

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

นางสาว กมลรัตน์ ชุนศิริพานิชกุล

นางสาว กิตติยา ปลื้มใจ

นางสาว สุธินี อังณะกูร

ชพ.
ก1268
5848

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62280**
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2549

b..... 11616830
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

ระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

นางสาว กมลรัตน์ ชุนศิริพานิชกุล

นางสาว กิตติยา ปลื้มใจ

นางสาว สุธินี อังณะกูร

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำรงหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

Spectrometer control system by microcomputer

Miss Kamolrat Soonsiripanichkul

Miss Kittiya Plermjai

Miss Sutinee Augnakun

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

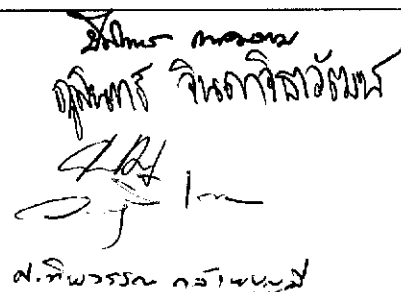
Academic Year 2005

โครงการพิเศษเรื่อง ระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

นักศึกษา นางสาว กมลรัตน์ ชุนศิริพานิชกุล
นางสาว กิตติยา ปลื้มใจ
นางสาว สุชนี อังณะกูร

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. ศ.ทิพวรรณ กล้ายบุญมี

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร. ปิติพร	ถนอมงาม	
กรรมการ	อ. ภูมิินทร์	จินดาจิราวัฒน์	
กรรมการ	ผศ. สาหรัย	เล็กชะอุ่ม	
กรรมการที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ	เถลัดดา	
กรรมการที่ปรึกษาร่วม	อ. ศ.ทิพวรรณ	กล้ายบุญมี	



(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เดชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงการพิเศษเรื่อง	ระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นางสาว กมลรัตน์ ชุนศิริพานิชกุล นางสาว กิตติยา ปลื้มใจ นางสาว สุธินี อังณะกูร
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วรารุณี เถาถักคา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.ศ. ทิพวรรณ กล้ายบุญมี

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อปรับปรุงเครื่องสเปกโทรมิเตอร์รุ่นเก่าที่ใช้คนควบคุมเป็นระบบที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ที่ได้รับการพัฒนานี้ ใช้สเตปป์มอเตอร์ชนิด 5 เฟส ในการควบคุมการหมุนเกรตติงและใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ในการวัดความเข้มแสง การหมุนของสเตปป์มอเตอร์จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ผ่านทางวงจรขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์ 5 เฟส รุ่น Super Vextra UDK5107N วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณความเข้มแสงจากโฟโตทรานซิสเตอร์ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ทำงานด้วยโปรแกรมภาษาวิชวลเบสิกที่พัฒนาขึ้นจะรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบีเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ในขณะเดียวกันสัญญาณความเข้มแสงในรูปของสัญญาณดิจิตอลจะถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและแสดงสเปกตรัมแสง สเกลความยาวคลื่นของสเปกโทรมิเตอร์จะถูกสอบเทียบในช่วง 350 – 650 นาโนเมตร โดยใช้เส้นสเปกตรัมที่ 365.0, 404.7, 435.8, 546.1, 577.0 และ 579.1 นาโนเมตร ของหลอดไอปรอทเป็นความยาวคลื่นมาตรฐาน ผลการสอบเทียบพบว่าสเกลของสเปกโทรมิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.2 % จากการทดลองวัดความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน พบว่ามีค่า 631.3 นาโนเมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 1.5 นาโนเมตร หรือ 0.2 %

Special Project Title	Spectrometer control system by microcomputer
Name	Miss Kamolrat Soonsiripanichkul Miss Kittiya Plermjai Miss Sutinee Augnakun
Department	Applied Physics Faculty of Science
Program	Applied Physics
Academic	2005
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Warawoot Thowladda
Special Project Co-Advisor	S. Tipawan Khlayboonme

ABSTRACT

This special project proposes a development of spectrometer control system by microcontroller. A manual operation model spectrometer can be improved to a computerized spectrometer by this method. Five phases stepping motor was coupled to a axis of grating angle tuning mechanic of spectrometer. Phototransister was used for light intensity measurement. The stepping motor was driven by Super Vextra 5 phases driver model UDK5107N and controlled by PIC 16F877 microcontroller. Measured light intensity signals from phototransister could be converted to digital signals by 10 bits analog to digital converter in the microcontroller. Spectrometer control commands were transferred to microcontroller via USB port of personal computer. The personal computer was controlled by a program which developed by Microsoft Visual Basic compiler language. By this program the light intensity digital signals which were transferred to the personal computer would be processed and a measured light spectrum could be displayed. The wavelength scale of 350-650 nm region of the spectrometer was calibrated using 365.0, 404.7, 435.8, 546.1, 577.0 and 579.1 nm spectrum lines of mercury lamp as a wavelength standard. The maximum error of the calibrated scale is less than 0.2 %. The accuracy of the

spectrometer was also tested by measuring the wavelength of helium-neon laser. The measured wavelength was 631.3 nm. An error of the measured wavelength is 1.5 nm or 0.2 %.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายๆ ท่านด้วยกันจึงขอขอบพระคุณทุกท่าน ดังต่อไปนี้

1. ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาถัดดา ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผู้ที่ช่วยแนะแนวทางในการปฏิบัติงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี พร้อมทั้งอนุเคราะห์ในส่วนค่าใช้จ่ายตลอดการทำโครงการพิเศษนี้
2. อ.ศ.ทิพวรรณ ผู้ช่วยที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งทำหน้าที่ดูแลการปฏิบัติงานตลอดโครงการแทนอาจารย์ที่ปรึกษาในขณะที่พักรักษาตัวอยู่ที่โรงพยาบาล
3. พี่แหลม ที่ปรึกษาทางด้านกรเขียนโปรแกรม และประกอบวงจรต่างๆ ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
4. พี่ๆทุกคนในห้อง lab ที่คอยให้คำแนะนำที่ดี และรอยยิ้มเสมอมา
สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณทุกๆคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

นางสาวกมลรัตน์	ขุนสิริพานิชกุล
นางสาวกิตติยา	ปลั่งใจ
นางสาวสุธินี	อังณะกูร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตในการศึกษา	2
1.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในโครงการพิเศษ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ธรรมชาติของแสง	5
2.2 แหล่งกำเนิดแสง (source of optic radiation)	6
2.3 การเลี้ยวเบนของแสง	8
2.4 เกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating)	11
2.5 สมการเกรตติง (Grating Equation)	12
2.6 อันดับของการเลี้ยวเบน	16
2.7 การแยกแสง	18
2.8 กำลังแยกและการแยกชัด (Resolving power and Spectral resolution)	18
2.9 เกรตติงระนาบและ Mounts (Plane Gratings and Their Mounts)	20
2.10 การจัดอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ใน Monochromator	21
2.11 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสง	22
2.12 สเตปปีงมอเตอร์	25

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	
3.1 ส่วนประกอบของโครงการ	28
3.2 ส่วนควบคุม	29
3.3 ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์	31
3.5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย	
4.1 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอท	36
4.2 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมของแสงที่แหล่งกำเนิดเป็นแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน	54
4.3 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดทั้งสแตนโดยผ่านสายไฟเบอร์	56
4.4 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดทั้งสแตนโดยไม่ผ่านสายไฟเบอร์	57
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
5.3 แนวทางในการพัฒนา	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	62

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ระยะเวลาในการทำงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พลังงาน ความยาวคลื่น และความถี่ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	6
2.2 การใช้ชุดขับสเตปป์ิงมอเตอร์แบบ 5 เฟส	27
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	
3.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับจำนวนสเตปป์	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
4.1 ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอท	53

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว	9
2.2 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว	10
2.3 การแทรกสอดจากสลิตคู่	10
2.4 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิต	11
2.5 การเลี้ยวเบน โดยเกรตติงระนาบ	12
2.6 ผลต่างทางเดินแสงของการเลี้ยวเบนจากร่องที่ติดกันบนเกรตติง ในรูปของ $d \sin \alpha$ และ $d \sin \beta$	13
2.7 กลไก sine bar สำหรับการกวาดความยาวคลื่น	15
2.8 การกำหนดเครื่องหมายของอันดับสเปกตรัม	17
2.9 การซ้อนทับของสเปกตรัม	18
2.10 The Czerny-Turner Monochromator	21
2.11 โครงสร้างของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	22
2.12 โฟโตไดโอด	23
2.13 แสดงรูปโฟโตทรานซิสเตอร์	24
2.14 โครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์ 5 เฟส	25
2.15 ชุดขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์แบบ 5 เฟส	26
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	
3.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมสเปกโตรมิเตอร์	28
3.2 วงจรส่วนควบคุม	30
3.3 โพลีซาร์ทในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.4 โพลีซาร์ทในส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์	33
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับจำนวนสเตปป์	34
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่น	35

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 ผลการวัดสเปกตรัมของไอปรอทโดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและจำนวนสเตป	37
4.2 จำนวนสเตปของพีคแรก	38
4.3 จำนวนสเตปของพีคที่สอง	39
4.4 จำนวนสเตปของพีคที่สาม	40
4.5 จำนวนสเตปของพีคที่สี่	41
4.6 จำนวนสเตปของพีคที่ห้า	42
4.7 จำนวนสเตปของพีคที่หก	43
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเตปและความยาวคลื่น	44
4.9 สมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเตปและความยาวคลื่น	45
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่น	46
4.11 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของพีคที่หนึ่ง	47
4.12 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของพีคที่สอง	48
4.13 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของพีคที่สาม	49
4.14 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของพีคที่สี่	50
4.15 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของพีคที่ห้า	51
4.16 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของพีคที่หก	52
4.17 สเปกตรัมที่วัดได้จากแหล่งกำเนิด He-Ne Laser	54
4.18 ค่าของความยาวคลื่นที่วัดได้จากแสงเลเซอร์	55
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่นของแสงจากทั้งสเดนผ่านสายไฟเบอร์	56
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่นของแสงจากทั้งสเดนไม่ผ่านสายไฟเบอร์	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันให้เครื่องมือวัดต่างๆทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น ทั้งยังเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำงานให้มีความหลากหลายและมีความละเอียดแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ในโครงการนี้เป็นการศึกษาถึงลักษณะของโครงสร้าง คุณสมบัติ และหลักการการทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดความเข้มของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน โดยสามารถคำนวณหาค่าความยาวคลื่นแสงที่ออกมาได้จากมุมที่เปลี่ยนไปของเกรตติง ซึ่งการเปลี่ยนมุมของเกรตติงในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ส่วนใหญ่นั้นทำได้โดยการหมุนเกรตติงจากแกนหมุนโดยผู้ทำการทดลอง ซึ่งทำให้ได้ผลการวัดที่คลาดเคลื่อนและไม่ละเอียดเท่าที่ควร รวมทั้งต้องใช้เวลาามากทีเดียว เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ในโครงการพิเศษนี้จึงได้นำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุมการหมุนไปของเกรตติง ซึ่งจะทำให้การทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์มีความละเอียดและแม่นยำในการวัดมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์
2. เพื่อศึกษาวิธีการวัดสเปกตรัมแสงโดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์
3. ศึกษาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟส เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนเกรตติง และวัดค่าความเข้มแสงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์
4. ศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลและแสดงผลได้

