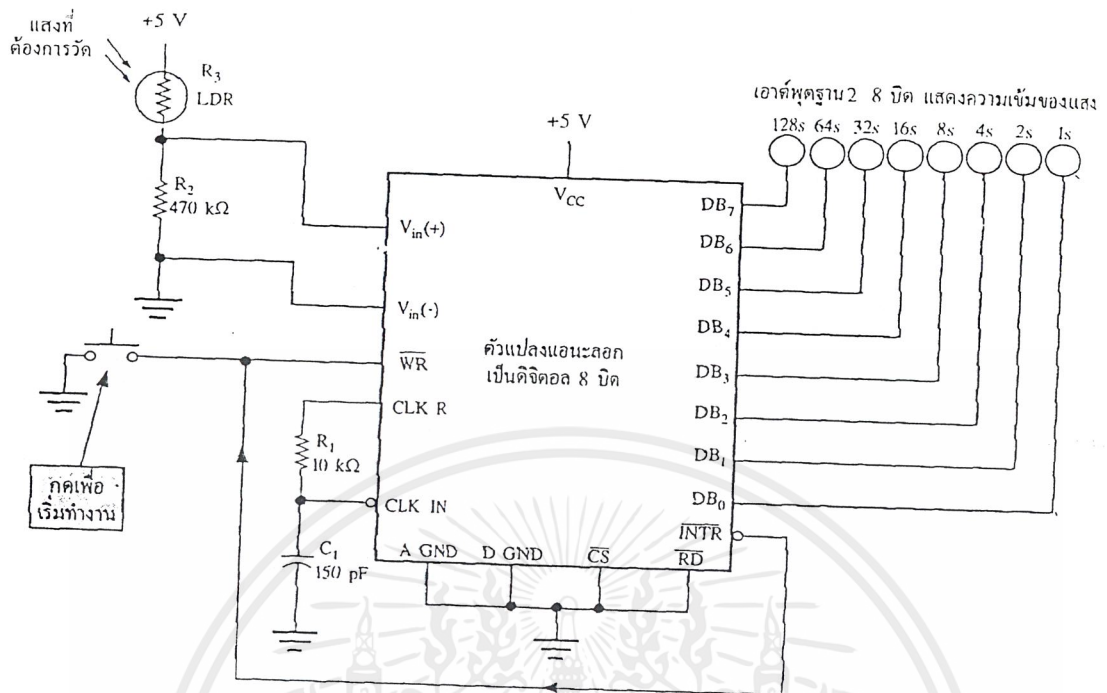
วงจรการต่อ ADC0804 เพื่อทดสอบการทำงานในกระบวนการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแสดงในรูปที่ 4.11 โดยต่อแรงดันแอนะล็อกอินพุตเข้าที่ขา $V_{in}(+)$ และ $V_{in}(-)$ ต่อจุดดินใช้ R $10\text{ k}\Omega$ เป็นชนิดปรับค่าได้ปรับค่าแรงดันด้านเข้าของวงจรตั้งแต่ $0-5.12\text{ V}$ สวิตช์ Start ต่อเข้ากับขา WR และ $-INTR$ สำหรับขา $-CS$ และ $-RD$ ต่อลงจุดดิน ขาสัญญาณนาฬิกา $CLK\ out$, $CLK\ in$ ต่อ R,C ภายนอกโดยใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน ADC0804 และขา $V_{ref}/2$ เปิดวงจร ดังนั้นจะรับ V_{in} ได้ $0-5\text{ V}$ และมีค่าความแยกชัดเท่ากับ 19.6 mV ต่อบิต เมื่อปรับค่า R $10\text{ k}\Omega$ ด้านอินพุตไปตำแหน่งต่ำสุด ($V_{in} = 0\text{ V}$) ไบนารีเอาต์พุตจะเป็น "0" ทั้ง 8 บิต และเมื่อค่า R $10\text{ k}\Omega$ ไปตำแหน่งสูงสุด ($V_{in} = 5\text{ V}$) ไบนารีเอาต์พุตจะเป็น "1" ทั้ง 8 บิต



รูปที่ 4.11 วงจรการทดสอบ ADC0804 ทำหน้าที่เป็นตัวแปลง A/D

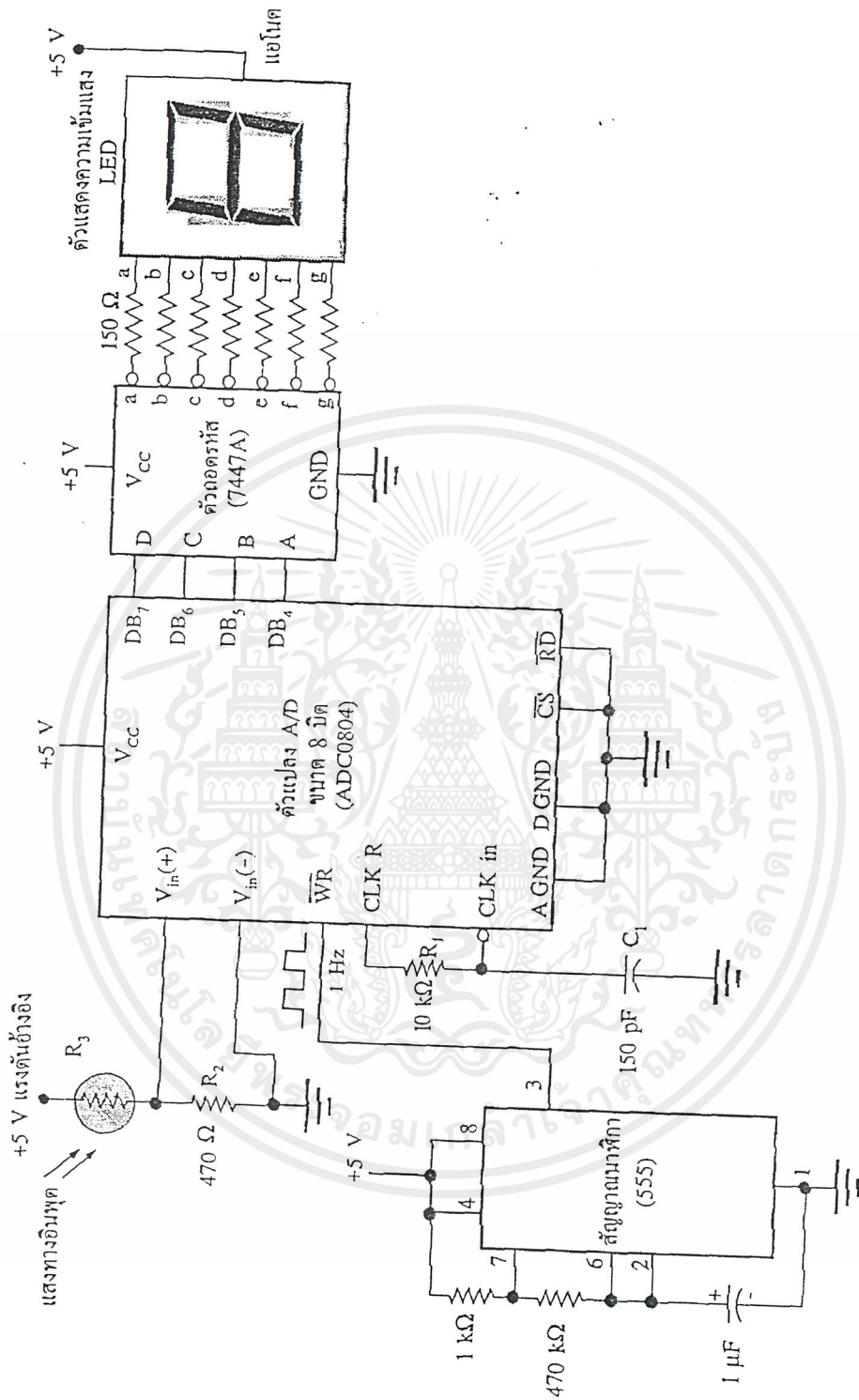
เมื่อนำวงจรรวมเบอร์ ADC0804 ไปสร้างประยุกต์เป็นมิเตอร์วัดแสง (Light meter) ได้ดังรูปที่ 4.12 โดยต่อโฟโตเซลล์ในวงจรคือ R_3 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่า R ของโฟโตเซลล์จะทำให้แรงดันตกคร่อม R_2 (แรงดัน V_{in}) เปลี่ยนแปลงไป ผลคือข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความสว่างของแสงที่ตกกระทบบโฟโตเซลล์ (R_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 วงจรการวัดแสงด้วย ADC0804

วงจรการวัดแสงด้วย ADC0804 สามารถดัดแปลงให้แสดงผลกับตัวแสดงผลเลข 7 ส่วน ชนิดแอนอนคร่วม โดยใช้ตัวขับชนิดที่ทีแอลเบอร์ 7447 ดังรูปที่ 4.12 โดยใช้ดิจิตอลเอาต์พุตเพียง 4 บิต $D_7 - D_4$ และใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1Hz จากวงจรอะอสเตเบิลที่ใช้ไทม์เมอร์เบอร์ 555 เพื่อให้วงจรรวม ADC 0804 อ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างของแสงที่ตกกระทบบ R_3 ทุก 1 วินาที



รูปที่ 4.13 วงจรวัดแสงที่แสดงผลด้วยตัวเลข 7 ส่วน อ่านค่าทุก 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

ในส่วนของการเขียนโปรแกรม จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนของโปรแกรมภาษาซี (Turbo C Language)
2. ส่วนของโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic)

ซึ่งในส่วนของโปรแกรมภาษาซีจะเป็นส่วนของการเขียนโปรแกรมสำหรับติดต่อกับพอร์ตขนาน (Parallel Port) หรือพอร์ตปริ้นเตอร์ (Printer Port) เพื่อทำการรับค่าข้อมูล (Data) จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) แล้วเก็บข้อมูลไว้ในไฟล์ชื่อ Test.TXT และทางด้านของส่วนโปรแกรมวิซวลเบสิกจะทำหน้าที่ในการรับไฟล์ข้อมูล Test.TXT ที่โปรแกรมภาษาซีสร้างขึ้น จากนั้นโปรแกรมวิซวลเบสิกจะนำข้อมูลที่รับมาทำการเขียนกราฟแสดงผลบนโปรแกรมวินโดว (Window) โดยจะทำการรับค่าข้อมูลจากเซลล์แสงอาทิตย์แล้วทำการแสดงข้อมูลในรูปแบบของกราฟแรงดันกับเวลาแบบเรียลไทม์ (Real time) เป็นเวลา 14 ชั่วโมง

5.1 รายละเอียดในส่วนของการเขียนโปรแกรมภาษาซี

โปรแกรมภาษาซีจะมีลักษณะการเขียนข้อมูลคือส่วนแรกติดต่อกับพอร์ตขนาน ส่วนที่สองคือรับค่าเข้ามาเก็บในไฟล์ชื่อ Test.TXT

ในโปรแกรมจะทำการรับข้อมูลจากเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ 2 นาที ตั้งแต่เวลา 5.00 น. ถึง 19.00 น. ของแต่ละวัน

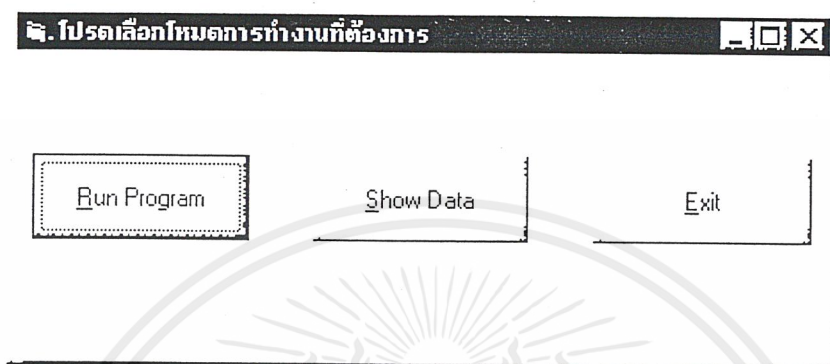
ในโปรแกรมตัวแปร base , data , ctrl จะทำหน้าที่อ้างอิงพอร์ตขนาน ตัวแปร v และ x จะเป็นตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ โดยที่พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์จะมีแอดเดรส (Address) อยู่ที่ตำแหน่ง 0x378

5.2 รายละเอียดในส่วนของการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic)

ในส่วนของการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก จะเป็นในเรื่องของการนำข้อมูลที่รับมาจากเซลล์แสงอาทิตย์มาทำการแสดงในรูปแบบของกราฟแรงดันกับเวลา โดยจะแสดงสเกลข้อมูลตามแกนอน (Horizontal Axial) เป็นข้อมูลของเวลาและแบ่งเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อความกว้าง 1 ช่อง ส่วนในแกนตั้ง (Vertical Axial) เป็นข้อมูลของแรงดัน และจะแบ่งเป็น 1 โวลต์ต่อความกว้าง 1 ช่อง ในโปรแกรมสามารถเลือกที่เรียกข้อมูลตามวันที่ต่างๆ ได้ จากนั้นในโปรแกรมยังสามารถทำการพิมพ์รูปกราฟที่ได้ خروجทางเครื่องพิมพ์ (Printer) ได้

5.2.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ในขั้นแรกเรียกไฟล์ชื่อ SPM_Pro.EXE เมื่อทำการเรียกไฟล์นี้ขึ้นมาแล้ว จะปรากฏหน้าจอเมนูดังรูปที่ 5.1 โดยในหน้าต่างนี้จะมีเมนูให้เลือก 3 เมนู คือ Run Program , Show Data และ Exit ตามลำดับ

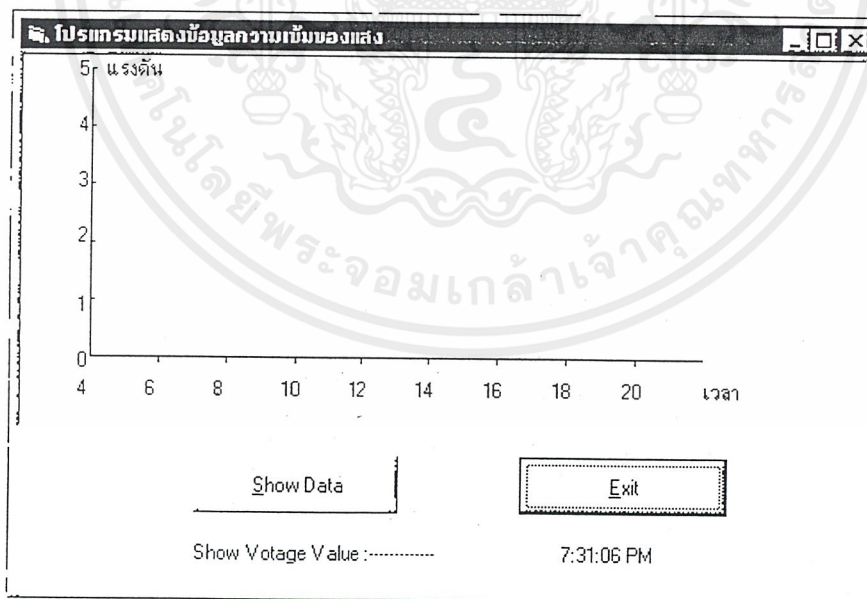


รูปที่ 5.1 แสดงเมนูเริ่มต้นของโปรแกรม

- เมนู Run Program จะเป็นการแสดงกราฟของข้อมูลแรงดันกับเวลาขณะที่ทำการรับแรงดัน

จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่เมื่อเลือกเมนู Run Program นี้ จะมีหน้าต่างต่อไปดังรูปที่