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

ส่วนของทฤษฎี

ในโครงการนี้จะเป็นการศึกษาธรรมชาติของแสงตลอดจนแหล่งกำเนิดแสง และเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating) ว่ามีความสำคัญต่อเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อย่างไร ศึกษาการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแสง ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ 5 เฟสที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของเกรตติง เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ และมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการประมวลผล

ส่วนของการปฏิบัติการ

ส่วนของการปฏิบัติการจะนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในส่วนของทฤษฎีมาทำการเชื่อมต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้โปรแกรมภาษาซีในการควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ 5 เฟสเพื่อควบคุมการหมุนของเกรตติง และทำการเปลี่ยนสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสัญญาณนาฬิกาให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital converter) และในส่วนไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก 6 เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

ส่วนของผลและการสรุป

ส่วนของผลและการสรุป จะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่แหล่งกำเนิดต่างๆ

1.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ

	2548								2549		
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ											
1.ศึกษาขอบเขตและข้อมูลของการทำงาน	■										
2.การดำเนินการ			■	■	■	■	■	■			
3.ตรวจสอบความถูกต้องของงาน									■	■	
4.จัดทำเอกสารประกอบ	■								■	■	
5.ตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย											■

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในโครงการพิเศษ

1. สามารถที่จะเรียนรู้ถึงเทคนิคและวิธีการวัดสเปกตรัมของแสง
2. ในโครงการพิเศษนี้จะเป็นการพัฒนาเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน และแสดงผลของสเปกตรัมของแสงได้ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย วิชาลเบสิก 6 และภาษาซี

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ธรรมชาติของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่างกัน วิธีการวัดความยาวคลื่นแสงทำได้โดยการวัดสเปกตรัมของแสง โดยที่สเปกตรัมของแสงจะแสดงถึงความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ความยาวคลื่นต่างๆของแสงสามารถแยกออกได้ด้วยวิธีต่างๆเช่น การหักเห (Refraction) ด้วยปริซึมและการเลี้ยวเบน (Diffraction) ด้วยเกรตติง (Diffraction Grating) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสงนี้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแต่ละขณะอาจมีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว (monochromatic) หรืออาจมีความยาวคลื่นหลายค่า (polychromatic) และกรณีที่มีหลายค่านี้อาจอยู่ในลักษณะที่ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ เราเรียกรายการกระจายความยาวคลื่น (หรือพลังงาน) นี้ว่า สเปกตรัม (spectrum) ของคลื่น ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีชื่อเรียกหลายชื่อขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นหรือความถี่ดังตารางที่ 2.1 ค่าความยาวคลื่น λ และความถี่ ν ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$c = \lambda \nu \quad (2.1)$$

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตารางที่ 2.1 นี้เคลื่อนที่ในสุญญากาศ ซึ่งอัตราเร็วของคลื่น c มีค่า 3×10^8 เมตรต่อวินาที ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-800 นาโนเมตร เป็นช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็นของตามนุษย์ และเรียกกันโดยทั่วไปว่าเป็นช่วงของแสงหรือช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็น (visible region) แสงช่วงนี้อยู่ระหว่างแสงในช่วงที่มองไม่เห็น 2 ช่วงคืออัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และอินฟราเรด (infrared) เรามักนิยมเรียก 3 ช่วงนี้รวมกันว่า optical region ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่หมายถึงแสงในเชิงทัศนศาสตร์

ตารางที่ 2.1 พลังงาน ความยาวคลื่น และความถี่ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

Region name	Approximate boundaries		
	Energy , J	Wavelength	Frequency , Hz
X-ray	$2 \times 10^{-14} - 2 \times 10^{-17}$	$10^{-2} - 10 \text{ nm}$	$3 \times 10^{19} - 3 \times 10^{16}$
Vacuum ultraviolet	$2 \times 10^{-17} - 9.9 \times 10^{-19}$	$10 - 200 \text{ nm}$	$3 \times 10^{16} - 1.5 \times 10^{15}$
Near ultraviolet	$9.9 \times 10^{-19} - 5 \times 10^{-19}$	$200 - 400 \text{ nm}$	$1.5 \times 10^{15} - 7.5 \times 10^{14}$
Visible	$5 \times 10^{-19} - 2.5 \times 10^{-19}$	$400 - 800 \text{ nm}$	$7.5 \times 10^{14} - 3.8 \times 10^{14}$
Near infrared	$2.5 \times 10^{-19} - 6.6 \times 10^{-20}$	$0.8 - 2.5 \mu\text{m}$	$3.8 \times 10^{14} - 1 \times 10^{14}$
Fundamental infrared	$6.6 \times 10^{-20} - 4 \times 10^{-21}$	$2.5 - 50 \mu\text{m}$	$1 \times 10^{14} - 6 \times 10^{12}$
Far infrared	$4 \times 10^{-21} - 6.6 \times 10^{-22}$	$50 - 300 \mu\text{m}$	$6 \times 10^{12} - 1 \times 10^{12}$
Microwave	$6.6 \times 10^{-22} - 4 \times 10^{-25}$	$0.3 \text{ mm} - 0.5 \text{ m}$	$1 \times 10^{12} - 6 \times 10^8$
Radiowave	$4 \times 10^{-25} - 6.6 \times 10^{-28}$	$0.5 - 300 \text{ m}$	$6 \times 10^8 - 1 \times 10^6$

2.2 แหล่งกำเนิดแสง (source of optic radiation)

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงประเภทอินโคฮีเรนต์ (Incoherent Light Sources) และแหล่งกำเนิดแสงประเภทโคฮีเรนต์ (Coherent Light Sources)

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสงประเภทอินโคฮีเรนต์ (Incoherent light Sources)

แหล่งกำเนิดแสงในแสงธรรมชาติทั้งหมดเป็นแหล่งกำเนิดแสงประเภทอินโคฮีเรนต์ตั้งแต่แสงเทียนจนถึงแสงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้ให้แสงมาจากกระบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission) แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กัน ได้แก่

2.2.1.1 แสงอาทิตย์แสงจากท้องฟ้า (sunlight and skylight)

แสงจากดวงอาทิตย์จะมีแถบสเปกตรัมที่แตกต่างจากแสงจากท้องฟ้า ซึ่งสเปกตรัมของแสงอาทิตย์นี้ ถ้าวัดนอกชั้นบรรยากาศ จะมีลักษณะเหมือนวัตถุดำ (black body) ที่มีอุณหภูมิ 6,000 K

ที่จุดศูนย์กลาง และ 5,000 K ที่ชั้นขอบ ส่วนสเปกตรัมที่วัดได้ ณ ระดับน้ำทะเลจะมีความยาวคลื่นของแสงบางส่วนถูกดูดกลืนไป ค่าของ irradiance ที่วัดชั้นนอกบรรยากาศเฉลี่ยต่อปีเรียกว่าค่าคงตัวสุริยะ (solar constant) มีค่าเท่ากับ $1,350 \text{ w/m}^2$ ในกรณีที่ไม่สามารถนำแสงอาทิตย์มาใช้ได้สะดวก เช่น ในห้องทดลองจะนิยมใช้หลอดซีนอน (xenon) ความดันสูงแทนแสงจากดวงอาทิตย์

2.2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงที่เปล่งจากวัตถุร้อน (Incandescent sources)

แสงที่ปล่อยออกจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง ได้แก่ วัตถุดำ (blackbody source) และ หลอดไส้ทังสเตน (tungsten filament) เป็นต้น

แหล่งกำเนิดประเภทนี้อาศัยการเผาสารด้วยไฟฟ้าจนร้อนจัดและเกิดการเปล่งแสงออกมา กล่าวคือ ความร้อนจะไปทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (thermal excitation) และเมื่ออิเล็กตรอนเหล่านี้กลับคืนสู่สถานะพื้นจะให้แสงตั้งแต่ย่านที่ตามองเห็นไปจนถึงย่านอินฟราเรด สเปกตรัมของแสงจะมีลักษณะต่อเนื่องประมาณได้ว่าเป็นวัตถุดำ (blackbody radiator) คือลักษณะของสเปกตรัมขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุ กำลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากวัตถุดำแปรผันกับ T^4 ในกรณีของหลอดไส้ทังสเตนความร้อนจะทำให้ทังสเตนกลายเป็นไอไปเกาะข้างหลอดเป็นผลทำให้หลอดดำลง และทำให้ไส้หลอดบางลงด้วย เป็นผลให้อายุการใช้งานและความสว่างของหลอดลดลง จึงมีการพัฒนาโดยการบรรจุก๊าซฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp) ก๊าซฮาโลเจนมีสมบัติไวต่อปฏิกิริยาเคมี จะกำจัดไอของทังสเตนที่ข้างหลอดให้กลับไปเกาะยังที่ไส้หลอด (filament) ดั้งเดิมทำให้ผิวหลอดสะอาดและมีอายุการใช้งานยาวขึ้นมาก หลอดทังสเตนฮาโลเจนขนาด 1,000 W จะให้ความสว่างถึง 30,000 lm

2.2.1.3 หลอดปล่อยประจุ (discharge lamps)

หลอดปล่อยประจุที่ไม่มีไส้หลอด แบ่งออกเป็นสองประเภทตามความดันของก๊าซที่บรรจุอยู่ ได้แก่ หลอดปล่อยประจุชนิดความดันต่ำ (Low-pressure gas-discharge lamps) และหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง (High-pressure gas-discharge lamps)

หลอดประเภทนี้อาศัยการปล่อยประจุไฟฟ้าในก๊าซเพื่อให้เกิดแสง ตัวหลอดทำด้วยแก้วหรือควอทซ์ ซึ่งแก้วจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตร ส่วนควอทซ์จะดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 180 นาโนเมตร ภายในหลอดมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าของหลอด จะทำให้มีกระแสไหลภายในหลอดบรรจุก๊าซและทำให้อะตอมของก๊าซแตกตัวเป็นไอออนทำให้มีการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ในกรณีของหลอดปล่อยประจุชนิดความดันต่ำจะมีกระแส

อิเล็กตรอนไหลในหลอดไม่มากนัก อิเล็กตรอนเหล่านี้จะชนกับอะตอมของก๊าซทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะกระตุ้น และเปล่งแสงเมื่ออะตอมกลับสู่พื้น แสงที่เปล่งออกมาจะมีความยาวคลื่นเฉพาะมีลักษณะเป็นเส้นสเปกตรัมแคบๆ (narrow fixed spectral line) ขึ้นกับชนิดของก๊าซที่บรรจุอยู่ หลอดประเภทนี้นอกจากให้แสงสว่างแล้วยังนิยมใช้เป็นหลอดสอบเทียบสำหรับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ด้วย

สำหรับหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง จะมีกระแสไหลในหลอดสูงมาก เกิดความร้อนสูงจนก๊าซแตกตัวเป็นพลาสมา พลาสมาที่ร้อนจัดจะเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องเช่นเดียวกับหลอดไส้ ในขณะที่อะตอมที่อยู่ในสถานการณ์กระตุ้น จะเปล่งแสงเป็นเส้นสเปกตรัมที่กว้างกว่าหลอดปล่อยประจุชนิดความดันต่ำ หลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูงนี้ถือเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบดั้งเดิม (conventional light source) ที่สว่างที่สุด

2.2.1.4 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode-LED)

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงความเข้มต่ำ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction semiconductor) เมื่อให้ความต่างศักย์แก่รอยต่อแบบไฟตรง (forward bias) โสกับอิเล็กตรอนจะรวมกันแล้วให้แสงออกมา ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ทำไดโอดเปล่งแสง เช่น GaAs ให้ความเข้มสูงสุด (peak output) ที่ 900 นาโนเมตร เป็นต้น

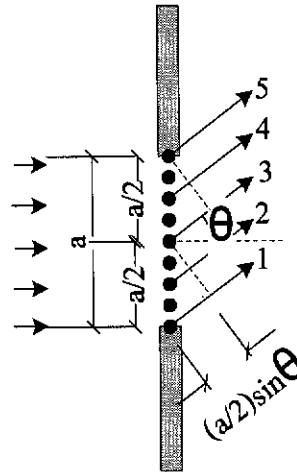
2.2.2 แหล่งกำเนิดแสงประเภทโคฮีเรนต์ (Coherent Light Sources)

แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ ได้แก่ เลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ไม่มีในธรรมชาติให้แสงที่มีความเข้มสูงมากและมีสมบัติอาพันธ์ดีมาก

2.3 การเลี้ยวเบนของแสง

การเลี้ยวเบนของแสงเป็นการเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจากการกีดขวางต่อคลื่นแสง เช่น ถ้าเราเจาะรูกลมเล็กๆบนกระดาษทึบขึ้นมารูหนึ่ง เพื่อใช้เป็นสิ่งกีดขวางของคลื่น การเลี้ยวเบนของแสงจะเกิดขึ้น เมื่อแหล่งกำเนิดแสงและฉากอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางมากพอที่จะทำให้ถือได้ว่าหน้าคลื่นที่มาถึงสิ่งกีดขวางและที่มาถึงฉากเป็นหน้าคลื่นระนาบ เราเรียกการเลี้ยวเบนแบบนี้ว่าการเลี้ยวเบนแบบเฟรอนโฮเฟอร์ หรือแบบ far-field แต่ถ้าคลื่นที่หน้าคลื่นเป็นทรงกลม เราเรียกการเลี้ยวเบนนั้นว่าเป็นแบบเฟรเนล หรือ near-field

2.3.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว

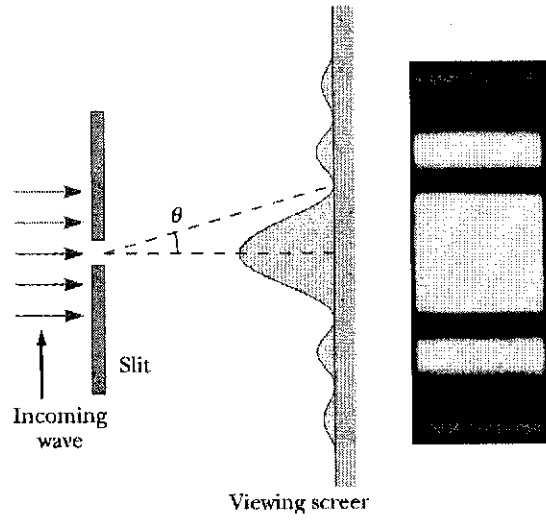


รูปที่ 2.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว

เมื่อพิจารณาถึงช่องเล็กเดี่ยวซึ่งแคบและยาวมากและให้แสงขนานตกตั้งฉากกับระนาบของช่องกว้าง a ตามหลักการของฮอยเกนส์ที่กล่าวว่า ทุกๆจุดในแนวหน้าคลื่นระนาบของช่องเปิดอาจถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ ซึ่งจะปล่อยคลื่นเล็กๆออกไปรอบๆ ถ้าพิจารณาค่าตำแหน่งบนฉากซึ่งทำมุมกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น พบว่าบางตำแหน่งความเข้มของแสงจะมีค่าเป็นศูนย์ โดยตำแหน่งเหล่านี้หาได้จากสมการ

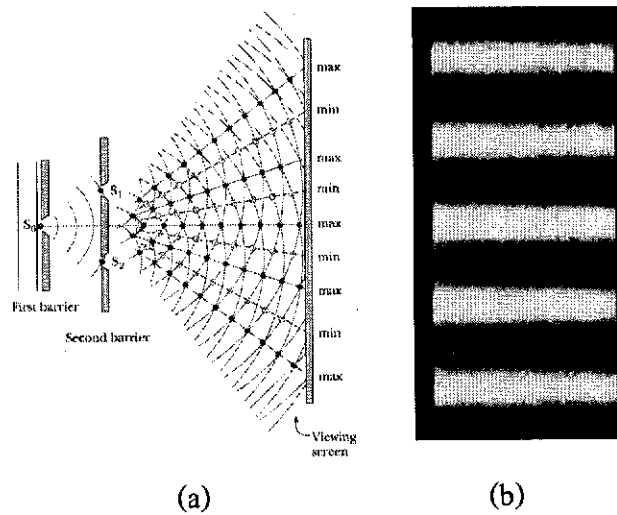
$$a \sin \theta = n\lambda \quad (2.2)$$

n อาจถือเป็นค่าบวกหรือลบก็ได้ โดยถ้าค่า $n=0$ จะทำให้ตำแหน่งซึ่งอยู่ในแนวแสงตกมีความสว่างมากที่สุด ภาพแถบสว่างกลางของการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยวดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว

2.3.2 การแทรกสอดจากสลิตคู่



รูปที่ 2.3 การแทรกสอดจากสลิตคู่

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกลงบนสลิต S_0 แสงที่ผ่านสลิตนี้จะตกลงบนฉากอีกฉากหนึ่งที่มีสลิตคู่ S_1 และ S_2 อยู่ ดังรูปที่ 2.3(a) สลิตคู่นี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงโคฮีเรนซ์ 2 แหล่ง เนื่องจากมาจากแหล่งกำเนิดแสง S_0 แหล่งเดียวกันจึงมีเฟสที่มีความสัมพันธ์กันคงที่ แสงที่ผ่านช่องแคบจะบานออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเลี้ยวเบน (diffraction) แสงจากสลิตคู่จะเกิดจากแทรกสอดกันเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่างบนฉาก เรียกว่า ริ้วการแทรกสอด (interference fringes) ดังรูปที่ 2.3(b) เมื่อแสงจาก S_1 และ S_2 เดินทางถึงจุดบนฉากแล้วเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างก็จะปรากฏแถบมืดบนฉาก เมื่อพิจารณาโดยละเอียดจะพบว่า ในแถบสว่างแต่ละแถบจะประกอบไปด้วยแถบมืดสว่างสลับกันมากมาย ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจำนวนแถบสว่างในแถบสว่างกลางนี้จะบอกถึงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตกับระยะห่างระหว่างสลิต



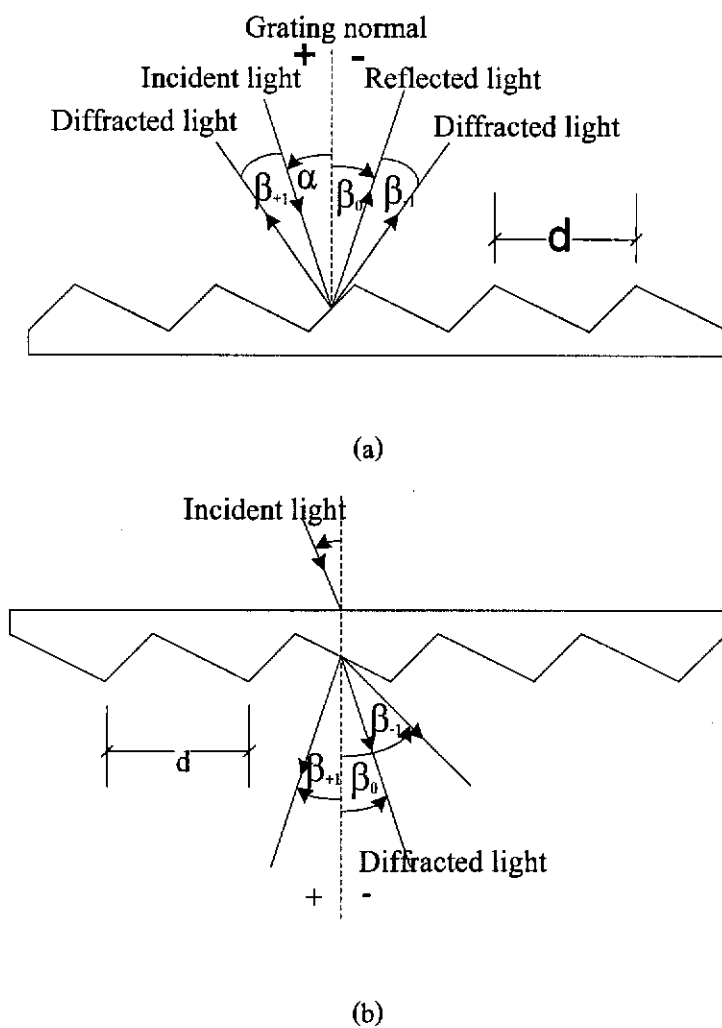
รูปที่ 2.4 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิต

2.4 เกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating)

เกรตติงเลี้ยวเบนเป็นอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ที่มีความสำคัญของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เนื่องจากมีความสามารถในการแยกสเปกตรัมของแสง เกรตติงเลี้ยวเบนประกอบขึ้นจากส่วนสะท้อนแสง (หรือส่องผ่านแสง) เล็กๆ จำนวนมากที่อยู่ห่างกันเป็นระยะทางในระดับเดียวกับความยาวคลื่นแสงที่ต้องการศึกษา หรืออาจพิจารณาได้ว่าเกรตติงเลี้ยวเบนประกอบขึ้นจากส่วนที่ทำหน้าที่เลี้ยวเบนแสง เล็กๆ จำนวนมาก เช่น สลิต (transparent slits) หรือร่องสะท้อนแสง (reflecting grooves) แบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่ เกรตติงแบบสะท้อน (reflection grating) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็กที่ชิดกันมากที่สุดที่สร้างไว้บนพื้นผิวที่สะท้อนแสงได้และเกรตติงแบบส่องผ่าน (transmission grating) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็กที่ชิดกันมากที่สุดเช่นกัน แต่สร้างไว้บนพื้นผิวที่โปร่งแสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบบนเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบน ทำให้ขนาดของสนามไฟฟ้าและหรือเฟสของแสงเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบที่แน่นอน

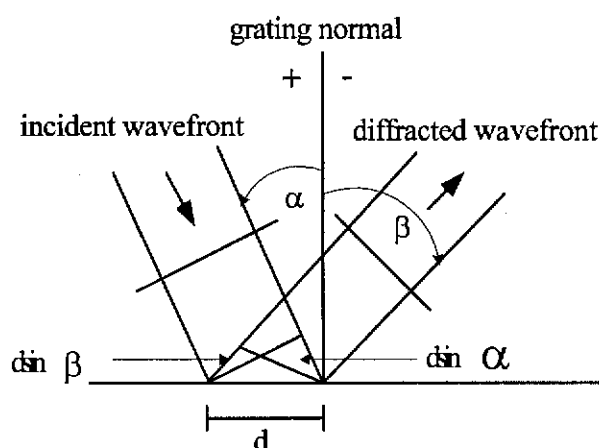
2.5 สมการเกรตติง (Grating Equation)

เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic) ตกกระทบบนผิวเกรตติง จะเกิดการเลี้ยวเบนเป็นมุมต่างๆที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete direction) สามารถพิจารณาได้ว่าร่อง (groove) ของเกรตติงเป็นสลิตที่แคบมากทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของแสงที่เลี้ยวเบนเหล่านี้ แสงที่เลี้ยวเบนจากแต่ละร่องบนเกรตติงจะมารวมกันเป็นหน้าคลื่นเลี้ยวเบน (diffracted wavefront) มุมเลี้ยวเบนที่ทำให้หน้าคลื่นมีการรวมกันแบบเสริมกันจะมีค่าที่แน่นอนขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงและระยะห่างระหว่างร่องบนเกรตติง