5.2

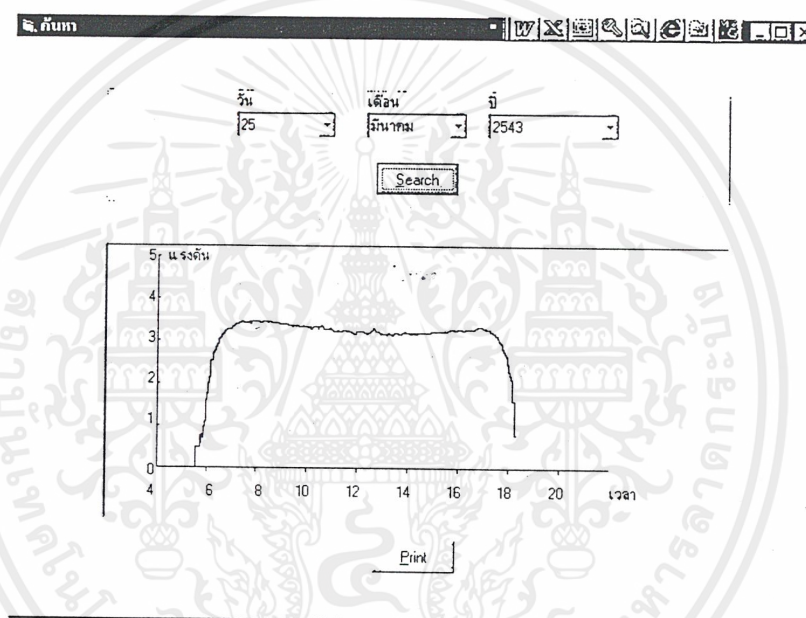


รูปที่ 5.2 แสดงหน้าต่างที่ทำการแสดงกราฟแรงดันกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 5.2 จะเป็นหน้าต่างแสดงกราฟที่แสดงข้อมูลแรงดันกับเวลาขณะที่ทำการวัด (Real Time) โดยที่หน้าต่างนี้จะมีเมนูให้เลือกอีก 2 เมนู คือ Show Data และ Exit ในเมนู Show Data นี้จะเป็นเมนูที่จะแสดงกราฟของข้อมูลที่เก็บไว้ก่อนหน้านี้เช่นเดียวกับเมนู Show Data ในหน้าต่างแรกตามรูปที่ 5.1 ส่วนเมนู Exit จะเป็นการออกจากโปรแกรม และในหน้าต่างนี้จะแสดงเวลาปัจจุบันขณะที่ทำการเก็บข้อมูลด้วยในส่วนของมุมล่างขวา

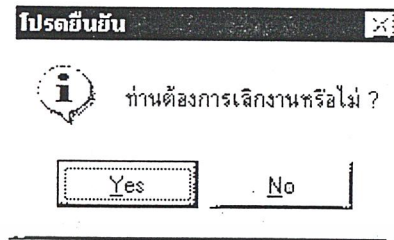
- เมนู Show Data จะเป็นเมนูที่จะแสดงข้อมูลที่เก็บไว้ก่อนหน้านี้ โดยเมื่อเลือกเมนูนี้จะมีหน้าต่างต่อไปแสดงขึ้นมา ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงหน้าต่างที่ทำการแสดงข้อมูลที่เก็บไว้ก่อนหน้านี้

โดยในหน้าต่างตามรูปที่ 5.3 นี้ จะมีช่องให้เลือกข้อมูลตามวันที่ เดือน และปีต่างๆที่ทำการเก็บไว้ก่อนหน้านี้ เมื่อทำการเลือกวันที่ เดือนและปีเรียบร้อยแล้วก็ให้คลิกที่ปุ่ม Search เพื่อทำการหาข้อมูลมาแสดงที่กราฟแรงดันกับเวลา หลังจากคลิกปุ่ม Search แล้วก็จะปรากฏข้อมูลขึ้นในกราฟ ส่วนปุ่ม Print มีไว้เพื่อทำการพิมพ์กราฟที่แสดงออกทางเครื่องพิมพ์ (เมนู Show Data ในรูป 5.1 นี้จะเป็นเมนูที่ทำหน้าที่เดียวกันกับเมนู Show Data ในรูปที่ 5.2)

- เมนู Exit จะเป็นการออกจากโปรแกรม โดยที่โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 5.4 เพื่อทำการยืนยันในการออกจากโปรแกรม



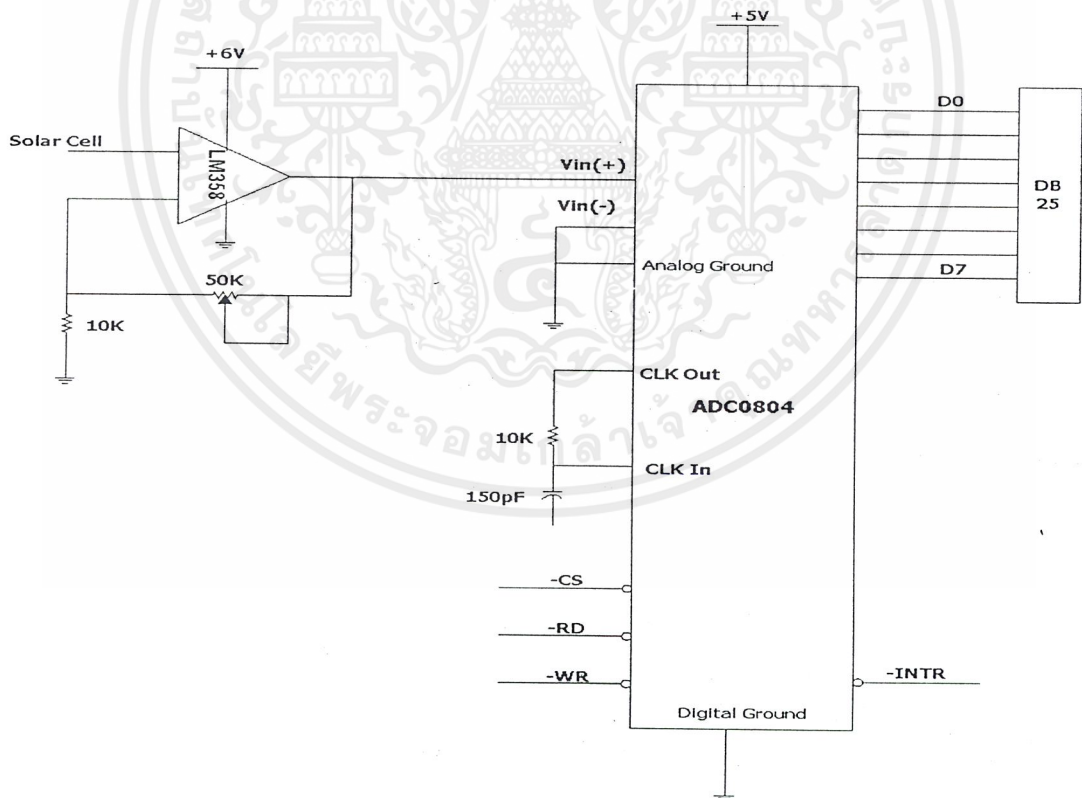
รูปที่ 5.4 แสดงหน้าต่างที่แสดงการยืนยันเพื่อออกจากโปรแกรม

เมื่อคลิกปุ่ม Yes ก็จะทำให้ออกจากโปรแกรม ถ้าคลิก No ก็จะกลับไปโปรแกรม

ใหม่อีก

ครั้ง (เมนู Exit ในรูป 5.1 จะเป็นเมนูเดียวกันกับเมนู Exit ในรูป 5.2)

วงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อและรับข้อมูลจากเซลล์แสงอาทิตย์จะแสดงได้ดังรูปที่ 5.5



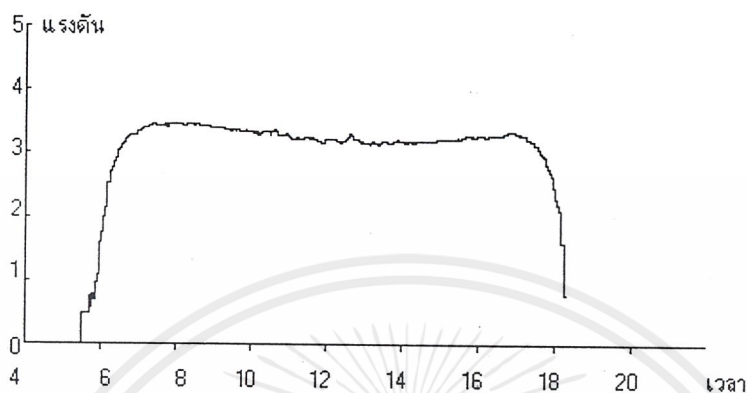
รูปที่ 5.5 แสดงวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

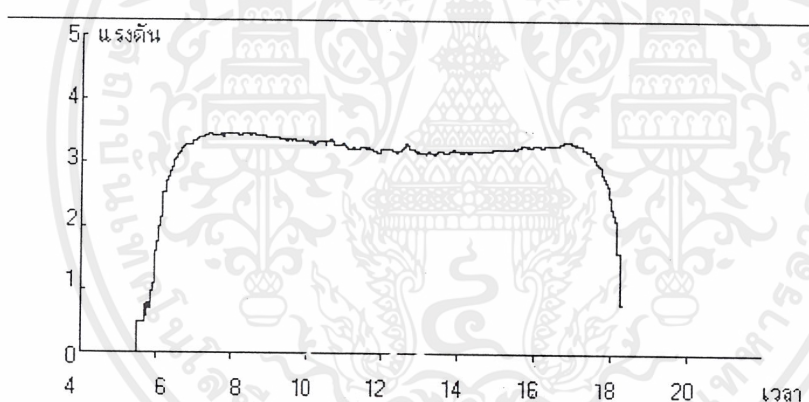
บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมาจะทำการนำเสนอข้อมูลบางชุด มาเป็นตัวอย่าง จากวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2543 จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงข้อมูลระหว่างแรงดันกับเวลาในวันที่ 25 มี.ค. พ.ศ. 2543



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงข้อมูลระหว่างแรงดันกับเวลาในวันที่ 28 มี.ค. พ.ศ. 2543

ซึ่งจากกราฟได้ว่า เราจะทำการเก็บข้อมูลทางแสง ในเวลาประมาณ 5.30 น. และสิ้นสุดการเก็บข้อมูลในเวลาประมาณ 18.30 น. ซึ่งให้ผลเป็นแรงดันที่ได้จากโซลาเซลล์กับเวลา จากกราฟสังเกตได้ว่าเมื่อเวลาประมาณ 7.30 น. กราฟจะค่าแรงดันที่คงที่ไปตลอด จนถึงเวลาประมาณ 17.30 น. ซึ่งในเวลาดังกล่าวเป็นจุดที่ทำให้กราฟลดลง

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟในวันอื่นๆ เช่น ในวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2543 ก็จะได้กราฟที่ใกล้เคียงกับวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2543 ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่ใช้รับแสง อาจจะมีการอิมตัว ซึ่งจะทำให้เกิดกราฟดังรูปที่ 6.2 ได้

ดังนั้นจากการทดลองแล้วจะได้ว่า เนื่องจากวัสดุที่ใช้รับแสง มีประสิทธิภาพที่ไม่ดีในการแยกแยะความเข้มแสง ทำให้การแยกขีดของรูปภาพของแสง เป็นดังรูปที่แสดงไปแล้ว ในส่วนที่ใช้เป็นตัวรับแสง ได้ใช้ Solar Cell ที่มีอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งหลังจากการทดลองแล้วพบว่า ได้ความแยกขีดของแสงต่ำ

ในการแก้ปัญหาที่เกิดจากการอิมตัวของโซลาเซลล์จะทำได้โดยการ นำโซลาเซลล์หลายๆ ตัวมาต่ออนุกรมกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของโปรแกรมภาษา C

```

#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <time.h>
#include <stdlib.h>
#include <graphics.h>
void main()
{
    unsigned base, data, ctrl;
    unsigned char v;
    char ch[10];
    FILE *f1;
    float x;
    base=0x378;
    data=base; ctrl=base+2;
    outportb(ctrl, 02);
    outportb(ctrl, 06);
    {
        outportb(ctrl, 37);
        v=inportb(data);
        outportb(ctrl, 36);
        x=v*0.0196;
        gcvt(x,3,ch);

        ***** PART 1 *****
    }

    f1=fopen("test.txt","w");
    {
        fprintf(f1,"%s",ch);
        fclose(f1);
    }

    ***** PART 2 *****
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
ส่วนของโปรแกรม Vb6
โปรแกรมในส่วนแรก
Private Sub Command1_Click()
Form1.Show
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
Form3.Show
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
If MsgBox("ท่านต้องการเลิกงานหรือไม่?", 68, "โปรดยืนยัน") = 6 Then
End
End If
End Sub

```

โปรแกรมในส่วนที่สอง

```

Option Explicit
Dim h As Integer, M As Integer, S As Integer
Dim a As String
Dim v As Integer
Dim e As Integer
Dim ws As Workspace
Dim db As Database
Dim rec As Recordset

Sub dbopen()
Set ws = DBEngine.Workspaces(0)
Set db = ws.OpenDatabase(App.Path & "inten.mdb", False, False)
Set rec = db.OpenRecordset( _

```

```
"select * " & _
"from intensity " & _
"order by day,time")
End Sub
```

```
Sub plot(x, y As Integer)
```

```
Picture1.Line (Picture1.CurrentX, Picture1.CurrentY)-(1050 + ((x - 1) * 10), 2600 - y * 5)
```

```
'Picture1.Line (Picture1.CurrentX, Picture1.CurrentY)-(1060 + ((x - 1) * 10), 2600 - y * 5)
```

```
End Sub
```

```
Sub initgraph()
```

```
Picture1.Cls
```

```
Picture1.Line (600, 100)-(600, 2600)
```

```
Picture1.Line (601, 2600)-(6000, 2600)
```

```
'scale x
```

```
Picture1.Line (1200, 2600)-(1200, 2650)
```

```
Picture1.Line (1800, 2600)-(1800, 2650)
```

```
Picture1.Line (2400, 2600)-(2400, 2650)
```

```
Picture1.Line (3000, 2600)-(3000, 2650)
```

```
Picture1.Line (3600, 2600)-(3600, 2650)
```

```
Picture1.Line (4200, 2600)-(4200, 2650)
```

```
Picture1.Line (4800, 2600)-(4800, 2650)
```

```
Picture1.Line (5400, 2600)-(5400, 2650)
```

```
'scale y
```

```
Picture1.Line (600, 2100)-(650, 2100)
```

```
Picture1.Line (600, 1600)-(650, 1600)
```

```
Picture1.Line (600, 1100)-(650, 1100)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Picture1.Line (600, 600)-(650, 600)
```

```
Picture1.Line (600, 100)-(650, 100)
```

```
Picture1.CurrentX = 1050
```

```
Picture1.CurrentY = 2600
```

```
End Sub
```

```
Sub add(v As String)
```

```
rec.AddNew
```

```
rec("day").Value = Date
```

```
rec("time").Value = Time
```

```
rec("vol").Value = CCur(v)
```

```
rec.Update
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Form3.Show vbModal
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
e = 1
```

```
Call dbopen
```

```
Call initgraph
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```
rec.Close
```

```
db.Close
```

```
ws.Close
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub Timer1_Timer()
Label1.Caption = Time()
h = Hour(Time)
M = Minute(Time)
S = Second(Time)
bb
End Sub

```

```

Private Sub bb()
Dim i As Integer
Dim t As Date

```

```

If Hour(Time) = 5 Then
e = (((Minute(Time) - 30) / 2) + 1)
Else
e = (Hour(Time) - 5) * 30 + (Minute(Time) / 2)
Picture1.CurrentX = (e - 1) * 10 + 1050
Picture1.CurrentY = 2600
End If

```

```
i = M Mod 2
```

```
If (S = 0) And (i = 0) Then
```

```
Shell "C:\My_pro\la.EXE", 1
```

```
Open "c:\My_pro\test.txt" For Input As #1
```

```
Line Input #1, a
```

```
Close #1
```

```
Call add(a)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call plot(e, CInt(CCur(a) * 100))
```

```
e = e + 1
```

```
Label2.Caption = a
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Exit_Click()
```

```
If MsgBox("ท่านต้องการเลิกงานหรือไม่?", 68, "โปรดยืนยัน") = 6 Then
```

```
End
```

```
End If
```

```
End Sub
```

ในส่วนที่สาม

```
Dim ws As Workspace
```

```
Dim db As Database
```

```
Dim rec As Recordset
```

```
Sub dbopen()
```

```
Set ws = DBEngine.Workspaces(0)
```

```
Set db = ws.OpenDatabase(App.Path & "\inten.mdb", False, False)
```

```
Set rec = db.OpenRecordset( _
```

```
"select * " & _
```

```
"from intensity " & _
```

```
"order by day,time")
```

```
End Sub
```

```
Sub filltime()
```

```
Dim D As Date
```

```
D = Date
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Combo1.Text = Day(D)

Select Case Month(D)

Case 1

Combo2.Text = "มกราคม"

Case 2

Combo2.Text = "กุมภาพันธ์"

Case 3

Combo2.Text = "มีนาคม"

Case 4

Combo2.Text = "เมษายน"

Case 5

Combo2.Text = "พฤษภาคม"

Case 6

Combo2.Text = "มิถุนายน"

Case 7

Combo2.Text = "กรกฎาคม"

Case 8

Combo2.Text = "สิงหาคม"

Case 9

Combo2.Text = "กันยายน"

Case 10

Combo2.Text = "ตุลาคม"

Case 11

Combo2.Text = "พฤศจิกายน"

Case 12

Combo2.Text = "ธันวาคม"

End Select

Combo3.Text = Year(D) + 543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Sub fillcombo1()

For i = 1 To 31 Step 1

Combo1.AddItem (i)

Next i

End Sub

Sub fillcombo2()

Combo2.AddItem ("มกราคม")

Combo2.AddItem ("กุมภาพันธ์")

Combo2.AddItem ("มีนาคม")

Combo2.AddItem ("เมษายน")

Combo2.AddItem ("พฤษภาคม")

Combo2.AddItem ("มิถุนายน")

Combo2.AddItem ("กรกฎาคม")

Combo2.AddItem ("สิงหาคม")

Combo2.AddItem ("กันยายน")

Combo2.AddItem ("ตุลาคม")

Combo2.AddItem ("พฤศจิกายน")

Combo2.AddItem ("ธันวาคม")

End Sub

Sub fillcombo3()

Dim i As Integer

Dim D As Date

D = Date

For i = -5 To 0 Step 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Combo3.AddItem Year(D) + 543 + i
```

```
Next i
```

```
For i = 1 To 5 Step 1
```

```
Combo3.AddItem Year(D) + 543 + i
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Sub clear()
```

```
Combo1.Text = ""
```

```
Combo2.Text = ""
```

```
Combo3.Text = ""
```

```
Picture1.Cls
```

```
End Sub
```

```
Sub plot(x, y As Integer)
```

```
'Dim h As Integer
```

```
'h = Hour(rec("time"))
```

```
'Picture1.PSet (900 + (x - 1) * 10, 2600 - y * 5)
```

```
Picture1.Line (Picture1.CurrentX, Picture1.CurrentY)-(1050 + ((x - 1) * 10), 2600 - y * 5)
```

```
Picture1.Line (Picture1.CurrentX, Picture1.CurrentY)-(1060 + ((x - 1) * 10), 2600 - y * 5)
```

```
End Sub
```

```
Sub initgraph()
```

```
Picture1.Cls
```

```
Picture1.Line (600, 100)-(600, 2600)
```

```
Picture1.Line (601, 2600)-(6000, 2600)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'scale x

Picture1.Line (1200, 2600)-(1200, 2650)

Picture1.Line (1800, 2600)-(1800, 2650)

Picture1.Line (2400, 2600)-(2400, 2650)

Picture1.Line (3000, 2600)-(3000, 2650)

Picture1.Line (3600, 2600)-(3600, 2650)

Picture1.Line (4200, 2600)-(4200, 2650)

Picture1.Line (4800, 2600)-(4800, 2650)

Picture1.Line (5400, 2600)-(5400, 2650)

'scale y

Picture1.Line (600, 2100)-(650, 2100)

Picture1.Line (600, 1600)-(650, 1600)

Picture1.Line (600, 1100)-(650, 1100)

Picture1.Line (600, 600)-(650, 600)

Picture1.Line (600, 100)-(650, 100)

Picture1.CurrentX = 1050

Picture1.CurrentY = 2600

End Sub

Private Sub Command1_Click()

Dim str As String

Dim D As Date

Dim i As Integer

str = Combo1.Text & " " & Combo2.Text & " " & Combo3.Text

If IsDate(str) Then

D = CDate(str)

rec.FindFirst "Cdate(day) = " & D & ""

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Not rec.NoMatch Then
    Picture1.Visible = True
    initgraph

    i = 1

    Do While Not rec.NoMatch

        Call plot(i, rec("vol") * 100)
        rec.FindNext "Cdate(day) =" & D & ""
        i = i + 1
    Loop

Else
    MsgBox "ไม่พบข้อมูลในวันที่กำหนด", vbOKOnly + vbCritical, "Error"
    clear
End If

Else
    MsgBox "ข้อมูลวันที่ผิดพลาด", vbOKOnly + vbCritical, "Error"
    clear
End If

End Sub

Private Sub Command2_Click()

    CommonDialog1.ShowPrinter

    Form2.PrintForm

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub Form_Load()

Picture1.Visible = False

Call dbopen

Call fillcombo1

Call fillcombo2

Call fillcombo3

Call filltime

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของข้อมูลแสงในวันที่ 25 มีค. 2543

time	vol	day
5:32:01	฿0.49	25/3/43
5:34:01	฿0.49	25/3/43
5:36:01	฿0.49	25/3/43
5:38:01	฿0.49	25/3/43
5:40:01	฿0.49	25/3/43
5:42:00	฿0.49	25/3/43
5:44:01	฿0.76	25/3/43
5:46:00	฿0.57	25/3/43
5:48:00	฿0.78	25/3/43
5:50:00	฿0.69	25/3/43
5:52:01	฿0.69	25/3/43
5:54:01	฿0.98	25/3/43
5:56:01	฿1.08	25/3/43
5:58:01	฿1.20	25/3/43
6:00:01	฿1.61	25/3/43
6:02:01	฿1.76	25/3/43
6:04:01	฿1.98	25/3/43
6:06:01	฿2.00	25/3/43
6:08:01	฿2.14	25/3/43
6:10:01	฿2.29	25/3/43
6:12:01	฿2.53	25/3/43
6:14:01	฿2.53	25/3/43
6:16:01	฿2.63	25/3/43
6:18:01	฿2.70	25/3/43
6:20:01	฿2.76	25/3/43
6:22:01	฿2.80	25/3/43
6:26:01	฿2.86	25/3/43
6:28:01	฿2.92	25/3/43
6:30:01	฿3.04	25/3/43
6:32:01	฿3.04	25/3/43
6:34:01	฿3.06	25/3/43
6:36:01	฿3.10	25/3/43
6:38:01	฿3.12	25/3/43
6:40:01	฿3.16	25/3/43
6:42:01	฿3.18	25/3/43
6:44:01	฿3.21	25/3/43
6:46:01	฿3.25	25/3/43
6:48:01	฿3.25	25/3/43
6:50:01	฿3.27	25/3/43
6:52:01	฿3.27	25/3/43
6:54:01	฿3.27	25/3/43
6:56:01	฿3.29	25/3/43
6:58:01	฿3.29	25/3/43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
7:00:01	B3.31	25/3/43
7:02:01	B3.33	25/3/43
7:04:01	B3.35	25/3/43
7:06:01	B3.37	25/3/43
7:08:01	B3.37	25/3/43
7:12:01	B3.39	25/3/43
7:14:01	B3.39	25/3/43
7:16:01	B3.39	25/3/43
7:18:01	B3.41	25/3/43
7:20:01	B3.43	25/3/43
7:22:01	B3.43	25/3/43
7:24:01	B3.43	25/3/43
7:28:01	B3.43	25/3/43
7:30:01	B3.45	25/3/43
7:32:01	B3.45	25/3/43
7:34:01	B3.43	25/3/43
7:36:01	B3.43	25/3/43
7:38:01	B3.43	25/3/43
7:40:01	B3.43	25/3/43
7:42:01	B3.43	25/3/43
7:44:01	B3.43	25/3/43
7:46:01	B3.43	25/3/43
7:48:01	B3.43	25/3/43
7:50:01	B3.45	25/3/43
7:52:01	B3.45	25/3/43
7:54:01	B3.41	25/3/43
7:56:01	B3.45	25/3/43
7:58:01	B3.45	25/3/43
8:00:01	B3.45	25/3/43
8:02:01	B3.45	25/3/43
8:04:01	B3.45	25/3/43
8:06:01	B3.45	25/3/43
8:08:01	B3.45	25/3/43
8:10:01	B3.45	25/3/43
8:14:01	B3.45	25/3/43
8:16:01	B3.45	25/3/43
8:18:01	B3.45	25/3/43
8:20:01	B3.43	25/3/43
8:22:01	B3.43	25/3/43
8:24:01	B3.45	25/3/43
8:26:01	B3.45	25/3/43
8:28:01	B3.45	25/3/43
8:30:01	B3.45	25/3/43
8:32:01	B3.45	25/3/43
8:34:01	B3.45	25/3/43



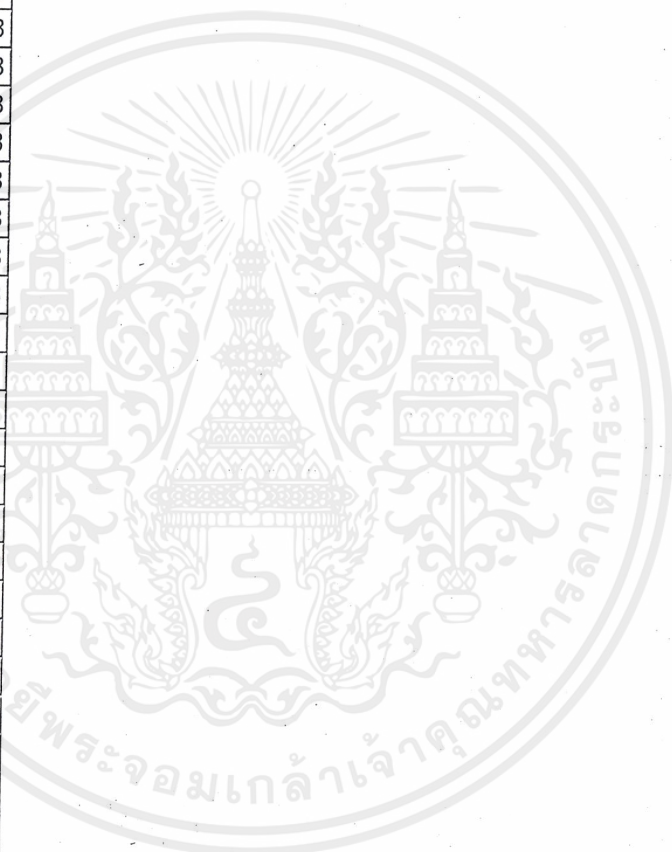
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
8:36:01	B3.45	25/3/43
8:38:01	B3.43	25/3/43
8:40:01	B3.45	25/3/43
8:42:01	B3.45	25/3/43
8:44:01	B3.45	25/3/43
8:46:01	B3.43	25/3/43
8:48:01	B3.43	25/3/43
8:50:01	B3.43	25/3/43
8:52:01	B3.43	25/3/43
8:54:01	B3.43	25/3/43
8:56:01	B3.43	25/3/43
8:58:00	B3.43	25/3/43
9:00:00	B3.43	25/3/43
9:02:00	B3.43	25/3/43
9:04:00	B3.41	25/3/43
9:06:00	B3.41	25/3/43
9:08:00	B3.41	25/3/43
9:10:00	B3.41	25/3/43
9:12:00	B3.39	25/3/43
9:14:00	B3.39	25/3/43
9:16:00	B3.39	25/3/43
9:18:00	B3.39	25/3/43
9:20:00	B3.39	25/3/43
9:22:00	B3.39	25/3/43
9:24:00	B3.37	25/3/43
9:26:00	B3.37	25/3/43
9:28:00	B3.37	25/3/43
9:30:00	B3.37	25/3/43
9:32:00	B3.37	25/3/43
9:34:00	B3.35	25/3/43
9:36:00	B3.37	25/3/43
9:38:00	B3.37	25/3/43
9:40:00	B3.37	25/3/43
9:42:00	B3.35	25/3/43
9:44:00	B3.37	25/3/43
9:46:00	B3.37	25/3/43
9:48:00	B3.35	25/3/43
9:50:00	B3.33	25/3/43
9:52:00	B3.35	25/3/43
9:54:00	B3.35	25/3/43
9:56:00	B3.35	25/3/43
9:58:00	B3.35	25/3/43
10:00:00	B3.37	25/3/43
10:02:00	B3.35	25/3/43
10:04:00	B3.33	25/3/43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
10:06:00	B3.33	25/3/43
10:08:00	B3.35	25/3/43
10:10:00	B3.33	25/3/43
10:12:00	B3.31	25/3/43
10:14:00	B3.31	25/3/43
10:16:00	B3.33	25/3/43
10:18:00	B3.33	25/3/43
10:20:00	B3.29	25/3/43
10:22:00	B3.31	25/3/43
10:24:00	B3.33	25/3/43
10:26:00	B3.33	25/3/43
10:28:00	B3.35	25/3/43
10:30:00	B3.35	25/3/43
10:32:00	B3.35	25/3/43
10:34:01	B3.33	25/3/43
10:36:01	B3.29	25/3/43
10:38:01	B3.33	25/3/43
10:40:01	B3.35	25/3/43
10:42:01	B3.35	25/3/43
10:44:01	B3.37	25/3/43
10:46:01	B3.33	25/3/43
10:48:01	B3.27	25/3/43
10:50:01	B3.27	25/3/43
10:52:01	B3.27	25/3/43
10:54:01	B3.27	25/3/43
10:56:01	B3.29	25/3/43
10:58:01	B3.29	25/3/43
11:00:01	B3.29	25/3/43
11:02:01	B3.29	25/3/43
11:04:01	B3.31	25/3/43
11:06:01	B3.27	25/3/43
11:08:01	B3.27	25/3/43
11:10:01	B3.25	25/3/43
11:12:01	B3.23	25/3/43
11:14:01	B3.23	25/3/43
11:16:01	B3.23	25/3/43
11:18:01	B3.23	25/3/43
11:20:01	B3.23	25/3/43
11:22:00	B3.25	25/3/43
11:24:00	B3.25	25/3/43
11:26:00	B3.23	25/3/43
11:28:00	B3.23	25/3/43
11:30:00	B3.23	25/3/43
11:32:00	B3.23	25/3/43
11:34:00	B3.25	25/3/43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
11:36:00	B3.25	25/3/43
11:38:00	B3.25	25/3/43
11:40:00	B3.25	25/3/43
11:42:00	B3.23	25/3/43
11:44:00	B3.21	25/3/43
11:48:00	B3.25	25/3/43
11:50:00	B3.23	25/3/43
11:52:00	B3.21	25/3/43
11:54:00	B3.21	25/3/43
11:56:00	B3.19	25/3/43
11:58:00	B3.19	25/3/43
12:00:00	B3.19	25/3/43
12:02:00	B3.19	25/3/43
12:04:00	B3.16	25/3/43
12:06:00	B3.16	25/3/43
12:08:00	B3.19	25/3/43
12:10:01	B3.21	25/3/43
12:12:00	B3.21	25/3/43
12:14:01	B3.23	25/3/43
12:16:00	B3.23	25/3/43
12:18:01	B3.21	25/3/43
12:20:00	B3.23	25/3/43
12:22:01	B3.23	25/3/43
12:24:00	B3.21	25/3/43
12:26:00	B3.19	25/3/43
12:28:00	B3.19	25/3/43
12:30:01	B3.19	25/3/43
12:32:00	B3.18	25/3/43
12:34:00	B3.16	25/3/43
12:36:00	B3.18	25/3/43
12:38:00	B3.18	25/3/43
12:40:00	B3.19	25/3/43
12:42:00	B3.21	25/3/43
12:44:00	B3.25	25/3/43
12:46:01	B3.25	25/3/43
12:48:01	B3.31	25/3/43
12:50:01	B3.27	25/3/43
12:52:01	B3.27	25/3/43
12:54:01	B3.23	25/3/43
12:56:01	B3.23	25/3/43
12:58:01	B3.23	25/3/43
13:00:01	B3.21	25/3/43
13:02:01	B3.19	25/3/43
13:04:01	B3.18	25/3/43
13:06:01	B3.16	25/3/43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
13:08:01	B3.18	25/3/43
13:10:01	B3.16	25/3/43
13:12:01	B3.16	25/3/43
13:14:01	B3.16	25/3/43
13:16:01	B3.16	25/3/43
13:18:01	B3.16	25/3/43
13:20:01	B3.14	25/3/43
13:22:01	B3.16	25/3/43
13:24:01	B3.18	25/3/43
13:26:01	B3.16	25/3/43
13:28:01	B3.16	25/3/43
13:30:01	B3.16	25/3/43
13:32:01	B3.14	25/3/43
13:34:01	B3.14	25/3/43
13:36:01	B3.16	25/3/43
13:38:01	B3.16	25/3/43
13:40:01	B3.18	25/3/43
13:42:01	B3.18	25/3/43
13:44:01	B3.19	25/3/43