รูปที่ 2.5 การเลี้ยวเบนโดยเกรตติงระนาบ

การเลี้ยวเบนของแสงโดยเกรตติงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 แสงที่มีความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนทำมุม α และเลี้ยวเบนไปเป็นมุม β_m (ระยะระหว่างร่อง, d บนเกรตติงเรียกว่า pitch มุมเหล่านี้ถูกวัดเทียบกับเส้นปกติซึ่งเป็นเส้นตั้งฉากกับผิวเกรตติง นิยามที่จะกำหนดให้เครื่องหมายของมุมเลี้ยวเบนเป็นบวก ถ้าอยู่ด้านเดียวกับมุมแสงตกกระทบบและมีเครื่องหมายเป็นลบถ้าอยู่ตรงข้าม โดยมีเส้นปกติเป็นเส้นแบ่ง รูป 2.5(a) แสดงกรณีของเกรตติงแบบสะท้อน โดยมุม $\alpha > 0$ และ $\beta_{+1} > 0$ ขณะที่รูป 2.5(b) แสดงกรณีของเกรตติงแบบส่องผ่าน มีมุม $\beta_0 < 0$ และ $\beta_{-1} < 0$



รูปที่ 2.6 ผลต่างทางเดินแสงของการเลี้ยวเบนจากร่องที่ติดกันบนเกรตติง
ในรูปของ $d \sin \alpha$ และ $d \sin \beta$

ผลต่างทางเดินแสงที่เลี้ยวเบนจากร่องที่อยู่ติดกัน (ห่างกันเป็นระยะ d) สามารถหาได้จากรูปที่ 2.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d \sin \alpha + d \sin \beta$ (เนื่องจาก $\beta < 0$ ดังนั้นเทอมหลังจึงมีเครื่องหมายเป็นลบ) จากหลักการแทรกสอด พบว่าแสงเลี้ยวเบนจะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมก็ต่อเมื่อผลต่างทางเดินแสงนี้มีค่าเท่ากับความยาวคลื่น λ ของแสงหรือเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นนี้มุม β อื่นๆที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง

ความสัมพันธ์เหล่านี้สามารถเขียนเป็นสมการเกรตติงได้ว่า

$$m\lambda = d(\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.3)$$

ซึ่งมุมของการเลี้ยวเบนนี้ขึ้นกับค่า d ของเกรตติง ในที่นี้ m เรียกว่าลำดับของการเลี้ยวเบน (diffraction order) หรือ ลำดับของสเปกตรัม (spectral order) สำหรับความยาวคลื่นแสงใดๆ m จะเป็นเลขจำนวนเต็มที่สุดคคือกับความสัมพันธ์ $|m\lambda/d| < 2$ ในบางครั้งจะเขียนสมการเกรตติงดังนี้

$$Gm\lambda = (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.3')$$

ซึ่ง $G = 1/d$ เป็นความถี่หรือความหนาแน่นร่องของเกรตติง ซึ่งหมายถึงจำนวนร่องต่อหนึ่งมิลลิเมตร (groove per millimeter)

สมการ (2.3) และสมการ (2.3') เป็นรูปแบบทั่วไปของสมการเกรตติง แต่จะใช้ได้เฉพาะเมื่อแสงตกกระทบบนและแสงเลี้ยวเบนอยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวของร่องบนเกรตติง (ระนาบของกระดาษสำหรับเกรตติงในรูปที่ 2.5 และ 2.6) เท่านั้น การเลี้ยวเบนในกรณีนี้เรียกว่า การเลี้ยวเบนแบบดั้งเดิม (classical diffraction) หรือการเลี้ยวเบนในระนาบ (in-plane diffraction) ในกรณีที่แสงตกกระทบบนไม่ตั้งฉากกับแนวร่องเกรตติง สมการเกรตติงจะเขียนได้ดังนี้

$$Gm\lambda = \cos \varepsilon (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.3'')$$

ในที่นี้ ε คือมุมระหว่างแสงตกกระทบบนกับระนาบที่ตั้งฉากกับแนวร่องของเกรตติง ถ้าแสงตกกระทบบนอยู่ในระนาบดังกล่าวนี้หรือ $\varepsilon = 0$ สมการ (2.3'') จะลดรูปเป็นสมการ (2.3') และถ้า $\varepsilon \neq 0$ ถ้าแสงเลี้ยวเบนจะมีลักษณะเป็นกรวยแทนที่จะเป็นระนาบ การเลี้ยวเบนในกรณีนี้เรียกว่า การเลี้ยวเบนแบบกรวย (conical diffraction)

สำหรับเกรตติงที่มีระยะห่างระหว่างร่อง d ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความยาวคลื่น มุมตกกระทบบนและมุมเลี้ยวเบน ที่ลำดับสเปกตรัม m ของแสงความยาวคลื่น λ คือ

$$B(\lambda) = \arcsin(m\lambda/d - \sin \alpha) \quad (2.4)$$

ในกรณีที่ $m = 0$ เกรตติงจะทำหน้าที่เหมือนกับกระจกและความยาวคลื่นจะไม่ถูกแยก ($\beta = -\alpha$ สำหรับทุกๆความยาวคลื่น) เรียกว่า การสะท้อนจากผิวเรียบ (specular reflection) หรือ ลำดับสเปกตรัมที่ศูนย์ (zero order)

ในกรณีเฉพาะกรณีหนึ่งที่ลำแสงเลี้ยวเบนมีทิศทางย้อนกลับไปในแนวของแสงตกกระทบ ($\alpha = \beta$) เรียกว่า การจัดแบบลิตโทรว์ (Littrow configuration) สมการเกรตติงในกรณีนี้จะเขียนได้เป็น

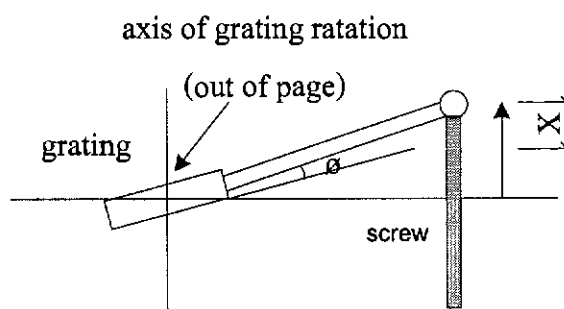
$$m\lambda = 2d \sin \alpha \quad (2.5)$$

การใช้งานเกรตติงในรูปแบบต่างๆ เช่น monochromators ความยาวคลื่น λ ของแสงถูกทำให้เปลี่ยนไป โดยการหมุนเกรตติง (หมุนรอบแนวของร่องที่จุดกึ่งกลางของเกรตติง) ในขณะที่มุมระหว่างแสงตกกระทบและเลี้ยวเบนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมุมนี้เรียกว่า มุมเบี่ยงเบน (2K) (deviation angle or angular deviation) มีค่า

$$2K = \alpha - \beta = \text{constant} \quad (2.6)$$

ในขณะที่มุมของเกรตติงหมุนไป ϕ มีค่า

$$2\phi = \alpha + \beta \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.7 กลไก sine bar สำหรับการกวาดความยาวคลื่น

เมื่อสกรูในรูปที่ 2.7 ดันให้ระนาบของเกรตติงเป็นระยะ x จะทำให้เกรตติงเบี่ยงเบนไปเป็นมุม ϕ โดยที่ $\sin \phi$ แปรผันโดยตรงกับ x

เมื่อมุม ϕ เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความยาวคลื่นของแสงที่เลี้ยวเบนไปที่มุม β มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในกรณีนี้สามารถเขียนสมการเกรตติงในเทอมของ ϕ และ K ได้ว่า

$$m\lambda = 2d \cos K \sin \phi \quad (2.8)$$

สมการเกรตติงในรูปนี้มีประโยชน์มากสำหรับการจัดระบบแสงของ monochromator สมการ (2.8) แสดงว่าความยาวคลื่นของแสงที่เลี้ยวเบนโดยเกรตติงใน monochromator เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $\sin \phi$

2.6 อันดับของการเลี้ยวเบน

2.6.1 อันดับของการเลี้ยวเบนที่เป็นไปได้

สำหรับเกรตติงที่มีค่า d และมุมตกกระทบ α ค่าหนึ่ง ความยาวคลื่นแสงที่เลี้ยวเบนไปเป็นมุม β ที่สอดคล้องกับสมการเกรตติง (2.3) จะมีได้หลายค่าซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าของเลขจำนวนเต็ม m ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการแทรกสอดแบบเสริม นั่นคือเมื่อผลต่างทางเดินแสงที่เลี้ยวเบนจากร่องที่อยู่ติดกันไปยังมุม β มีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น ตัวอย่างเช่น ถ้าผลต่างทางเดินแสงมีค่าเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่น ในกรณีนี้จะกล่าวว่าเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นบวกอันดับแรก ($m = 1$) หรือเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นลบอันดับแรก ($m = -1$) ขึ้นอยู่กับว่าแสงเลี้ยวเบนไปเป็นมุมมากหรือน้อยกว่ามุมของแสงสะท้อน ($m = 0$) ในทำนองเดียวกันจะกล่าวว่าเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นบวกอันดับสอง ($m = 2$) หรือเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นลบอันดับสอง ($m = -2$) ถ้าผลต่างทางเดินแสงมีค่าเป็นสองเท่าของความยาวคลื่น

สมการเกรตติงแสดงให้เห็นว่าอันดับของสเปกตรัมจะมีอยู่จริงเฉพาะค่าของ m ที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ $|m\lambda/d| < 2$ เท่านั้น ถ้าไม่สอดคล้องจะทำให้ $|\sin\alpha + \sin\beta| > 2$ ซึ่งไม่มีความหมายในเชิงฟิสิกส์ ค่าการสะท้อน ($m = 0$) จะเกิดขึ้นได้เสมอ นั่นคือการเลี้ยวเบนอันดับศูนย์มีจริงเสมอ ($\alpha = -\beta$) กล่าวโดยสรุปได้ว่า อันดับของสเปกตรัม m จะมีได้ ต้องสอดคล้องกับความสัมพันธ์

$$-2d < m\lambda < 2d \quad (2.9)$$

จากสมการจะเห็นว่าจำนวนอันดับของสเปกตรัมจะมีมากถ้า d มีค่ามาก ($1/d \ll 1$)

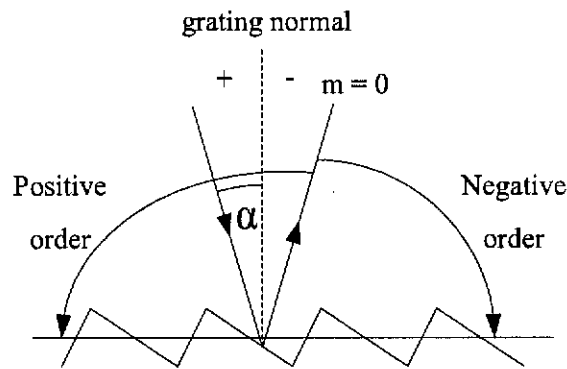
จากสมการ (2.3) สามารถบอกอันดับของสเปกตรัมว่าเป็นบวกหรือลบได้ดังนี้

$$\beta > -\alpha \quad \text{สำหรับอันดับที่เป็นบวก} \quad (m > 0)$$

$$\beta < -\alpha \quad \text{สำหรับอันดับที่เป็นลบ} \quad (m < 0)$$

$$\beta = -\alpha \quad \text{สำหรับการสะท้อน} \quad (m = 0)$$

เครื่องหมายของ m นิยมกำหนดให้เป็นบวก ($m > 0$) ถ้าลำแสงเลี้ยวเบนอยู่ทางด้านซ้าย (ด้านทวนเข็มนาฬิกา) ของแนวแสงสะท้อน ($m = 0$) และเป็นลบ ($m < 0$) ถ้าลำแสงเลี้ยวเบนอยู่ทางด้านขวา (ด้านตามเข็มนาฬิกา) ของแนวแสงสะท้อน ดังรูปที่ 2.8