13:46:01	B3.19	25/3/43
13:48:01	B3.16	25/3/43
13:50:01	B3.16	25/3/43
13:52:01	B3.16	25/3/43
13:54:01	B3.16	25/3/43
13:56:01	B3.19	25/3/43
13:58:01	B3.18	25/3/43
14:00:01	B3.18	25/3/43
14:02:01	B3.18	25/3/43
14:04:01	B3.21	25/3/43
14:06:01	B3.19	25/3/43
14:08:01	B3.18	25/3/43
14:10:00	B3.19	25/3/43
14:12:00	B3.18	25/3/43
14:14:00	B3.18	25/3/43
14:16:00	B3.16	25/3/43
14:18:00	B3.18	25/3/43
14:22:01	B3.16	25/3/43
14:24:00	B3.19	25/3/43
14:26:00	B3.18	25/3/43
14:28:01	B3.16	25/3/43
14:30:00	B3.18	25/3/43
14:32:01	B3.16	25/3/43
14:34:00	B3.16	25/3/43
14:36:00	B3.18	25/3/43
14:38:00	B3.18	25/3/43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
14:40:00	B3.18	25/3/43
14:42:00	B3.18	25/3/43
14:44:00	B3.19	25/3/43
14:46:00	B3.18	25/3/43
14:48:01	B3.18	25/3/43
14:50:01	B3.18	25/3/43
14:52:01	B3.18	25/3/43
14:54:01	B3.18	25/3/43
14:56:01	B3.18	25/3/43
14:58:01	B3.18	25/3/43
15:00:01	B3.18	25/3/43
15:02:01	B3.18	25/3/43
15:04:01	B3.18	25/3/43
15:06:01	B3.19	25/3/43
15:08:01	B3.21	25/3/43
15:10:01	B3.21	25/3/43
15:12:01	B3.23	25/3/43
15:14:01	B3.21	25/3/43
15:16:01	B3.21	25/3/43
15:18:01	B3.21	25/3/43
15:20:01	B3.21	25/3/43
15:22:01	B3.23	25/3/43
15:24:01	B3.23	25/3/43
15:26:01	B3.21	25/3/43
15:28:01	B3.21	25/3/43
15:30:01	B3.21	25/3/43
15:32:01	B3.21	25/3/43
15:34:01	B3.21	25/3/43
15:36:00	B3.23	25/3/43
15:38:00	B3.23	25/3/43
15:40:00	B3.25	25/3/43
15:42:01	B3.23	25/3/43
15:44:01	B3.23	25/3/43
15:46:01	B3.23	25/3/43
15:48:01	B3.25	25/3/43
15:50:01	B3.25	25/3/43
15:52:01	B3.27	25/3/43
15:54:01	B3.27	25/3/43
15:56:01	B3.27	25/3/43
15:58:01	B3.27	25/3/43
16:00:01	B3.27	25/3/43
16:02:01	B3.25	25/3/43
16:04:01	B3.27	25/3/43
16:06:01	B3.25	25/3/43
16:08:01	B3.25	25/3/43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
16:10:01	B3.27	25/3/43
16:12:01	B3.27	25/3/43
16:14:01	B3.27	25/3/43
16:16:00	B3.27	25/3/43
16:18:00	B3.27	25/3/43
16:20:00	B3.27	25/3/43
16:22:00	B3.27	25/3/43
16:24:00	B3.25	25/3/43
16:26:00	B3.25	25/3/43
16:28:00	B3.27	25/3/43
16:30:00	B3.29	25/3/43
16:32:00	B3.29	25/3/43
16:34:00	B3.29	25/3/43
16:36:00	B3.29	25/3/43
16:38:00	B3.29	25/3/43
16:40:00	B3.29	25/3/43
16:42:00	B3.27	25/3/43
16:44:00	B3.29	25/3/43
16:46:00	B3.27	25/3/43
16:48:00	B3.27	25/3/43
16:50:00	B3.27	25/3/43
16:52:00	B3.30	25/3/43
17:18:01	B3.30	25/3/43
17:20:01	B3.31	25/3/43
17:22:01	B3.35	25/3/43
17:24:01	B3.35	25/3/43
17:26:01	B3.33	25/3/43
17:30:01	B3.33	25/3/43
17:32:01	B3.33	25/3/43
17:34:01	B3.33	25/3/43
17:36:01	B3.31	25/3/43
17:38:00	B3.31	25/3/43
17:40:01	B3.31	25/3/43
17:42:01	B3.29	25/3/43
17:44:01	B3.31	25/3/43
17:46:00	B3.29	25/3/43
17:48:01	B3.29	25/3/43
17:50:00	B3.29	25/3/43
17:52:00	B3.27	25/3/43
17:54:00	B3.25	25/3/43
17:56:00	B3.23	25/3/43
17:58:00	B3.21	25/3/43
18:00:00	B3.19	25/3/43
18:02:00	B3.19	25/3/43
18:04:00	B3.18	25/3/43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	vol	day
18:06:00	฿3.16	25/3/43
18:08:00	฿3.14	25/3/43
18:10:00	฿3.12	25/3/43
18:12:00	฿3.12	25/3/43
18:14:00	฿3.08	25/3/43
18:16:00	฿3.02	25/3/43
18:18:00	฿2.98	25/3/43
18:20:00	฿2.98	25/3/43
18:22:00	฿2.94	25/3/43
18:24:00	฿2.88	25/3/43
18:26:00	฿2.82	25/3/43
18:28:00	฿2.76	25/3/43
18:30:00	฿2.70	25/3/43
18:32:00	฿2.70	25/3/43
18:34:00	฿2.65	25/3/43
18:36:00	฿2.55	25/3/43
18:38:00	฿2.47	25/3/43
18:40:00	฿2.29	25/3/43
18:42:00	฿2.29	25/3/43
18:44:00	฿2.21	25/3/43
18:46:00	฿2.10	25/3/43
18:48:00	฿1.96	25/3/43
18:50:00	฿1.61	25/3/43
18:52:00	฿1.61	25/3/43
18:54:00	฿1.37	25/3/43
18:56:00	฿0.80	25/3/43
18:58:00	฿0.80	25/3/43
19:00:00	฿0.78	25/3/43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM158/LM258/LM358, LM158A/LM258A/LM358A, LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5 V_{DC} power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ±15 V_{DC} power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

Advantages

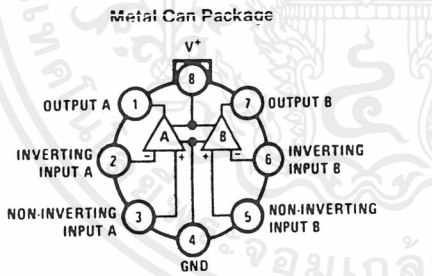
- Eliminates need for dual supplies
- Two internally compensated op amps in a single package

- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM1558/LM1458 dual operational amplifier

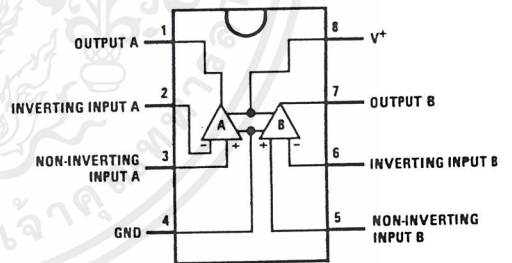
Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz
(temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3 V_{DC} to 32 V_{DC}
or dual supplies ±1.5 V_{DC} to ±16 V_{DC}
- Very low supply current drain (500 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA_{DC}
(temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV_{DC}
and offset current 5 nA_{DC}
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V_{DC} to V⁺ - 1.5 V_{DC}

Connection Diagrams (Top Views)



Order Number LM158AH, LM158H, LM258AH,
LM258H, LM358AH or LM358H
See NS Package Number H08C



Order Number LM158J, LM158AJ or LM358J
See NS Package Number J08A
Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M
See NS Package Number M08A
Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N
See NS Package Number N08E

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 9)

	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A	LM2904	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A
Supply Voltage, V^+	32 V _{DC} or ± 16 V _{DC}	26 V _{DC} or ± 13 V _{DC}	0°C to +70°C -40°C to +85°C
Differential Input Voltage	32 V _{DC}	26 V _{DC}	LM358 -25°C to +85°C LM258 -55°C to +125°C LM158 -65°C to +150°C
Input Voltage	-0.3 V _{DC} to +32 V _{DC}	-0.3 V _{DC} to +26 V _{DC}	Operating Temperature Range
Power Dissipation (Note 1)	830 mW	830 mW	LM358 260°C LM258 300°C LM158 300°C
Molded DIP (LM358N)	550 mW	550 mW	Storage Temperature Range
Metal Can (LM158H/ LM258H/LM358H)	530 mW	530 mW	Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds)
Small Outline Package	Continuous	Continuous	Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds)
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	Continuous	Continuous	Soldering Information
$V^+ \leq 15$ V _{DC} and $T_A = 25^\circ\text{C}$	50 mA	50 mA	Dual-In-Line Package Soldering (10 seconds)
Input Current ($V_{IN} < -0.3$ V _{DC}) (Note 3)	50 mA	50 mA	Small Outline Package Vapor Phase (60 seconds) Infrared (15 seconds)

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.
ESD Tolerance (Note 10) 250V

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0$ V_{DC}, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A		LM258A		LM358A		LM158/LM258		LM358		LM2904		Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		Min	Typ
Input Offset Voltage	(Note 5), $T_A = 25^\circ\text{C}$			±1	±2	±1	±3	±2	±3	±2	±5	±2	±7	±2	±7	mV _{DC}
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 0\text{V}$, (Note 6)	20	50	40	80	45	100	45	150	45	250	45	250	45	250	nADC
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	±2	±10	±2	±15	±5	±30	±5	±30	±5	±50	±5	±50	±5	±50	nADC
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30$ V _{DC} , (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26\text{V}$), $T_A = 25^\circ\text{C}$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V _{DC}
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30\text{V}$ (LM2904 $V^+ = 25\text{V}$) $V^+ = 5\text{V}$	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	mADC
		0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	mADC

Electrical Characteristics (Continued) $V^+ = +5.0\text{ V}_{\text{DC}}$, Note 4, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A		LM258A		LM358A		LM158/LM258		LM358		LM2904		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15\text{ V}_{\text{DC}}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, (For $V_O = 1\text{ V}_{\text{DC}}$ to 11 V_{DC})	50	100	50	100	25	100	25	100	25	100	25	100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{\text{CM}} = 0\text{V to } V^+ - 1.5\text{ V}_{\text{DC}}$	70	85	70	85	65	85	65	85	65	85	50	70	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC, $V^+ = 5\text{ V}_{\text{DC}}$ to 30 V_{DC} (LM2904, $V^+ = 5\text{ V}_{\text{DC}}$ to 26 V_{DC}), $T_A = 25^\circ\text{C}$	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred), (Note 8)	-	-	-120	-	-120	-	-120	-	-120	-	-120	-	dB
Output Current Source	$V_{\text{IN}}^+ = 1\text{ V}_{\text{DC}}$, $V_{\text{IN}}^- = 0\text{ V}_{\text{DC}}$, $V^+ = 15\text{ V}_{\text{DC}}$, $V_O = 2\text{ V}_{\text{DC}}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	mADC
Sink	$V_{\text{IN}}^- = 1\text{ V}_{\text{DC}}$, $V_{\text{IN}}^+ = 0\text{ V}_{\text{DC}}$, $V^+ = 15\text{ V}_{\text{DC}}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 2\text{ V}_{\text{DC}}$	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mADC
Short Circuit to Ground	$V_{\text{IN}}^- = 1\text{ V}_{\text{DC}}$, $V_{\text{IN}}^+ = 0\text{ V}_{\text{DC}}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 200\text{ mV}_{\text{DC}}$, $V^+ = 15\text{ V}_{\text{DC}}$	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	μADC
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 2), $V^+ = 15\text{ V}_{\text{DC}}$	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	mADC
Input Offset Voltage Drift	(Note 5) $R_S = 0\Omega$	7	15	7	15	7	15	7	15	7	15	7	15	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{\text{IN}(+)} - I_{\text{IN}(-)}$	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	nADC
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	10	200	10	200	10	300	10	300	10	300	10	300	pADC/ $^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_{\text{IN}(+)} \text{ or } I_{\text{IN}(-)}$	40	100	40	100	40	200	40	300	40	500	40	500	nADC

Electrical Characteristics (Continued) $V^+ = +5.0 V_{DC}$. Note 4, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A		LM258A		LM358A		LM158/LM258		LM358		LM2904		Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30 V_{DC}$. (Note 7) (LM2904, $V^+ = 28 V_{DC}$)	0		$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V_{DC}
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15 V_{DC}$ ($V_O = 1 V_{DC}$ to $11 V_{DC}$) $R_L \geq 2 k\Omega$	25			25	15			25	15			15		V/mV
Output Voltage Swing															
V_{OH}	$V^+ = +30 V_{DC}$, $R_L = 2 k\Omega$ $R_L \geq 10 k\Omega$	26		26	26	26		26	26	26		26	22		V_{DC}
V_{OL}	(LM2904, $V^+ = 26 V_{DC}$) $V^+ = 5 V_{DC}$, $R_L \geq 10 k\Omega$	27	28		27	28		27	28	27	28		23	24	V_{DC}
Output Current Source	$V_O = 2 V_{DC}$ $V_{IN}^+ = +1 V_{DC}$, $V_{IN}^- = 0 V_{DC}$, $V^+ = 15 V_{DC}$	10	20		10	20		10	20	10	20		10	20	mA_{DC}
Sink	$V_{IN}^- = +1 V_{DC}$, $V_{IN}^+ = 0 V_{DC}$, $V^+ = 15 V_{DC}$	10	15		5	8		5	8	5	8		5	8	mA_{DC}

Note 1: For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $120^\circ C/W$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a $+150^\circ C$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. V^+ . At values of supply voltage in excess of $+15 V_{DC}$, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral N/P parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3 V_{DC}$ (at $25^\circ C$).

Note 4: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +65^\circ C$, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM158/LM158A, all temperature specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 5: $V_O \approx 1.4 V_{DC}$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from $5 V_{DC}$ to $30 V_{DC}$; and over the full input common-mode range ($0 V_{DC}$ to $V^+ - 1.5 V_{DC}$) at $25^\circ C$. For LM2904, V^+ from $5 V_{DC}$ to $28 V_{DC}$.

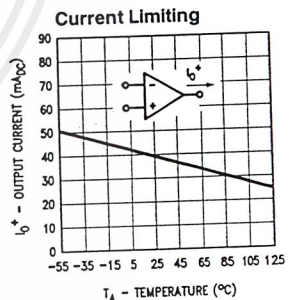
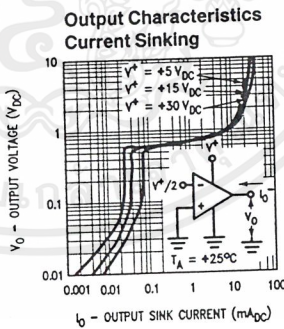
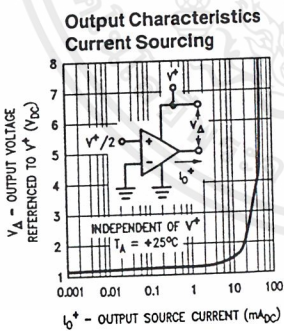
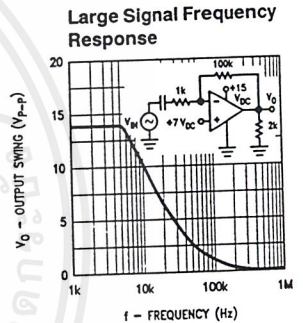
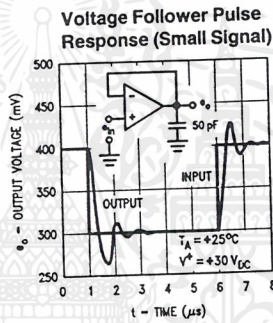
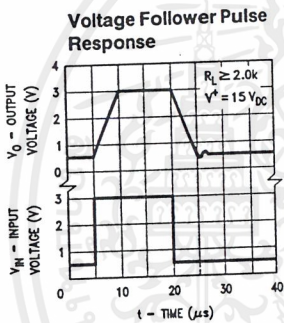
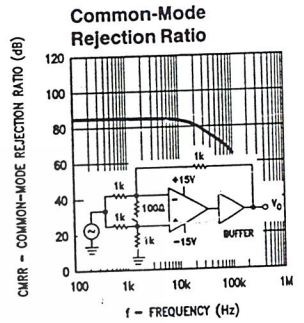
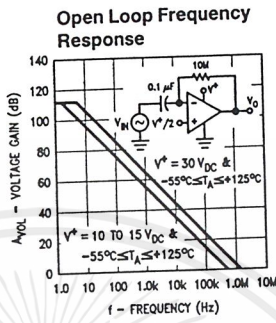
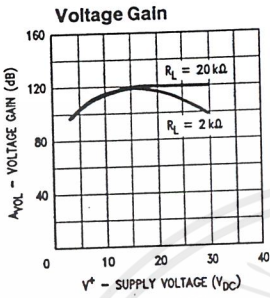
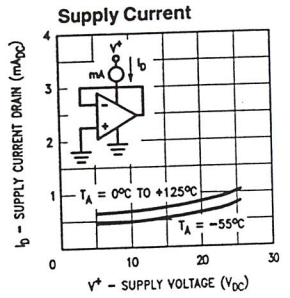
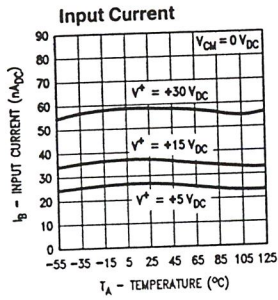
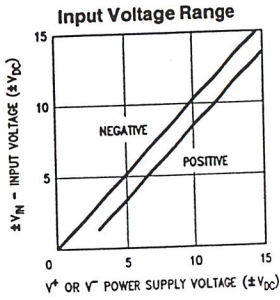
Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines. inputs can go to $+32 V_{DC}$ without damage ($+28 V_{DC}$ for LM3004), independent of the magnitude of V^+ .

Note 7: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 8: Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

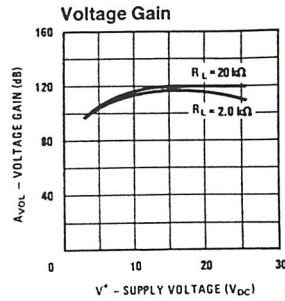
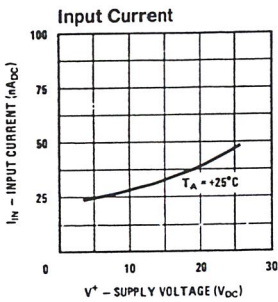
Note 9: Human body model, $1.5 k\Omega$ in series with $100 pF$.

Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued) (LM2902 only)



TL/H/7787-5

Application Hints

The LM158 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC}. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC}.

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V⁺ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than -0.3 V_{DC} (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

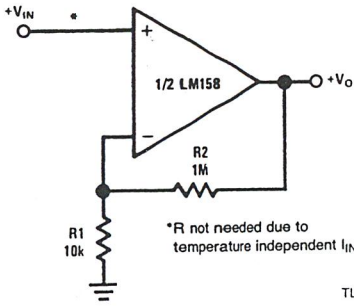
The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of 3 V_{DC} to 30 V_{DC}.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

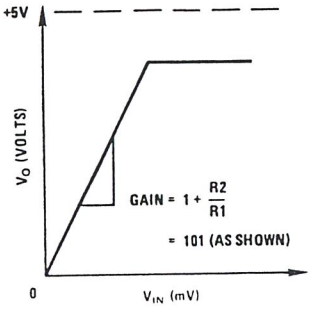
The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of V⁺/2) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$)

Non-Inverting DC Gain ($0V \text{ Input} = 0V \text{ Output}$)

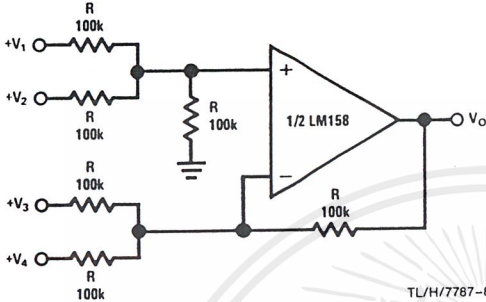


TL/H/7787-6



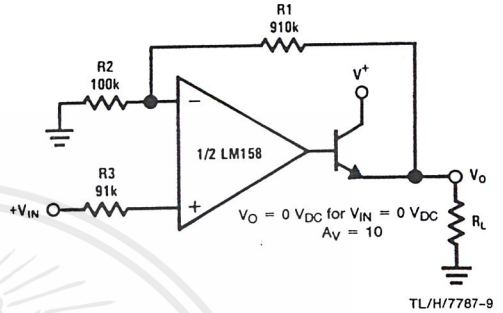
TL/H/7787-7

DC Summing Amplifier ($V_{IN}'S \geq 0 V_{DC}$ and $V_O \geq 0 V_{DC}$)



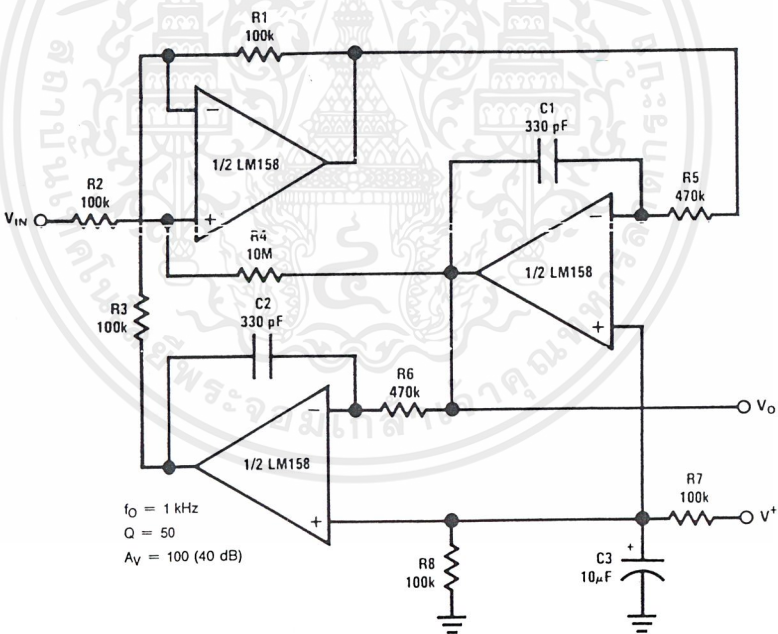
TL/H/7787-8

Power Amplifier



TL/H/7787-9

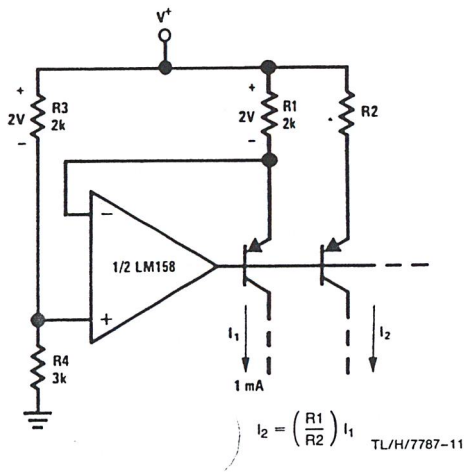
"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



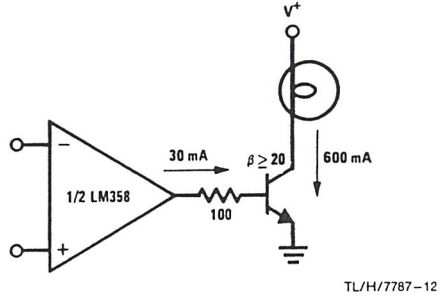
TL/H/7787-10

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

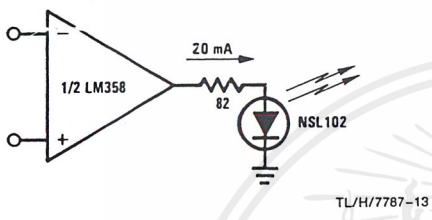
Fixed Current Sources



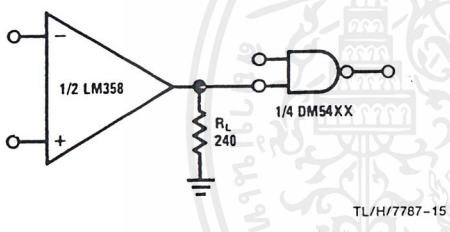
Lamp Driver



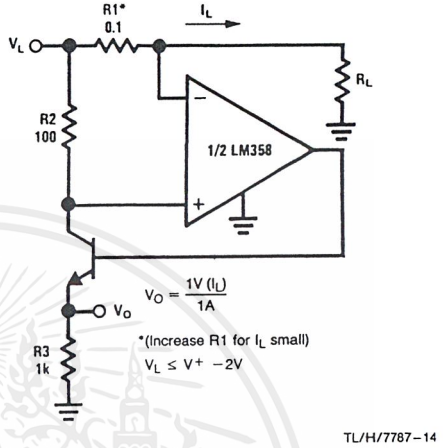
LED Driver



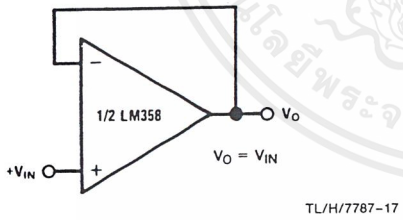
Driving TTL



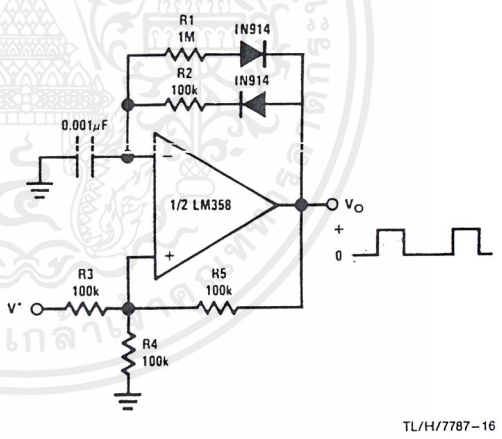
Current Monitor



Voltage Follower

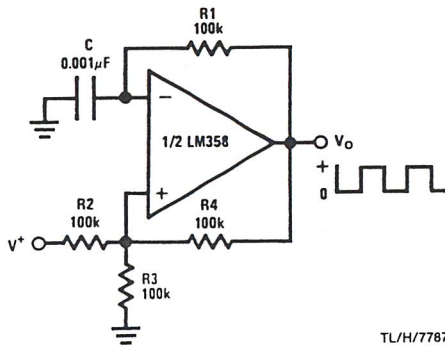


Pulse Generator



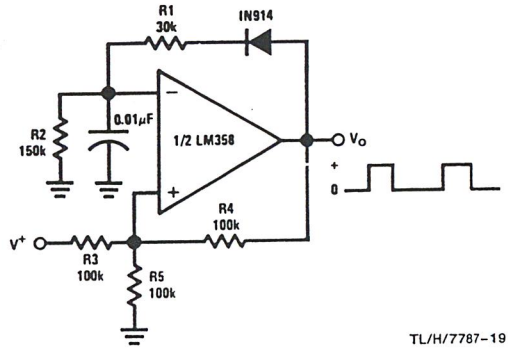
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Squarewave Oscillator



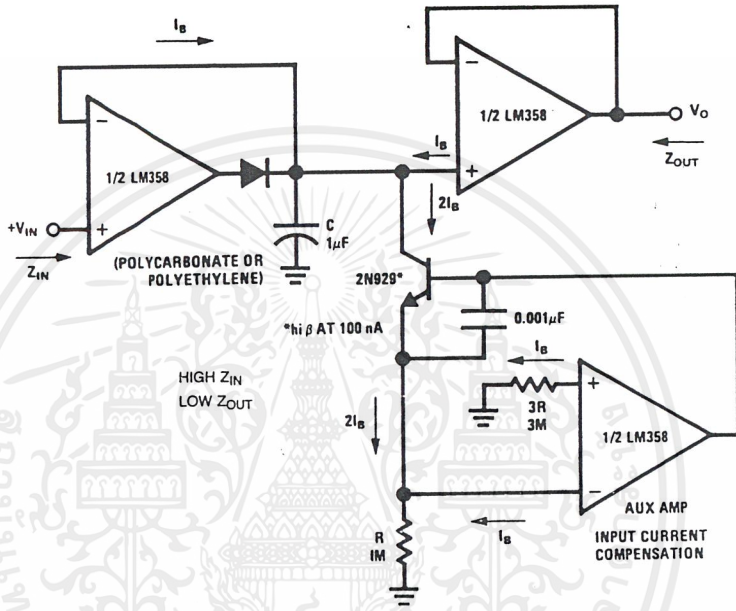
TL/H/7787-18

Pulse Generator



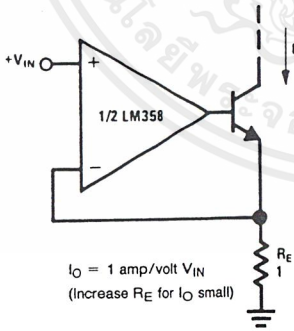
TL/H/7787-19

Low Drift Peak Detector



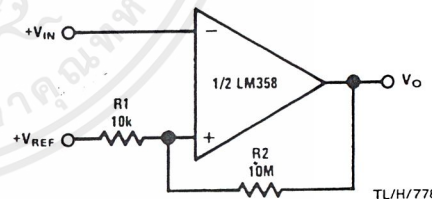
TL/H/7787-20

High Compliance Current Sink



TL/H/7787-21

Comparator with Hysteresis

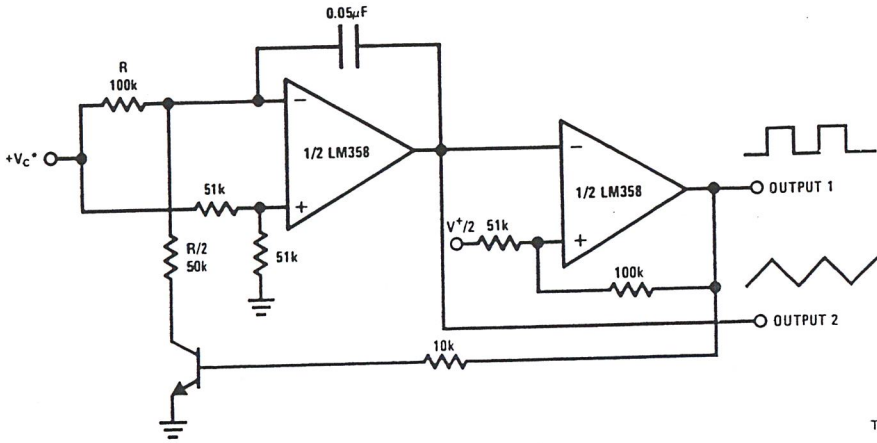


TL/H/7787-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

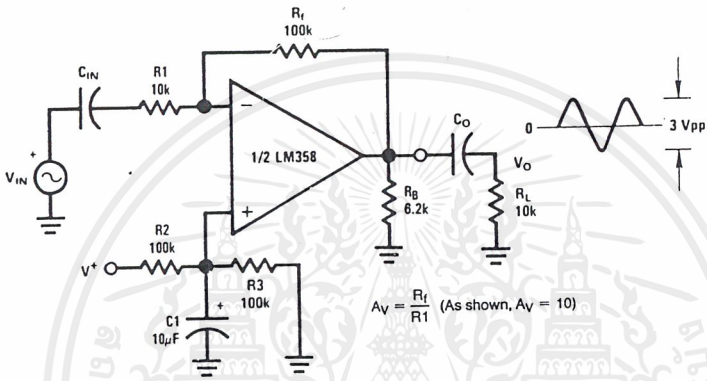
Voltage Controlled Oscillator (VCO)



TL/H/7787-23

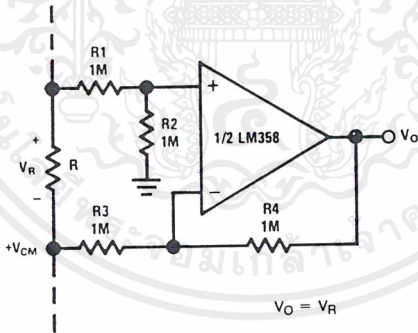
*WIDE CONTROL VOLTAGE RANGE: $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5V_{DC})$

AC Coupled Inverting Amplifier



TL/H/7787-24

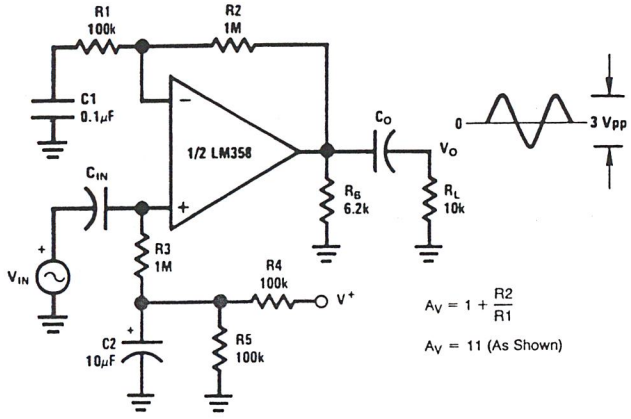
Ground Referencing a Differential Input Signal



TL/H/7787-25

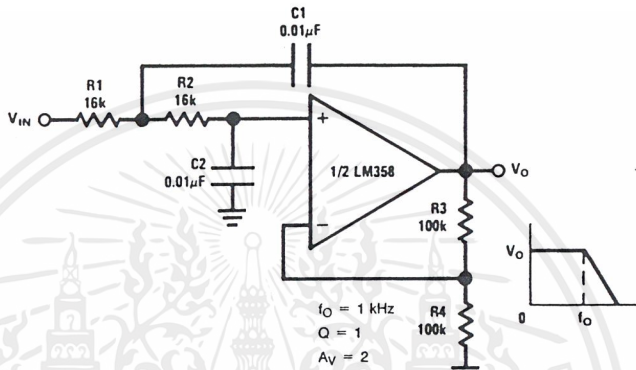
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier



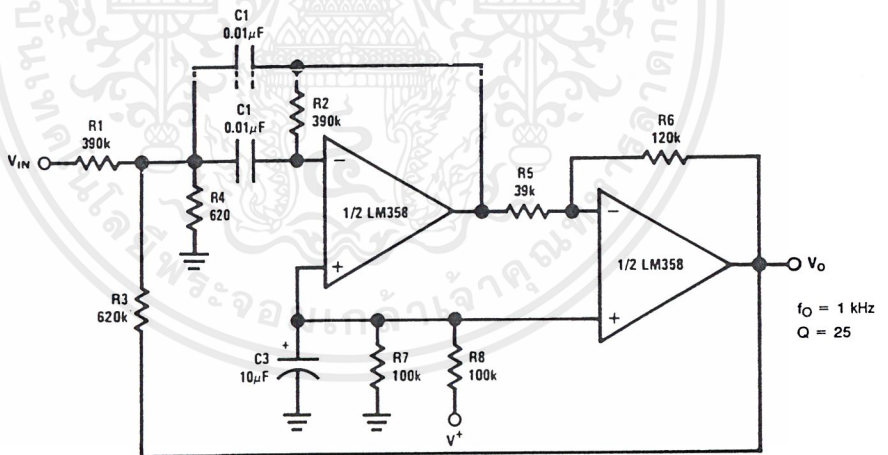
TL/H/7787-26

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



TL/H/7787-27

Bandpass Active Filter

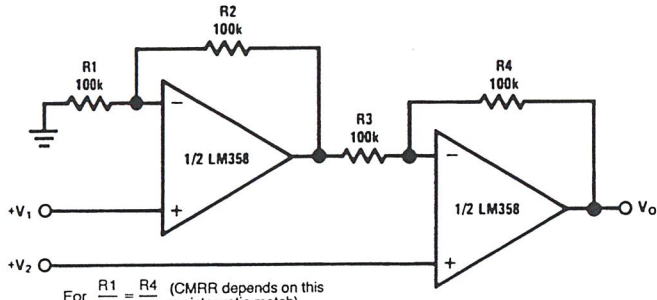


TL/H/7787-28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

High Input Z, DC Differential Amplifier



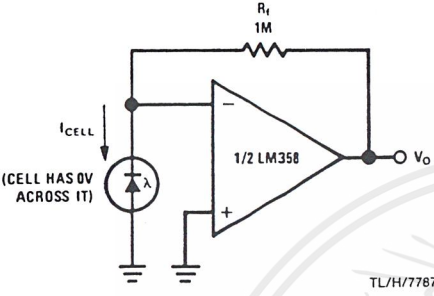
For $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$ (CMRR depends on this resistor ratio match)

$$V_O = 1 + \frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$$

As Shown: $V_O = 2 (V_2 - V_1)$

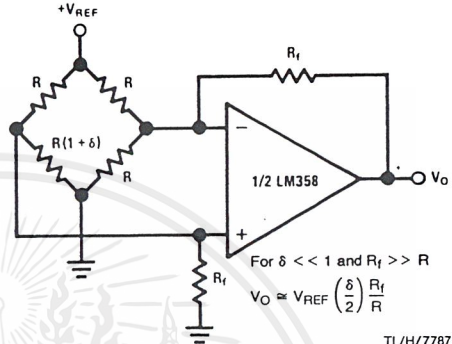
TL/H/7787-29

Photo Voltaic-Cell Amplifier



TL/H/7787-30

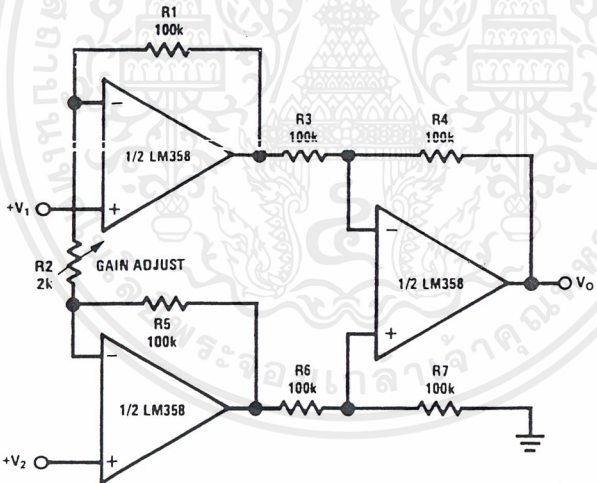
Bridge Current Amplifier



For $\delta \ll 1$ and $R_f \gg R$
 $V_O \approx V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$

TL/H/7787-33

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



If $R1 = R5$ & $R3 = R4 = R6 = R7$ (CMRR depends on match)

$$V_O = 1 + \frac{2R1}{R2} (V_2 - V_1)$$

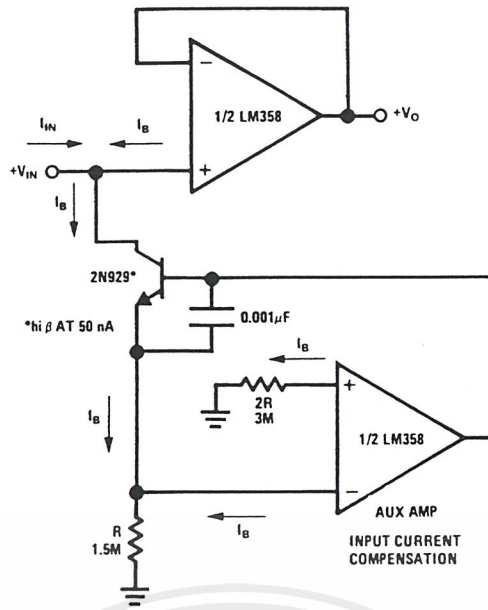
As shown $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

TL/H/7787-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

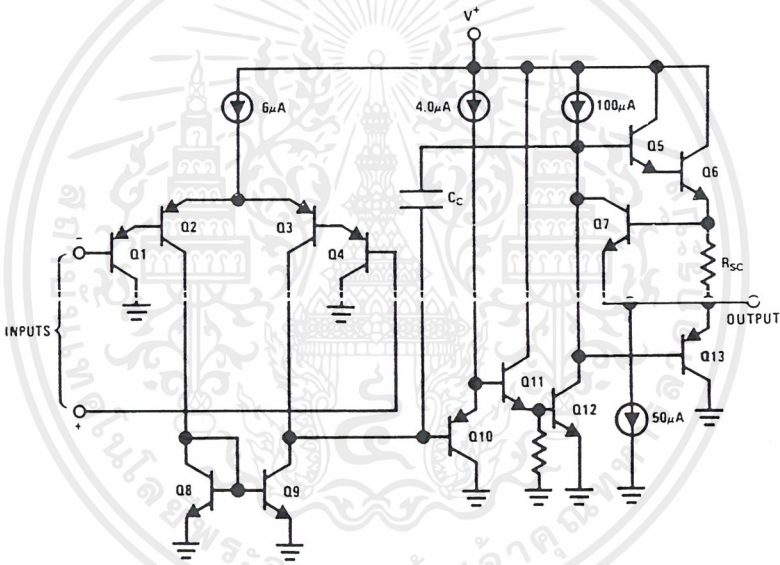
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



TL/H/7787-32

Schematic Diagram (Each Amplifier)



TL/H/7787-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interfacing the Standard Parallel Port

Disclaimer : While every effort has been made to make sure the information in this document is correct, the author can not be liable for any damages whatsoever for loss relating to this document. Use this information at your own risk.

Table of Contents

Introduction to Parallel Ports	Page 1
Hardware Properties	Page 2
Centronics?	Page 4
Port Addresses	Page 4
Software Registers - Standard Parallel Port (SPP)	Page 6
Bi-directional Ports	Page 8
Using The Parallel Port to Input 8 Bits.	Page 9
Nibble Mode	Page 11
Using the Parallel Port's IRQ	Page 12
Parallel Port Modes in BIOS	Page 14
Parallel Port Modes and the ECP's Extended Control Register	Page 15

Introduction to Parallel Ports

The Parallel Port is the most commonly used port for interfacing home made projects. This port will allow the input of up to 9 bits or the output of 12 bits at any one given time, thus requiring minimal external circuitry to implement many simpler tasks. The port is composed of 4 control lines, 5 status lines and 8 data lines. It's found commonly on the back of your PC as a D-Type 25 Pin female connector. There may also be a D-Type 25 pin male connector. This will be a serial RS-232 port and thus, is a totally incompatible port.

Newer Parallel Port's are standardized under the IEEE 1284 standard first released in 1994. This standard defines 5 modes of operation which are as follows,

1. Compatibility Mode.
2. Nibble Mode. (*Protocol not Described in this Document*)
3. Byte Mode. (*Protocol not Described in this Document*)
4. EPP Mode (*Enhanced Parallel Port*).
5. ECP Mode (*Extended Capabilities Port*).

The aim was to design new drivers and devices which were compatible with each other and

also backwards compatible with the Standard Parallel Port (SPP). Compatibility, Nibble & Byte modes use just the standard hardware available on the original Parallel Port cards while EPP & ECP modes require additional hardware which can run at faster speeds, while still being downwards compatible with the Standard Parallel Port.

Compatibility mode or "Centronics Mode" as it is commonly known, can only send data in the forward direction at a typical speed of 50 kbytes per second but can be as high as 150+ kbytes a second. In order to receive data, you must change the mode to either Nibble or Byte mode. Nibble mode can input a nibble (4 bits) in the reverse direction. E.g. from device to computer. Byte mode uses the Parallel's bi-directional feature (found only on some cards) to input a byte (8 bits) of data in the reverse direction.

Extended and Enhanced Parallel Ports use additional hardware to generate and manage handshaking. To output a byte to a printer (or anything in that matter) using compatibility mode, the software must .

1. Write the byte to the Data Port.
2. Check to see if the printer is busy. If the printer is busy, it will not accept any data, thus any data which is written will be lost.
3. Take the Strobe (Pin 1) low. This tells the printer that there is the correct data on the data lines. (Pins 2-9)
4. Put the strobe high again after waiting approximately 5 microseconds after putting the strobe low. (Step 3)

This limits the speed at which the port can run at. The EPP & ECP ports get around this by letting the hardware check to see if the printer is busy and generate a strobe and /or appropriate handshaking. This means only one I/O instruction need to be performed, thus increasing the speed. These ports can output at around 1-2 megabytes per second. The ECP port also has the advantage of using DMA channels and FIFO buffers, thus data can be shifted around without using I/O instructions.