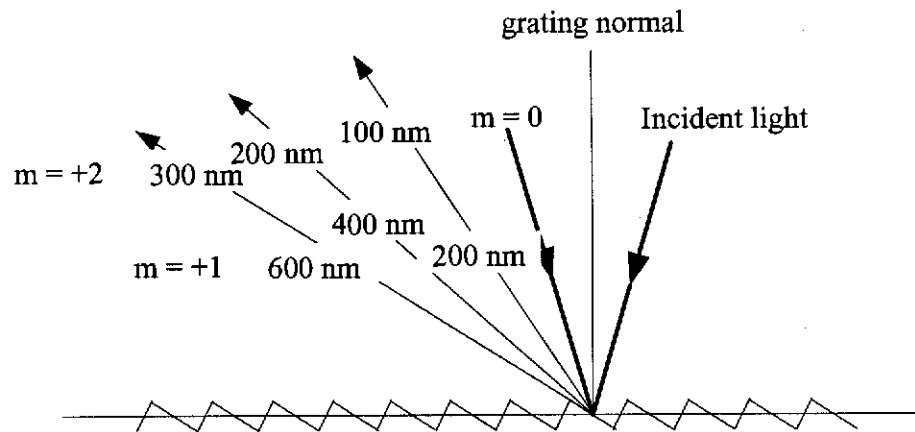


รูปที่ 2.8 การกำหนดเครื่องหมายของอันดับสเปกตรัม

2.6.2 การซ้อนทับของเส้นสเปกตรัม

ความยุ่งยากที่พบในการใช้เกรตติงส่วนมากเกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นสเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ชัดจากสมการเกรตติงว่าแสงที่มีความยาวคลื่น λ ในอันดับ $m = 1$ จะมีการซ้อนทับกับแสงที่มีความยาวคลื่น $\lambda/2$ ในอันดับที่ $m = 2$ เป็นต้น ในตัวอย่างนี้ แสงสีแดง (600 นาโนเมตร) ในอันดับแรกของสเปกตรัมจะซ้อนทับกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (300 นาโนเมตร) ซึ่งอยู่ในอันดับที่สอง ถ้าตัวตรวจวัดแสงสามารถตอบสนองการวัดต่อแสงทั้งสองแล้ว จะทำให้ตัวตรวจวัดแสงวัดความเข้มของแสงทั้งสองพร้อมกัน แต่เนื่องจากตัวตรวจวัดแสงไม่สามารถแยก

ความแตกต่างระหว่างความยาวคลื่นทั้งสองได้ กรณีเช่นนี้จะทำให้ข้อมูลของสเปกตรัมที่วัดได้ผิดไป การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการใช้แผ่นกรองแสงที่เหมาะสม (เรียกว่า order sorting)



รูปที่ 2.9 การซ้อนทับของสเปกตรัม

2.7 การแยกแสง

วัตถุประสงค์แรกของการใช้เกรตติงคือการแยกความยาวคลื่นของแสงที่ประกอบด้วยหลายความยาวคลื่น แสงสีขาวที่ตกกระทบบนเกรตติงจะถูกแยกออกเป็นสีต่างๆ ตามองค์ประกอบ สีแต่ละสีจะเลี้ยวเบนไปเป็นมุมที่แตกต่างกัน การแยกแสง (dispersion) หมายถึงการแยก (เชิงมุมหรือเชิงตำแหน่ง) ระหว่างแสงที่เลี้ยวเบนที่มีความยาวคลื่นต่างกัน การแยกแสงเชิงมุม (angular dispersion) จะแสดงในรูปของช่วงสเปกตรัมต่อมุมหนึ่งหน่วย และความแยกชัดเชิงเส้น (linear resolution) จะแสดงในรูปของช่วงสเปกตรัมต่อหนึ่งหน่วยความยาว

2.8 กำลังแยกและการแยกชัด (Resolving power and Spectral resolution)

2.8.1 กำลังแยก

กำลังแยก R ของเกรตติงแสดงถึงความสามารถในการแยกเส้นสเปกตรัมที่อยู่ชิดกันออกจากกัน โดยทั่วไปแสดงด้วยปริมาณที่ไม่มีหน่วย

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (2.10)$$

เมื่อ $\Delta\lambda$ คือขีดจำกัดของการแยกชัด (limit of resolution) หรือมักนิยมเรียกว่า ความแยกชัด (resolution) หมายถึงความยาวคลื่นที่ต่างกันของเส้นสเปกตรัมที่สามารถแยกได้ ถ้าจุดยอดของเส้นสเปกตรัม λ_1 และ λ_2 ห่างกัน $|\lambda_1 - \lambda_2| < \Delta\lambda$ จะไม่สามารถแยกเส้นสเปกตรัมทั้งสองได้ ในทางทฤษฎีกำลังแยกของเกรตติงเลี้ยวเบนแบบระนาบคือ

$$R = mN \quad (2.11)$$

เมื่อ m คืออันดับของการเลี้ยวเบนและ N คือจำนวนร่องบนเกรตติงที่ถูกแสงตกกระทบ เมื่อแทนค่า m ลงในสมการ (2.11) จะได้ว่า

$$R = \frac{Nd(\sin \alpha + \sin \beta)}{\lambda} \quad (2.12)$$

ถ้าระยะห่างระหว่างร่องของเกรตติง d มีค่าสม่ำเสมอและถ้าเกรตติงเป็นชนิดระนาบ จะได้ว่า ปริมาณ Nd คือความกว้าง W บนเกรตติงที่ถูกแสงกระทบ จึงได้ว่า

$$R = \frac{W(\sin \alpha + \sin \beta)}{\lambda} \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.12) จะเห็นว่า R ไม่ขึ้นกับอันดับของสเปกตรัมและจำนวนของร่องบนเกรตติง แต่จะขึ้นกับความกว้างของเกรตติง มุมตกกระทบและมุมเลี้ยวเบน เนื่องจาก

$$|\sin \alpha + \sin \beta| < 2 \quad (2.14)$$

ดังนั้น กำลังแยกสูงสุดคือ

$$R_{MAX} = \frac{2W}{\lambda} \quad (2.15)$$

2.8.2 การแยกชัด

ขณะที่กำลังแยกเป็นสมบัติเฉพาะตัวของเกรตติงและมุมที่ใช้ ความสามารถในการแยกความยาวคลื่น λ_1 และ $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$ ไม่ได้ขึ้นกับความยาวคลื่นเพียงอย่างเดียวแต่จะขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของสลิตขาเข้า (entrance slit) และขาออก (exit slit) หรือขนาดของตัวตรวจวัดแสง ความคลาดของภาพและกำลังขยายของภาพด้วย การบอกความยาวคลื่นที่ต่างกันน้อยที่สุด $\Delta\lambda$ ที่เรียกว่าขีดจำกัดของการแยกชัดหรือเรียกสั้นๆว่าความแยกชัด มีความหมายและความสำคัญมากกว่าการบอกกำลังแยก ในขณะที่กำลังแยกเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย การแยกชัดมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

2.9 เกรตติงระนาบและ Mounts (Plane Gratings and Their Mounts)

อุปกรณ์ที่ทำให้แสงเป็นลำขนานและอุปกรณ์ที่ใช้โฟกัสลำแสงสำหรับลำแสงตกกระทบหรือลำแสงเลี้ยวเบนโดยเกรตติงรวมทั้งอุปกรณ์เบี่ยงเบนแสง ถูกเรียกว่า เม้าท์ (mount) เครื่องมือที่ประกอบด้วยเกรตติงและเม้าท์ ที่สำคัญได้แก่ สเปกโตรมิเตอร์ และ monochromator เป็นต้น สเปกโตรมิเตอร์ เป็นคำที่ใช้เรียกเครื่องมือวัดสเปกตรัม เครื่องมือสเปกโตรมิเตอร์นี้อาจแยกเส้นสเปกตรัมที่ละเอียดหรือให้เส้นสเปกตรัมทุกเส้นพร้อมกัน อาจแยกสเปกตรัมโดยใช้เกรตติงหรือปริซึมก็ได้ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะที่ใช้เกรตติงเท่านั้น

Monochromator เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่ในขณะที่ใดขณะหนึ่งจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวหรือช่วงความยาวคลื่นเดียวอยู่ที่สลิตขาออก สเปกตรัมจะถูกแยกโดยการหมุนเกรตติง

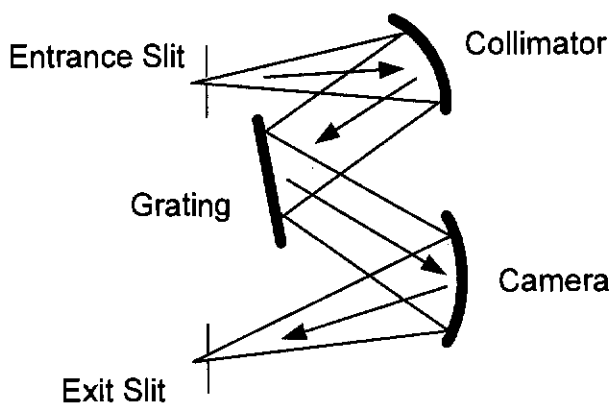
เครื่องสเปกโตรกราฟ (spectrograph) เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่ให้เส้นสเปกตรัมในย่านความยาวคลื่นหนึ่งทุกเส้นพร้อมกัน ซึ่งอาจแสดงเส้นสเปกตรัมบนฟิล์มหรือใช้อาร์เรย์ของตัวตรวจวัดแสงหรือโดยการใช้ช่องสลิตขาออกหลายช่องก็ได้ เครื่องมือประเภทนี้บางครั้งเรียกว่า polychromator ลักษณะเฉพาะของเครื่องสเปกโตรกราฟคือเส้นสเปกตรัมทุกเส้นจะถูกบันทึกในเวลาเดียวกัน

2.10 การจัดอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ใน Monochromator

เกรตติงระนาบโดยทั่วไปจะทำหน้าที่แยกแสง เมื่อมีลำแสงขนานมาตกกระทบ แต่ไม่สามารถโฟกัสลำแสงขนานที่เลี้ยวเบนจากเกรตติงได้ จึงต้องอาศัยอุปกรณ์ทัศนศาสตร์อื่นๆ เช่น เลนส์หรือกระจกช่วยในการโฟกัสดังกล่าว

- Czerny – Turner Monochromator

- (a) Monochromator ชนิดนี้ถูกออกแบบให้แสงที่ตกกระทบเกรตติงเป็นลำแสงขนาน แสงจากแหล่งกำเนิดหรือเมื่อผ่านสลิตจะถู่ออกและจะถูกทำให้เป็นแสงขนานด้วยกระจกเว้าที่เรียกว่า collimator ส่วนลำแสงที่เลี้ยวเบนจากเกรตติงจะถูกโฟกัสด้วยกระจกเว้าอีกบานหนึ่งที่เรียกว่า camera ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในทางอุดมคติ เนื่องจากเป็นเกรตติงระนาบและแสงที่ตกกระทบเป็นลำแสงขนาน จึงไม่เกิดความคลาดที่หน้าคลื่นของลำแสงเลี้ยวเบน ในทางปฏิบัติ ความคลาดอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากกระจกที่ใช้เป็นกระจกเว้าชนิด off-axis