Hardware Properties

On the next page is a table of the "Pin Outs" of the D-Type 25 Pin connector and the Centronics 34 Pin connector. The D-Type 25 pin connector is the most common connector found on the Parallel Port of the computer, while the Centronics Connector is commonly found on printers. The IEEE 1284 standard however specifies 3 different connectors for use with the Parallel Port. The first one, 1284 Type A is the D-Type 25 connector found on the back of most computers. The 2nd is the 1284 Type B which is the 36 pin Centronics Connector found on most printers.

IEEE 1284 Type C however, is a 36 conductor connector like the Centronics, but smaller. This connector is claimed to have a better dip latch, better electrical properties and is easier to assemble. It also contains two more pins for signals which can be used to see whether the other device connected,

has power. 1284 Type C connectors are recommended for new designs, so we can look forward on seeing these new connectors in the near future.

Pin No (D-Type 25)	Pin No (Centronics)	SPP Signal	Direction In/out	Register	Hardware Inverted
1	1	nStrobe	In/Out	Control	Yes
2	2	Data 0	Out	Data	
3	3	Data 1	Out	Data	
4	4	Data 2	Out	Data	
5	5	Data 3	Out	Data	
6	6	Data 4	Out	Data	
7	7	Data 5	Out	Data	
8	8	Data 6	Out	Data	
9	9	Data 7	Out	Data	
10	10	nAck	In	Status	
11	11	Busy	In	Status	Yes
12	12	Paper-Out PaperEnd	In	Status	
13	13	Select	In	Status	
14	14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control	Yes
15	32	nError / nFault	In	Status	
16	31	nInitialize	In/Out	Control	
17	36	nSelect-Printer nSelect-In	In/Out	Control	Yes
18 - 25	19-30	Ground	Gnd		

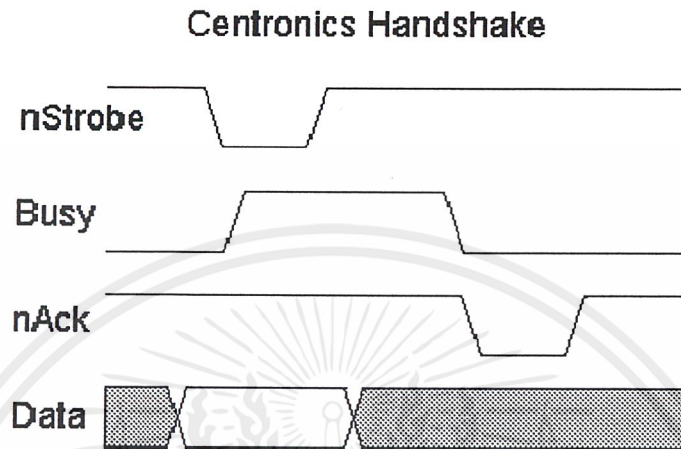
Table 1. Pin Assignments of the D-Type 25 pin Parallel Port Connector.

The above table uses "n" in front of the signal name to denote that the signal is active low. e.g. nError. If the printer has occurred an error then this line is low. This line normally is high, should the printer be functioning correctly. The "Hardware Inverted" means the signal is inverted by the Parallel card's hardware. Such an example is the Busy line. If +5v (Logic 1) was applied to this pin and the status register read, it would return back a 0 in Bit 7 of the Status Register.

The output of the Parallel Port is normally TTL logic levels. The voltage levels are the easy part. The current you can sink and source varies from port to port. Most Parallel Ports implemented in ASIC, can sink and source around 12mA. However these are just some of the figures taken from Data sheets, Sink/Source 6mA, Source 12mA/Sink 20mA, Sink 16mA/Source 4mA, Sink/Source 12mA. As you can see they vary quite a bit. The best bet is to use a buffer, so the least current is drawn from the Parallel Port.

Centronics?

Centronics is an early standard for transferring data from a host to the printer. The majority of printers use this handshake. This handshake is normally implemented using a Standard Parallel Port under software control. Below is a simplified diagram of the 'Centronics' Protocol.



Data is first applied on the Parallel Port pins 2 to 7. The host then checks to see if the printer is busy. i.e. the busy line should be low. The program then asserts the strobe, waits a minimum of $1\mu\text{s}$, and then de-asserts the strobe. Data is normally read by the printer/peripheral on the rising edge of the strobe. The printer will indicate that it is busy processing data via the Busy line. Once the printer has accepted data, it will acknowledge the byte by a negative pulse about $5\mu\text{s}$ on the nAck line.

Quite often the host will ignore the nAck line to save time. Later in the Extended Capabilities Port, you will see a Fast Centronics Mode, which lets the hardware do all the handshaking for you. All the programmer must do is write the byte of data to the I/O port. The hardware will check to see if the printer is busy, generate the strobe. Note that this mode commonly doesn't check the nAck either.

Port Addresses

The Parallel Port has three commonly used base addresses. These are listed in table 2, below. The 3BCh base address was originally introduced used for Parallel Ports on early Video Cards. This address then disappeared for a while, when Parallel Ports were later removed from Video Cards. They has now reappeared as an option for Parallel Ports integrated onto motherboards, upon which their configuration can be changed using BIOS.

LPT1 is normally assigned base address 378h, while LPT2 is assigned 278h. However this may not always be the case as explained later. 378h & 278h have always been commonly used for Parallel Ports. The lower case h denotes that it is in hexadecimal. These addresses may change from machine to machine.

Address	Notes
3BCh - 3BFh	Used for Parallel Ports which were incorporated in to Video Cards and now, commonly an option for Ports controlled by BIOS. - Doesn't support ECP addresses.
378h - 37Fh	Usual Address For LPT 1
278h - 27Fh	Usual Address For LPT 2

Table 2 Port Addresses

When the computer is first turned on, BIOS (Basic Input/Output System) will determine the number of ports you have and assign device labels LPT1, LPT2 & LPT3 to them. BIOS first looks at address 3BCh. If a Parallel Port is found here, it is assigned as LPT1, then it searches at location 378h. If a Parallel card is found there, it is assigned the next free device label. This would be LPT1 if a card wasn't found at 3BCh or LPT2 if a card was found at 3BCh. The last *port of call*, is 278h and follows the same procedure than the other two ports. Therefore it is possible to have a LPT2 which is at 378h and not at the expected address 278h.

What can make this even confusing, is that some manufacturers of Parallel Port Cards, have jumpers which allow you to set your Port to LPT1, LPT2, LPT3. Now what address is LPT1? -. On the majority of cards LPT1 is 378h, and LPT2, 278h, but some will use 3BCh as LPT1, 378h as LPT1 and 278h as LPT2. *Life wasn't meant to be easy.*

The assigned devices LPT1, LPT2 & LPT3 should not be a worry to people wishing to interface devices to their PC's. Most of the time the base address is used to interface the port rather than LPT1 etc. However should you want to find the address of LPT1 or any of the **Line PrinTer Devices**, you can use a lookup table provided by BIOS. When BIOS assigns addresses to your printer devices, it stores the address at specific locations in memory, so we can find them.

Start Address	Function
0000:0408	LPT1's Base Address
0000:040A	LPT2's Base Address
0000:040C	LPT3's Base Address
0000:040E	LPT4's Base Address (Note 1)

Table 3 - LPT Addresses in the BIOS Data Area

Note 1 : Address 0000:040E in the BIOS Data Area may be used as the Extended Bios Data Area in PS/2 and newer Bioses, and thus this field may be invalid.

Address	Notes:
3BCh - 3BFh	Used for Parallel Ports which were incorporated in Video Cards and now, commonly an option for Ports controlled by BIOS. - Doesn't support ECP addresses.
378h - 37Fh	Usual Address For LPT 1
278h - 27Fh	Usual Address For LPT 2

Table 2 Port Addresses

When the computer is first turned on, BIOS (Basic Input/Output System) will determine the number of ports you have and assign device labels LPT1, LPT2 & LPT3 to them. BIOS first looks at address 3BCh. If a Parallel Port is found here, it is assigned as LPT1, then it searches at location 378h. If a Parallel card is found there, it is assigned the next free device label. This would be LPT1 if a card wasn't found at 3BCh or LPT2 if a card was found at 3BCh. The last *port of call*, is 278h and follows the same procedure than the other two ports. Therefore it is possible to have a LPT2 which is at 378h and not at the expected address 278h.

What can make this even confusing, is that some manufacturers of Parallel Port Cards, have jumpers which allow you to set your Port to LPT1, LPT2, LPT3. Now what address is LPT1? - On the majority of cards LPT1 is 378h, and LPT2, 278h, but some will use 3BCh as LPT1, 378h as LPT1 and 278h as LPT2. *Life wasn't meant to be easy.*

The assigned devices LPT1, LPT2 & LPT3 should not be a worry to people wishing to interface devices to their PC's. Most of the time the base address is used to interface the port rather than LPT1 etc. However should you want to find the address of LPT1 or any of the **Line PrinTer** Devices, you can use a lookup table provided by BIOS. When BIOS assigns addresses to your printer devices, it stores the address at specific locations in memory, so we can find them.

Start Address	Function
0000:0408	LPT1's Base Address
0000:040A	LPT2's Base Address
0000:040C	LPT3's Base Address
0000:040E	LPT4's Base Address (Note 1)

Table 3 - LPT Addresses in the BIOS Data Area

Note 1 : Address 0000:040E in the BIOS Data Area may be used as the Extended Bios Data Area in PS/2 and newer Bioses, and thus this field may be invalid.

The above table, table 3, shows the address at which we can find the Printer Port's addresses in the BIOS Data Area. Each address will take up 2 bytes. The following sample program in C, shows how you can read these locations to obtain the addresses of your printer ports.

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>

void main(void)
{
    unsigned int far *ptraddr; /* Pointer to location of Port Addresses */
    unsigned int address;      /* Address of Port */
    int a;

    ptraddr=(unsigned int far *)0x00000408;

    for (a = 0; a < 3; a++)
    {
        address = *ptraddr;
        if (address == 0)
            printf("No port found for LPT%d \n",a+1);
        else
            printf("Address assigned to LPT%d is %Xh\n",a+1,address);
        *ptraddr++;
    }
}
```

Software Registers - Standard Parallel Port (SPP)

Offset	Name	Read/Write	Bit No.	Properties
Base + 0	Data Port	Write (Note-1)	Bit 7	Data 7 (Pin 9)
			Bit 6	Data 6 (Pin 8)
			Bit 5	Data 5 (Pin 7)
			Bit 4	Data 4 (Pin 6)
			Bit 3	Data 3 (Pin 5)
			Bit 2	Data 2 (Pin 4)
			Bit 1	Data 1 (Pin 3)
			Bit 0	Data 0 (Pin 2)

Table 4 Data Port

Note 1 : If the Port is bi-directional then Read and Write Operations can be performed on the Data Register.

The base address, usually called the Data Port or Data Register is simply used for outputting data on the Parallel Port's data lines (Pins 2-9). This register is normally a write only port. If you read from the port, you should get the last byte sent. However if your port is bi-directional, you can receive data on this address. See *Bi-directional Ports* for more detail.

Base + 1	Status Port	Read Only	Bit 7	Busy
			Bit 6	Ack
			Bit 5	Paper Out
			Bit 4	Select In
			Bit 3	Error
			Bit 2	IRQ (Not)
			Bit 1	Reserved
			Bit 0	Reserved

Table 5 Status Port

The Status Port (base address + 1) is a read only port. Any data written to this port will be ignored. The Status Port is made up of 5 input lines (Pins 10,11,12,13 & 15), a IRQ status register and two reserved bits. Please note that Bit 7 (Busy) is a active low input. E.g. If bit 7 happens to show a logic 0, this means that there is +5v at pin 11. Likewise with Bit 2. (nIRQ) If this bit shows a '1' then an interrupt has **not** occurred.

Base + 2	Control Port	Read/Write	Bit 7	Unused
			Bit 6	Unused
			Bit 5	Enable bi-directional Port
			Bit 4	Enable IRQ Via Ack Line
			Bit 3	Select Printer
			Bit 2	Initialize Printer (Reset)
			Bit 1	Auto Linefeed
			Bit 0	Strobe

Table 6 Control Port

The Control Port (base address + 2) was intended as a write only port. When a printer is attached to the Parallel Port, four "controls" are used. These are Strobe, Auto Linefeed, Initialize and Select Printer, all of which are inverted except Initialize.

The printer would not send a signal to initialize the computer, nor would it tell the computer to use auto linefeed. However these four outputs can also be used for inputs. If the computer has placed a pin high (e.g. +5v) and your device wanted to take it low, you would effectively short out the port, causing a conflict on that pin. Therefore these lines are "open collector" outputs (*or open drain for CMOS devices*). This means that it has two states. A low state (0v) and a high impedance state (open circuit).

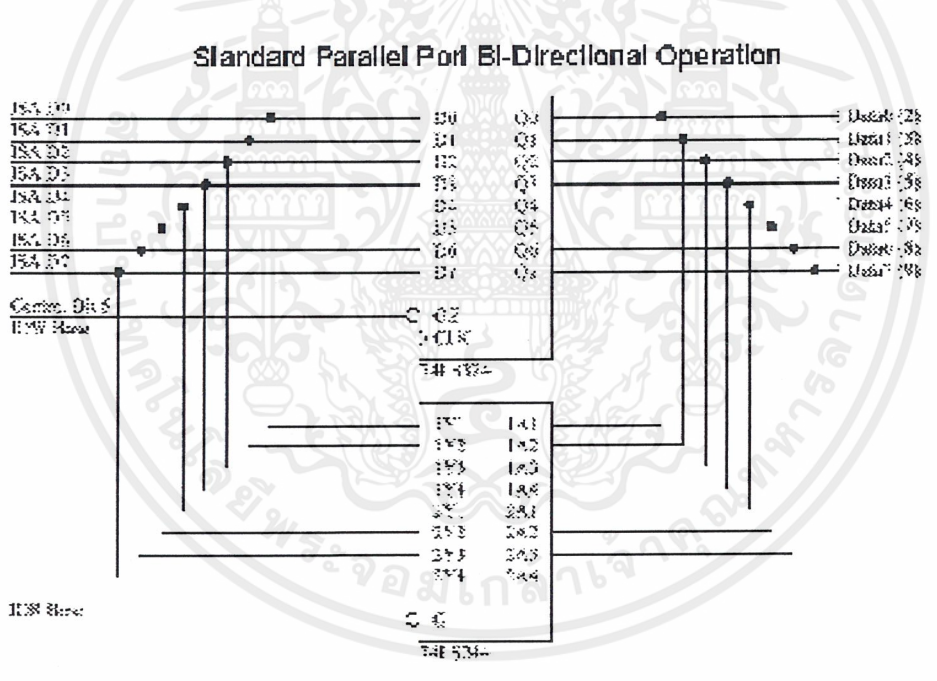
Normally the Printer Card will have internal pull-up resistors, but as you would expect, not all will. Some may just have open collector outputs, while others may even have normal totem pole outputs. In order to make your device work correctly on as many Printer Ports as possible, you can use an external resistor as well. Should you already have an internal resistor, then it will act in Parallel with it, or if you have Totem pole outputs, the resistor will act as a load.

An external 4.7k resistor can be used to pull the pin high. I wouldn't use anything lower, just in case you do have an internal pull up resistor, as the external resistor would act in parallel giving effectively, a lower value pull up resistor. When in high impedance state the pin on the Parallel Port is high (+5v). When in this state, your external device can pull the pin low and have the control port change read a different value. This way the 4 pins of the Control Port can be used for bi-directional data transfer. However the Control Port must be set to xxx0100 to be able to read data, that is all pins to be +5v at the port so that you can pull it down to GND (logic 0).

Bits 4 & 5 are internal controls. Bit four will enable the IRQ (*See Using the Parallel Ports IRQ*) and Bit 5 will enable the bi-directional port meaning that you can input 8 bits using (DATA0-7). This mode is only possible if your card supports it. Bits 6 & 7 are reserved. Any writes to these two bits will be ignored.

Bi-directional Ports

The schematic diagram below, shows a simplified view of the Parallel Port's Data Register. The original Parallel Port card's implemented 74LS logic. These days all this is crammed into one ASIC, but the theory of operation is still the same.



The non bi-directional ports were manufactured with the 74LS374's output enable tied permanent low, thus the data port is always output only. When you read the Parallel Port's data register, the data comes from the 74LS374 which is also connected to the data pins. Now if you can overdrive the '374 you can effectively have a Bi-directional Port. (*or a input only port, once you blow up the latches output!*)

What is very concerning is that people have actually done this. I've seen one circuit, a scope connected to the Parallel Port distributed on the Internet. The author uses an ADC of some type, but finds the ADC requires transistors on each data line, to make it work! No wonder why. Others have had similar trouble, the 68HC11 cannot sink enough current (30 to 40mA!)

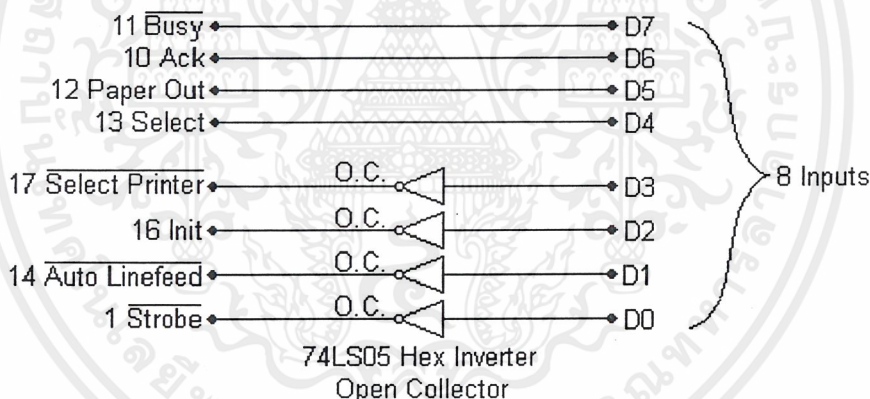
Bi-directional ports use Control Bit 5 connected to the 374's OE so that it's output drivers can be turned off. This way you can read data present on the Parallel Port's Data Pins, without having bus conflicts and excessive current drains.

Bit 5 of the Control Port enables or disables the bi-directional function of the Parallel Port. This is only available on true bi-directional ports. When this bit is set to one, pins 2 to 9 go into high impedance state. Once in this state you can enter data on these lines and retrieve it from the Data Port (base address). Any data which is written to the data port will be stored but will not be available at the data pins. To turn off bi-directional mode, set bit 5 of the Control Port to '0'.

However not all ports behave in the same way. Other ports may require setting bit 6 of the Control Port to enable Bi-directional mode and setting of Bit 5 to dis-enable Bi-directional mode, Different manufacturers implement their bi-directional ports in different ways. If you wish to use your Bi-directional port to input data, test it with a logic probe or multimeter first to make sure it is in bi-directional mode.

Using The Parallel Port to Input 8 Bits.

If your Parallel Port doesn't support bi-directional mode, don't despair. You can input a maximum of 9 bits at any one given time. To do this you can use the 5 input lines of the Status Port and the 4 inputs (open collector) lines of the Control Port.