รูปที่ 2.10 The Czerny-Turner Monochromator

เหมือนกับ Monochromator ชนิดอื่นๆ สเปกตรัมของแสงถูกแยกโดยการหมุนเกรตติง ทำให้เส้นสเปกตรัมเส้นอื่นๆ ตกบนกระจกเว้า camera และโฟกัสไปยังสลิตขาออกต่อไป ความคลาดที่เกิด

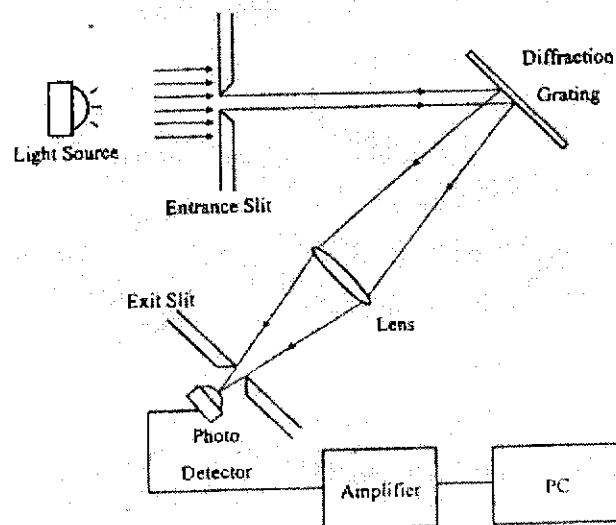
เนื่องจากกระจก ได้แก่ ความคลาด astigmatism และความคลาดทรงกลม สำหรับกระจกเว้าความคลาด astigmatism จะเพิ่มขึ้นตามมุมสะท้อนที่เพิ่ม

2.11 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสง

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสงนั้นปกติจะใช้ปริซึมหรือเกรตติงเลี้ยวเบนเป็นอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ในการหักเห หรือเลี้ยวเบนของแสง เพื่อที่จะแยกสีของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงออกจากกัน โดยเรียกเครื่องมือที่ใช้วัดสเปกตรัมของแสงโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบนว่า เครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating Spectrometer)

2.11.1 เครื่องมือวัดสเปกตรัมของแสงโดยใช้ตัวรับแสง

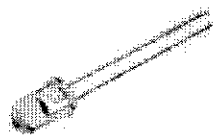
เครื่องมือชนิดนี้ตัวรับแสงของเครื่องวัดส่วนใหญ่จะทำมาจากซิลิกอน กล่าวคือเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวรับแสงดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานขึ้น โดยเปลี่ยนจากพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้างดังกล่าวจะถูกนำมาเปลี่ยนรูปสัญญาณอีกครั้งหนึ่งด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อแสดงค่าความเข้มของแสงดังกล่าวให้ออกมาเป็นกราฟของสเปกตรัมของแสงที่ถูกแยกสเปกตรัมของแสงแล้ว ซึ่งได้แก่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) เป็นต้น โดยลักษณะโครงสร้างของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

- โฟโตไดโอด (Photodiode)

โฟโตไดโอด คือ สิ่งประดิษฐ์รับแสงที่ทำจากสารกึ่งตัวนำซึ่งอาศัยแสงจากภายนอกผ่านเลนส์เพื่อกระตุ้นให้ไดโอดทำงาน ดังนั้นในการต่อเพื่อใช้งานจะเป็นแบบไบอัสกลับ ทั้งนี้ก็เพราะไม่ต้องการให้โฟโตไดโอดทำงานในทันทีทันใด แต่ต้องการให้ไดโอดทำงานเฉพาะ เมื่อมีปริมาณแสงสว่างมากพอตามที่กำหนดเสียก่อน โฟโตไดโอดทำงานโดยการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อแสงตกกระทบอิเล็กตรอนที่ยึดติดอยู่กับอะตอมในขั้วผลึกจะแตกหลุด เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระและโฮลอิสระขึ้น อิเล็กตรอนและโฮลเหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้าไปในเขตปลอดพาหะเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้นด้วยปริมาณที่แปรเปลี่ยนตามความเข้มแสง เรียกว่า กระแสโฟโต มีสัญลักษณ์ดังรูป 2.12



(a) รูปโฟโตไดโอด



(b) รูปสัญลักษณ์

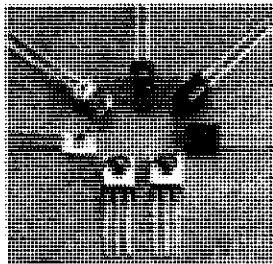
รูปที่ 2.12 รูปโฟโตไดโอด

โฟโตไดโอดใช้ประโยชน์ในงาน

- วัดความเข้มแสง
- ชัตเตอร์แสง
- กำหนดตำแหน่งของเครื่องมือกล
- การวัดระยะทางไกลด้วยแสงอินฟราเรด
- ตรวจจับสัญญาณแสงที่มีความถี่สูง

- โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransister)

โดยทั่วไปทรานซิสเตอร์ จะมีคุณสมบัติไวต่อแสง แต่ทรานซิสเตอร์ไวแสง จะได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ ส่วนมากจะเป็นแบบ NPN และมีพื้นผิวซิลิกอนที่ขอบกว้างกว่าปกติเพื่อเปิดให้แสงพุ่งเข้าสู่พื้นผิวบริเวณเบส แทนที่กระแสเบส-อีมีเตอร์ ดังนั้นทรานซิสเตอร์ไวแสงจึงขยายสัญญาณโดยตรงตามปริมาณแสงที่เปลี่ยนแปลง มีสัญลักษณ์ดังรูป 2.13



(a) รูปโฟโตทรานซิสเตอร์



(b) รูปสัญลักษณ์

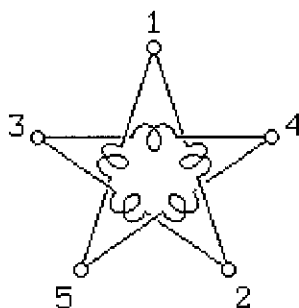
รูปที่ 2.13 รูปโฟโตทรานซิสเตอร์

โฟโตทรานซิสเตอร์ใช้ประโยชน์ในงาน

- เครื่องควบคุมแสง
- ตรวจสอบแผ่นการ์ดหรือเทปเจาะรู
- ตัวเชื่อมแสงกับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์

2.12 สเตปปีงมอเตอร์

ในส่วนของการใช้สเตปปีงมอเตอร์นี้ ใช้เพื่อควบคุมการหมุนมุมของเกรตติงเลี้ยวเบนเพื่อสามารถแยกสเปกตรัมของแสงได้ โดยจังหวะการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์เรียกว่า สเตป(step) ความละเอียดของมอเตอร์กำหนดเป็นองศาที่หมุนในหนึ่งสเตป หากมอเตอร์มีจำนวนองศาต่อหนึ่งสเตปมาก หมายความว่ามอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ สเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟสที่ใช้ในโครงงานนี้มีโครงสร้างในรูป 2.14 วิธีการขับจะเป็นแบบไบโพลาร์ โดยที่การขับแต่ละรอบประกอบด้วย 10 สเตป

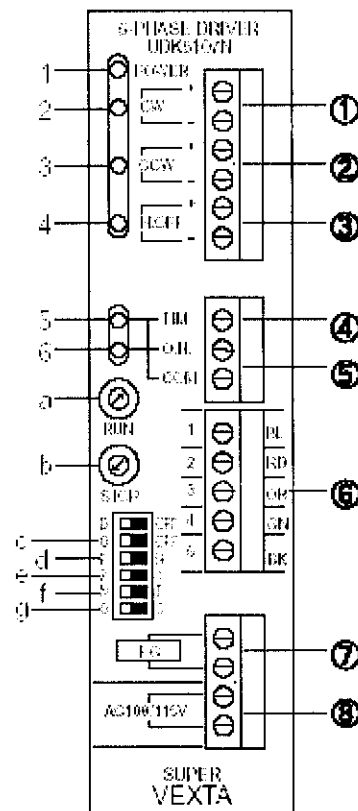


รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสเตปปีงมอเตอร์ 5 เฟส

2.12.1 ชุดขับสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟส

ในโครงการพิเศษนี้ชุดขับสเตปปีงมอเตอร์ที่ใช้ คือ Super Vexta 5- Phase Driver UDK5107N

Standard Type Driver: UDK5107N



รูปที่ 2.15 ชุดขับสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟส Super vexta 5- Phase Driver UDK5107N

ตารางที่ 2.2 การใช้ชุดขับสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟส Super vexta 5- Phase Driver UDK5107N

ชื่อ	สัญลักษณ์	การทำงาน
CW Pulse Signal Input Terminal	CW	ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ตามเข็มนาฬิกา โดยป้อนอินพุตที่ช่อง CW
CCW Pulse Signal Input Terminal	CCW	ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา โดยป้อนอินพุตที่ช่อง CCW
Motor Connection Terminal	MOTOR [1,2,3,4,5]	ใช้สำหรับต่อเข้ากับมอเตอร์โดยมีการกำหนดสีของสายไฟที่ใช้ต่อกับมอเตอร์

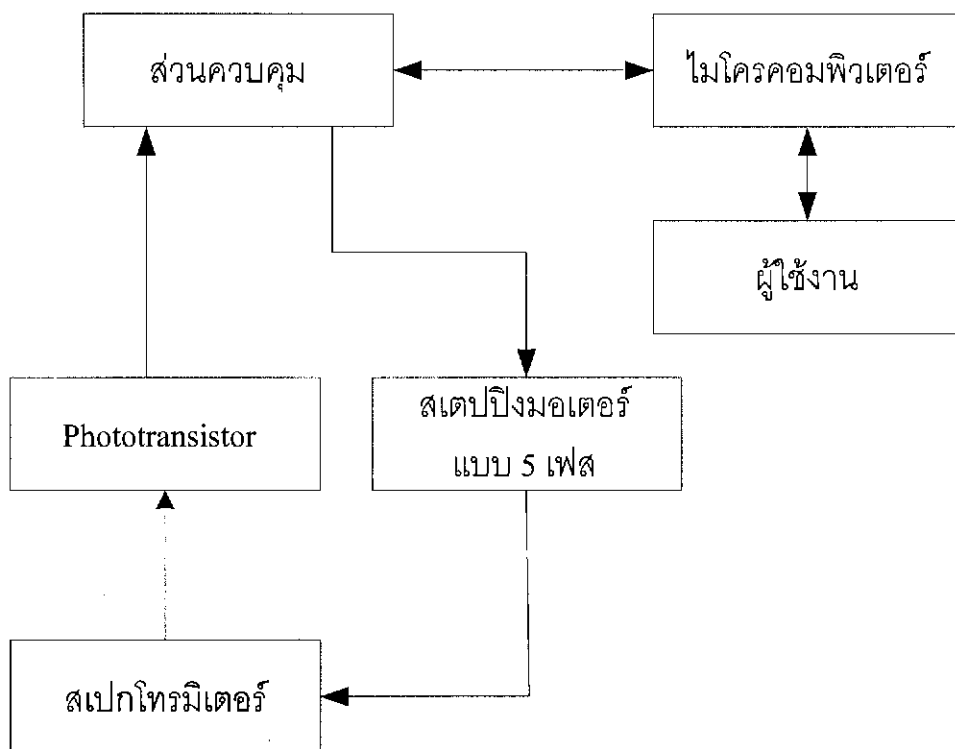
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 ส่วนประกอบของโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1. ส่วนควบคุม
2. ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์

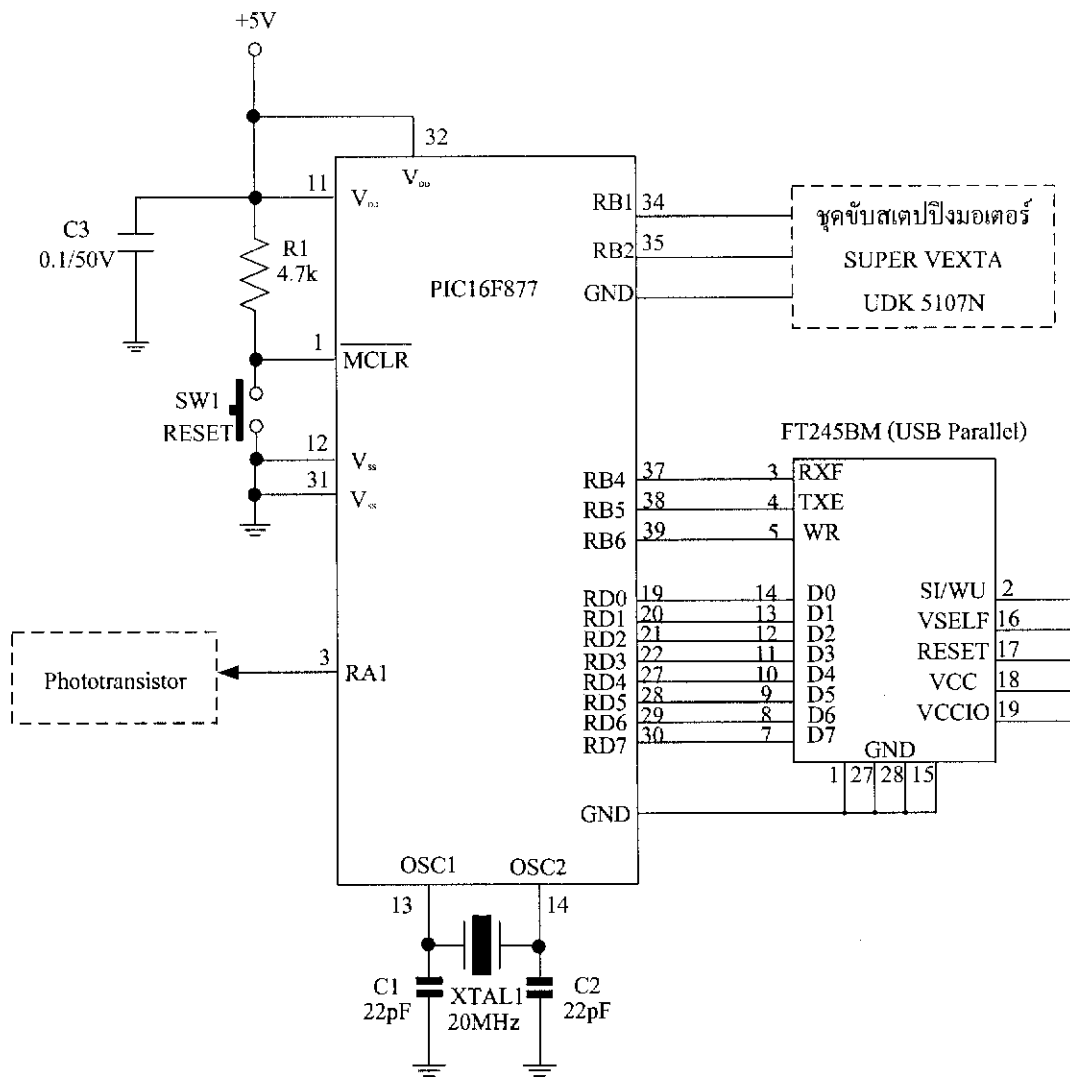
3.2 ส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมทำการติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทาง FT245BM (USB – Parallel) เพื่อรับข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของสเตปป์มอเตอร์ (stepping motor) จากนั้นทำการวัดค่าความเข้มแสงโดยโฟโตทรานซิสเตอร์ และแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล(ADC) ขนาด 10 บิต เพื่อส่งให้ไมโครคอมพิวเตอร์

หลักการทำงาน

ในภาคนี้จะทำการเขียนโปรแกรมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC เบอร์ PIC 16F877 ซึ่งใช้ควบคุมมุมในการหมุนของเกเรตติงผ่านทางสเตปป์มอเตอร์แบบ 5 เฟส เพื่อวัดค่าความเข้มแสงในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยในการทำงานจะรับค่าจำนวนสเตปป์ที่ต้องการจากส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์ และสั่งงานชุดขับสเตปป์มอเตอร์ (รูป 2.15) เพื่อหมุนเกเรตติงภายในสเปกโตรมิเตอร์

เมื่อเกเรตติงเคลื่อนที่ไปถึงช่วงสเตปป์ที่เรากำหนด โฟโตทรานซิสเตอร์จะทำการเปลี่ยนความเข้มแสงเป็นแรงดันไฟฟ้า และทำการแปลงค่าจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 นั้นมี ADC ขนาด 10 บิตในตัว จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลไปยังส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.2 วงจรส่วนควบคุม

ส่วนของโฟโตดีเทคเตอร์

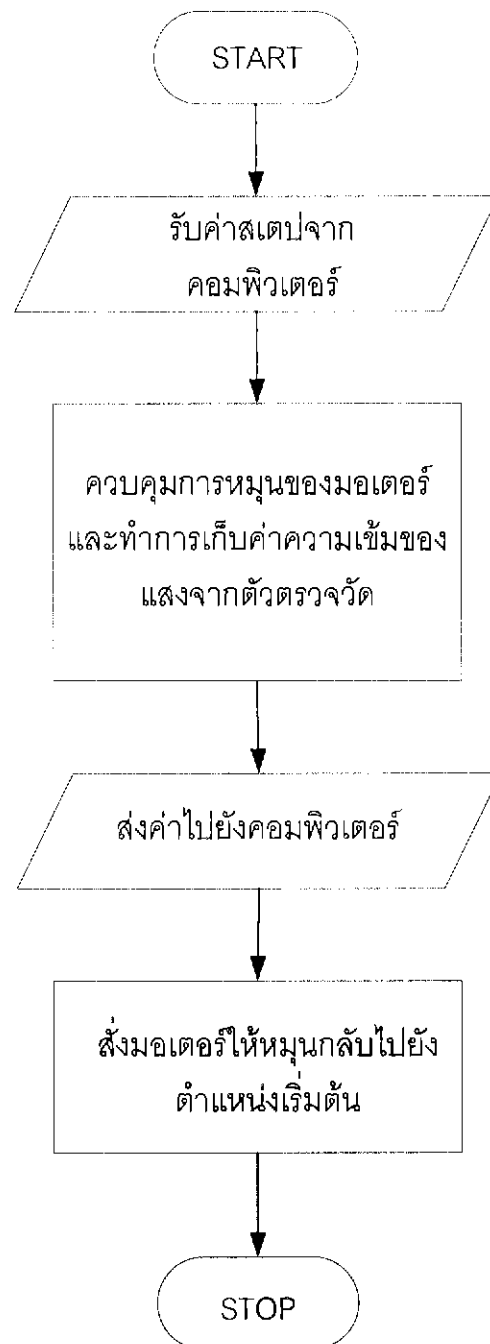
ในโครงการพิเศษนี้จะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN เป็นตัวรับแสง โดยแสงจะเข้าทางขาเบส ดังนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์ จะขยายสัญญาณโดยตรงตามความเข้มแสงที่ได้รับ

3.3 ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์

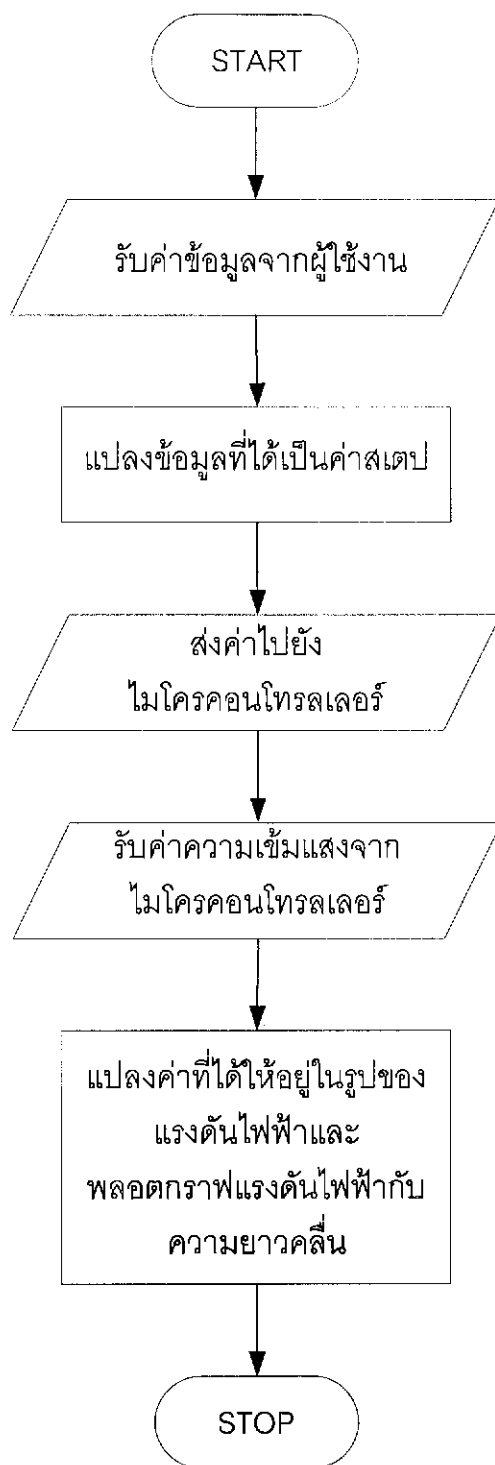
หลักการทํางาน

จะทำการรับส่งข้อมูลผ่านทาง FT245 BM (USB – Parallel) โดยเริ่มที่รับค่าข้อมูลจากผู้ใช้งาน และทำการแปลงข้อมูลเป็นค่าสเกลแล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิกเพื่อรับค่าความเข้มแสงในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำการประมวลผลเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้ว มาเก็บค่าและทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่แปลงได้กับความยาวคลื่น โดยในส่วนนี้จะสามารถเปิดเพิ่มข้อมูล และบันทึกเพิ่มข้อมูลได้ตามต้องการ

3.4 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมในส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ทในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