The inputs to the Parallel Port has be chosen as such, to make life easier for us. Busy just happens to be the MSB (Bit 7) of the Status Port, then in ascending order comes Ack, Paper Out and Select, making up the most significant nibble of the Control Port. The Bars are used to represent which inputs are Hardware inverted, i.e. +5v will read 0 from the register, while GND will read 1. The Status Port only has one inverted input.

The Control port is used to read the least significant nibble. As described before, the control port has open collector outputs, i.e. two possible states, high impedance and GND. If we connect our inputs directly to the port (For example an ADC0804 with totem pole outputs) , a conflict will result if the input is high and the port is trying to pull it down. Therefore we use open collector inverters.

However this is not always entirely necessary. If we were connecting single pole switches to the port with a pull up resistor, then there is no need to bother with this protection. Also if your software initializes the control port with xxxx0100 so that all the pins on the control port are high,

then it may be unnecessary. If however you don't bother and your device is connected to the Parallel Port before your software has a chance to initialize then you may encounter problems.

Another problem to be aware of is the pull up resistors on the control port. The average pull-up resistor is 4.7k. In order to pull the line low, your device will need to sink 1mA, which some low powered devices may struggle to do. Now what happens if I suggest that some ports have 1K pull up resistors? Yes, there are such cards. Your device now has to sink 5mA. More reason to use the open collector inverters.

Open collector inverters were chosen over open collector buffers as they are more popular, and thus easier to obtain. There is no reason, however why you can't use them. Another possibility is to use transistors.

The input, D3 is connected via the inverter to Select Printer. Select Printer just happens to be bit 3 of the control port. D2, D1 & D0 are connected to Init, Auto linefeed and strobe, respectively to make up the lower nibble. Now this is done, all we have to do is assemble the byte using software. The first thing we must do is to write xxx0100 to the Control Port. This places all the control port lines high, so they can be pulled down to input data.

```
outportb(CONTROL, inportb(CONTROL) & 0xF0 | 0x04);
```

Now that this is done, we can read the most significant nibble. This just happens to be the most significant nibble of the status port. As we are only interested in the MSnibble we will AND the results with 0xF0, so that the LSnibble is clear. Busy is hardware inverted, but we won't worry about it now. Once the two bytes are constructed, we can kill two birds with one stone by toggling Busy and Init at the same time.

```
a = (inportb(STATUS) & 0xF0); /* Read MSnibble */
```

We can now read the LSnibble. This just happens to be LSnibble of the control port - How convenient! This time we are not interested with the MSnibble of the port, thus we AND the result with 0x0F to clear the MSnibble. Once this is done, it is time to combine the two bytes together. This is done by OR'ing the two bytes. This now leaves us with one byte, however we are not finished yet. Bits 2 and 7 are inverted. This is overcome by XOR'ing the byte with 0x84, which toggles the two bits.

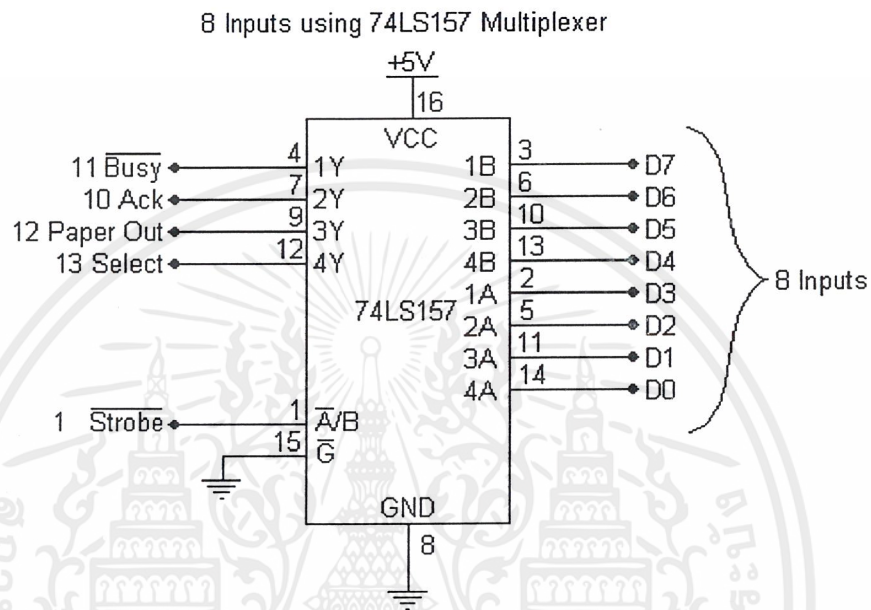
```
a = a | (inportb(CONTROL) & 0x0F); /* Read LSnibble */
```

```
a = a ^ 0x84; /* Toggle Bit 2 & 7 */
```

Note: Some control ports are not open collector, but have totem pole outputs. This is also the case with EPP and ECP Ports. Normally when you place a Parallel Port in ECP or EPP mode, the control port becomes totem pole outputs only. Now what happens if you connect your device to the Parallel Port in this mode? Therefore, in the interest of portability I recommend using the next circuit, reading a nibble at a time.

Nibble Mode

Nibble mode is the preferred way of reading 8 bits of data without placing the port in reverse mode and using the data lines. Nibble mode uses a Quad 2 line to 1 line multiplexer to read a nibble of data at a time. Then it "switches" to the other nibble and reads its. Software can then be used to construct the two nibbles into a byte. The only disadvantage of this technique is that it is slower. It now requires a few I/O instructions to read the one byte, and it requires the use of an external IC.



The operation of the 74LS157, Quad 2 line to 1 line multiplexer is quite simple. It simply acts as four switches. When the A/B input is low, the A inputs are selected. E.g. 1A passes through to 1Y, 2A passes through to 2Y etc. When the A/B is high, the B inputs are selected. The Y outputs are connected up to the Parallel Port's status port, in such a manner that it represents the MSnibble of the status register. While this is not necessary, it makes the software easier.

To use this circuit, first we must initialize the multiplexer to switch either inputs A or B. We will read the LSnibble first, thus we must place A/B low. The strobe is hardware inverted, thus we must set Bit 0 of the control port to get a low on Pin 1.

```
outportb(CONTROL, inportb(CONTROL) | 0x01); /* Select Low Nibble (A)*/
```

Once the low nibble is selected, we can read the LSnibble from the Status Port. Take note that the Busy Line is inverted, however we won't tackle it just yet. We are only interested in the MSnibble of the result, thus we AND the result with 0xF0, to clear the LSnibble.

```
a = (inportb(STATUS) & 0xF0); /* Read Low Nibble */
```

Now it's time to shift the nibble we have just read to the LSnibble of variable a,

```
a = a >> 4; /* Shift Right 4 Bits */
```

We are now half way there. It's time to get the MSnibble, thus we must switch the multiplexer to select inputs B. Then we can read the MSnibble and put the two nibbles together to make a byte,

```

outportb(CONTROL, inportb(CONTROL) & 0xFE); /* Select High Nibble (B) */
a = a | (inportb(STATUS) & 0xF0); /* Read High Nibble */
byte = byte ^ 0x88;

```

The last line toggles two inverted bits which were read in on the Busy line. It may be necessary to add delays in the process, if the incorrect results are being returned.

Using the Parallel Port's IRQ

The Parallel Port's interrupt request is not used for printing under DOS or Windows. Early versions of OS-2 used them, but don't anymore. Interrupts are good when interfacing monitoring devices such as high temp alarms etc, where you don't know when it is going to be activated. It's more efficient to have an interrupt request rather than have the software poll the ports regularly to see if something has changed. This is even more noticeable if you are using your computer for other tasks, such as with a multitasking operating system.

The Parallel Port's interrupt request is normally IRQ5 or IRQ7 but may be something else if these are in use. It may also be possible that the interrupts are totally disabled on the card, if the card was only used for printing. The Parallel Port interrupt can be disabled and enabled using bit 4 of the control register, *Enable IRQ Via Ack Line*. Once enabled, an interrupt will occur upon a low to high transition (rising edge) of the nACK. However like always, some cards may trigger the interrupt on the high to low transition.

The following code is an Interrupt Polarity Tester, which serves as two things. It will determine which polarity your Parallel Port interrupt is, while also giving you an example for how to use the Parallel Port's Interrupt. It checks if your interrupt is generated on the rising or falling edge of the nACK line. To use the program simply wire **one of** the Data lines (Pins 2 to 9) to the Ack Pin (Pin 10). The easiest way to do this is to bridge some solder from DATA7 (Pin 9) to ACK (Pin 10) on a male DB25 connector.

```

/* Parallel Port Interrupt Polarity Tester                                     */
/* 2nd February 1998                                                         */
/* Copyright 1997 Craig Peacock                                             */
/* WWW      - http://www.senet.com.au/~cpeacock                            */
/* Email    - cpeacock@senet.com.au                                         */
#include <dos.h>

#define PORTADDRESS 0x378 /* Enter Your Port Address Here */
#define IRQ 7           /* IRQ Here */

#define DATA PORTADDRESS+0
#define STATUS PORTADDRESS+1
#define CONTROL PORTADDRESS+2

#define PIC1 0x20
#define PIC2 0xA0

int interflag; /* Interrupt Flag */
int picaddr;   /* Programmable Interrupt Controller (PIC) Base Address */

```

16. Transfer Modes and Cables

Mode 1A: nibble mode, using Data Out to Status In connection This version works with all parallel ports; commercial xfer software style.

Side 1	Pin	dir	Pin	Side 2	connection
D0	2	=>	15	S3+	direct
D1	3	=>	13	S4+	direct
D2	4	=>	12	S5+	direct
D3	5	=>	10	S6+	direct
D4	6	=>	11	S7-	inverted
S7-	11	<=	6	D4	inverted
S6+	10	<=	5	D3	direct
S5+	12	<=	4	D2	direct
S4+	13	<=	3	D1	direct
S3+	15	<=	2	D0	direct
Gnd	25	===	25	Gnd	(ground)

Mode 1B: nibble mode, using Data Out to Status In connection This version works with all parallel ports; bit positions matched.

Side 1	Pin	dir	Pin	Side 2	connection
D3	5	=>	15	S3+	direct
D4	6	=>	13	S4+	direct
D5	7	=>	12	S5+	direct
D6	8	=>	10	S6+	direct
D7	9	=>	11	S7-	inverted
S7-	11	<=	9	D7	inverted
S6+	10	<=	8	D6	direct
S5+	12	<=	7	D5	direct
S4+	13	<=	6	D4	direct
S3+	15	<=	5	D3	direct
Gnd	25	===	25	Gnd	(ground)

Mode 1C: nibble mode, using Data Out to Status In connection; Controls wired for additional interfaces. This version works with all parallel ports.

Side 1	Pin	dir	Pin	Side 2	connection
D3	5	=>	15	S3+	direct
D4	6	=>	13	S4+	direct
D5	7	=>	12	S5+	direct
D6	8	=>	10	S6+	direct
D7	9	=>	11	S7-	inverted
S7-	11	<=	9	D7	inverted
S6+	10	<=	8	D6	direct
S5+	12	<=	7	D5	direct
S4+	13	<=	6	D4	direct
S3+	15	<=	5	D3	direct
C0-	1	<=>*	1	C0-	direct
C1-	14	<=>*	14	C1-	direct

C2+	16	<=>*	16	C2+	direct
C3-	17	<=>*	17	C3-	direct

Gnd	25	===	25	Gnd	(ground)
-----	----	-----	----	-----	----------

* Note: Control Out bits on receiver set high (including inversion, ie: C0,C1,C3=0; C2=1). Control feedback on receiver can read control out from sender. Can use some lines each way, and could switch C0 - C2 and C1 - C3 for symmetry if we want two lines each way, or other variations.

Mode 2: 8 bits, using bidirectional parallel port

This version works only with bidirectional parallel port whose Data Out can be tristated; the receiving side must tristate its Data Out port to use its feedback register as an 8 bit input port.

Side 1	Pin	dir	Pin	Side 2	connection
D0	2	<=>*	2	D0	direct
D1	3	<=>*	3	D1	direct
D2	4	<=>*	4	D2	direct
D3	5	<=>*	5	D3	direct
D4	6	<=>*	6	D4	direct
D5	7	<=>*	7	D5	direct
D6	8	<=>*	8	D6	direct
D7	9	<=>*	9	D7	direct
C0-	1	=>	13	S4+	inverted
C1-	14	=>	12	S5+	inverted
C2+	16	=>	10	S6+	direct
C3-	17	=>	11	S7-	direct
S4+	13	<=	1	C0-	inverted
S5+	12	<=	14	C1-	inverted
S6+	10	<=	16	C2+	direct
S7-	11	<=	17	C3-	direct
Gnd	25	===	25	Gnd	(ground)

* Note: bidirectional cards only; receiving side must tri-state with C5=1

If a two bidirectional ports are left connected in this fashion, and they are both enabled (eg: after powerup or reset) with different data outputs, then the 74LS374 driver chips could be "fighting". Just to be careful, when I created a cable like this (actually, a DB25 jumper box usually sold for RS-232 jumpering, along with straight through 25 line DB-25 cables), I used 8 10K resistors between the corresponding Data lines, to limit current in this case. (Actually, a DIP resistor pack fit perfectly on the PC board inside the DB-25 jumper box). The resistors are large enough to keep TTL output from overstressing another one if both enabled, but when one is disabled and the other enabled, the resistors are low enough to allow the TTL output to drive a TTL input well enough.

Mode 3A: 8 bits, using Open Collector Control Outputs as inputs. This version uses 4 control outputs as inputs, plus 4 status inputs.

Side 1	Pin	dir	Pin	Side 2	connection
D0	2	=>*	1	C0-	inverted
D1	3	=>*	14	C1-	inverted
D2	4	=>*	16	C2+	direct
D3	5	=>*	17	C3-	inverted
D4	6	=>	13	S4+	direct
D5	7	=>	12	S5+	direct
D6	8	=>	10	S6+	direct
D7	9	=>	11	S7-	inverted

C0-	1	<=*	2	D0	inverted
C1-	14	<=*	3	D1	inverted
C2+	16	<=*	4	D2	direct
C3-	17	<=*	5	D3	inverted
S4+	13	<=	6	D4	direct
S5+	12	<=	7	D5	direct
S6+	10	<=	8	D6	direct
S7-	11	<=	9	D7	inverted

Gnd 25 === 25 Gnd (ground)

* Note: Control outputs used as inputs must be programmed high: C0, C1, C3 = 0 and C2 = 1

Mode 3B: 8 bits, using Open Collector Control Outputs as inputs This version uses 3 control outputs as inputs, plus 5 status inputs; remaining control output is bidirectional - if left high by default, either side can pull low (remember inverted logic).

Side 1	Pin	dir	Pin	Side 2	connection
D0	2	=>*	1	C0-	inverted
D1	3	=>*	14	C1-	inverted
D2	4	=>*	16	C2+	direct
D3	5	=>*	15	S3+	direct
D4	6	=>	13	S4+	direct
D5	7	=>	12	S5+	direct
D6	8	=>	10	S6+	direct
D7	9	=>	11	S7-	inverted
C0-	1	<=*	2	D0	inverted
C1-	14	<=*	3	D1	inverted
C2+	16	<=*	4	D2	direct
S3+	15	<=*	5	D3	direct
S4+	13	<=	6	D4	direct
S5+	12	<=	7	D5	direct
S6+	10	<=	8	D6	direct
S7-	11	<=	9	D7	inverted
C3-	17	<=>	17	C3-	direct (OC shared)

Gnd 25 === 25 Gnd (ground)

* Note: Control outputs used as inputs must be programmed high: C0, C1, C3 = 0 and C2 = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[A future version of this document may sketch out the code to send and receive data through these connections]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Donald Rapp, Solar Energy, pp. 19=37, Englewood Cliffs, Prentice-Hill, 1981.
2. N.B. Guttman and J.D. Matthews, Appendix II of SOLMET, Vol. 2, Hourly Solar Radiation Rept. TD-9742
3. บุร อัครมาศ, ฟิสิกส์ของระบบสุริยะ, ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นภัทร วัฒนเทพินทร์, วงจรดิจิทัล 2 (ลอจิกเชิงลำดับ), กรุงเทพฯ : ศกยบุ๊คส์, 2541.