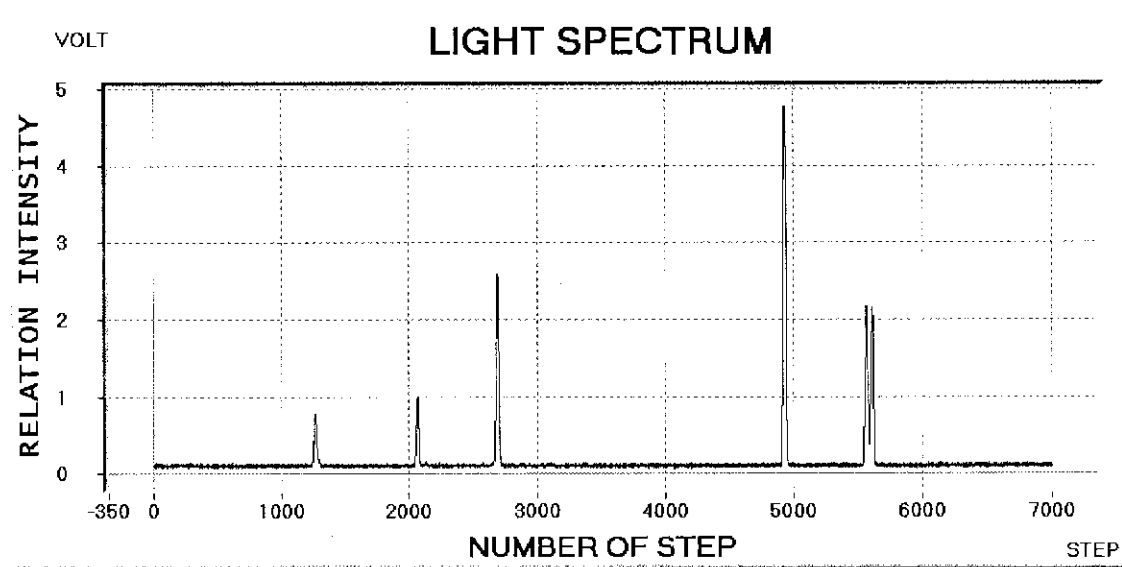


รูปที่ 3.4 โฟลว์ชาร์ทในส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์

3.5 ขั้นตอนการปรับเทียบ

เนื่องจากสเปกตรัมแสงคือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่น ในขั้นการปรับเทียบนี้จึงทำการปรับเทียบสเกลของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์จากจำนวนสเตป (หรือมุม) เป็นความยาวคลื่น โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 ทำการทดลองเพื่อสอบเทียบสเกลของสเปกโตรมิเตอร์จากจำนวนสเตปเป็นสเกลความยาวคลื่น โดยใช้เส้นสเปกตรัมของหลอดไอปรอทเป็นมาตรฐานซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.5



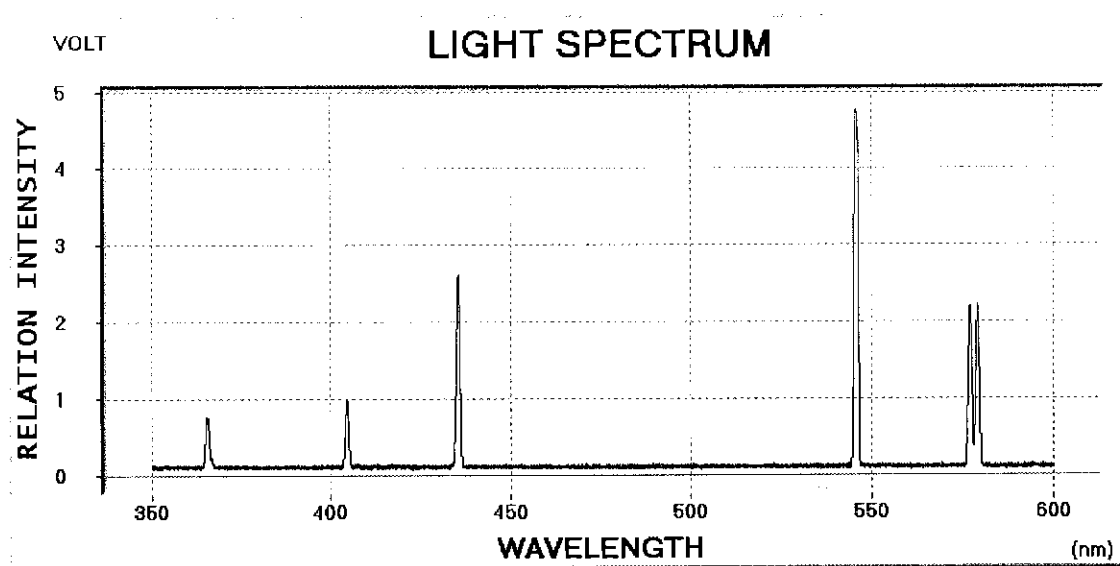
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับจำนวนสเตป

3.5.2 จากนั้นนำค่าจำนวนสเตปที่ได้จากการทดลองกับค่าความยาวคลื่นของไอปรอทที่ทราบค่ามาแสดงและหาสมการความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับจำนวนสเตป

จำนวนสเตป (x)	ความยาวคลื่น (y)
1268	365.0
2065	404.7
2690	435.8
4935	546.1
5570	577.0
5612	579.1

สมการความสัมพันธ์คือ $Y = 0.0492X + 302.951$ สมการนี้สามารถคำนวณความยาวคลื่นแสงที่ผ่าน exit slit ออกมาได้ทุกค่าเมื่อทราบค่าจำนวนสเตป (x) ซึ่งจะได้สเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอทดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่น

บทที่ 4

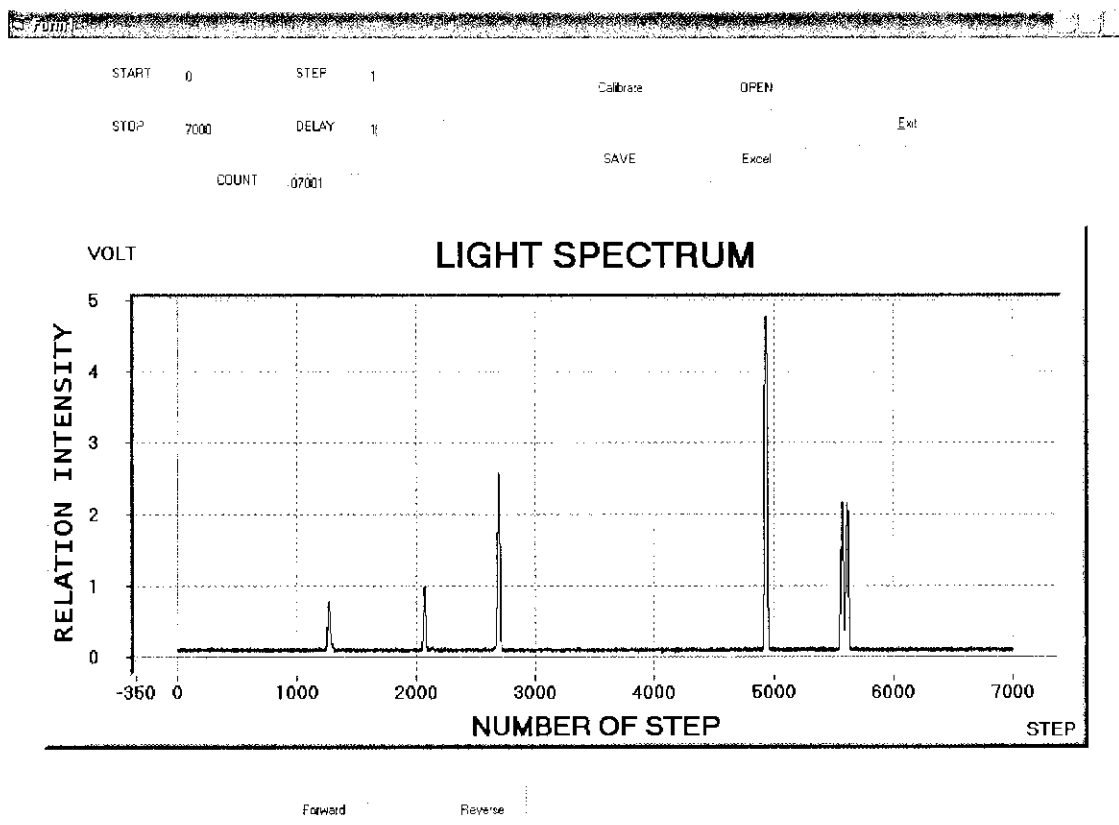
ผลการทดลองและอภิปราย

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ทดลองได้ทำการหมุนเกรตติงในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ เพื่อแยกสเปกตรัมของแสง โดยในการทดลองจะทำการเชื่อมต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้โปรแกรมภาษาซีในการควบคุม สเตปมิ่งมอเตอร์แบบ 5 เฟสเพื่อควบคุมการหมุนของเกรตติงที่อยู่ภายในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ และทำการเปลี่ยนสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital converter) และในส่วนไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก 6 เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ในรูปของกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งในการทดลองผู้ทำการทดลอง ใช้แหล่งกำเนิดแสง 4 แบบ คือ

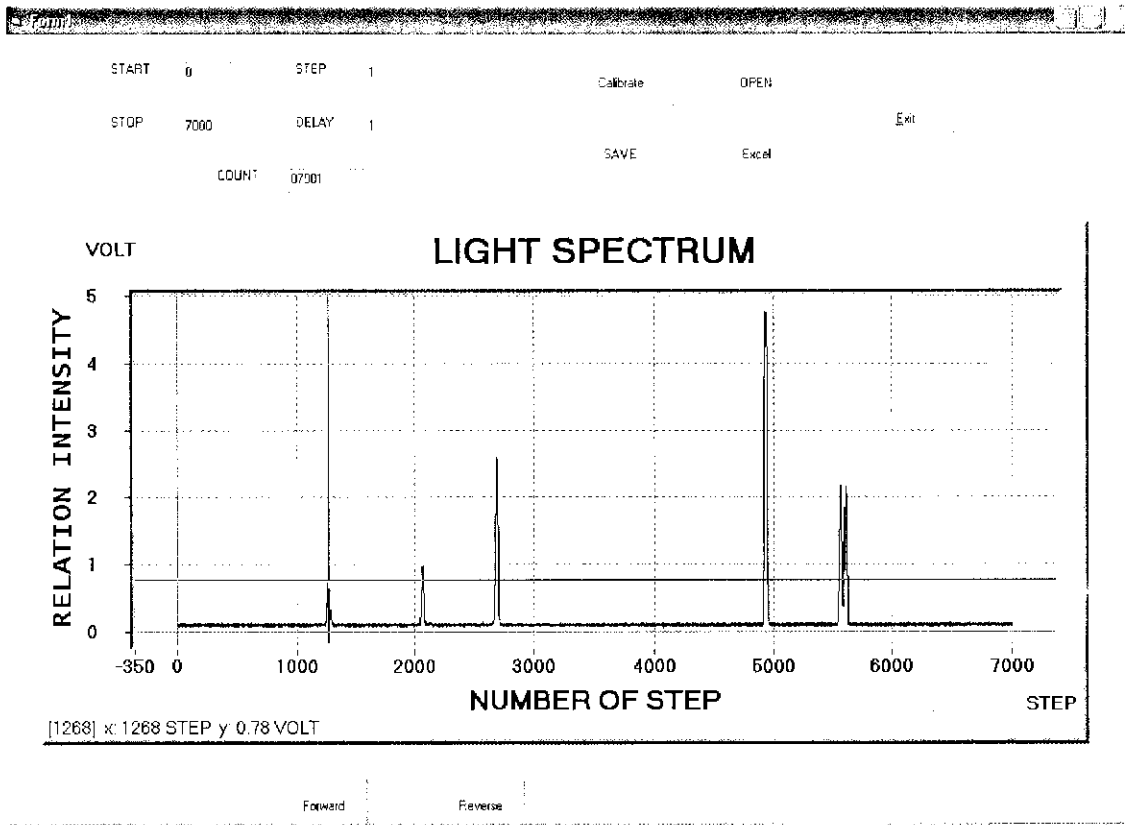
1. แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไอปรอท
2. แหล่งกำเนิดแสงจากเลเซอร์ชนิดฮีเลียมนีออน
3. แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดทังสเตนโดยผ่านสายไฟเบอร์
4. แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดทังสเตนโดยไม่ผ่านสายไฟเบอร์

4.1 ผลการทดลองของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอท

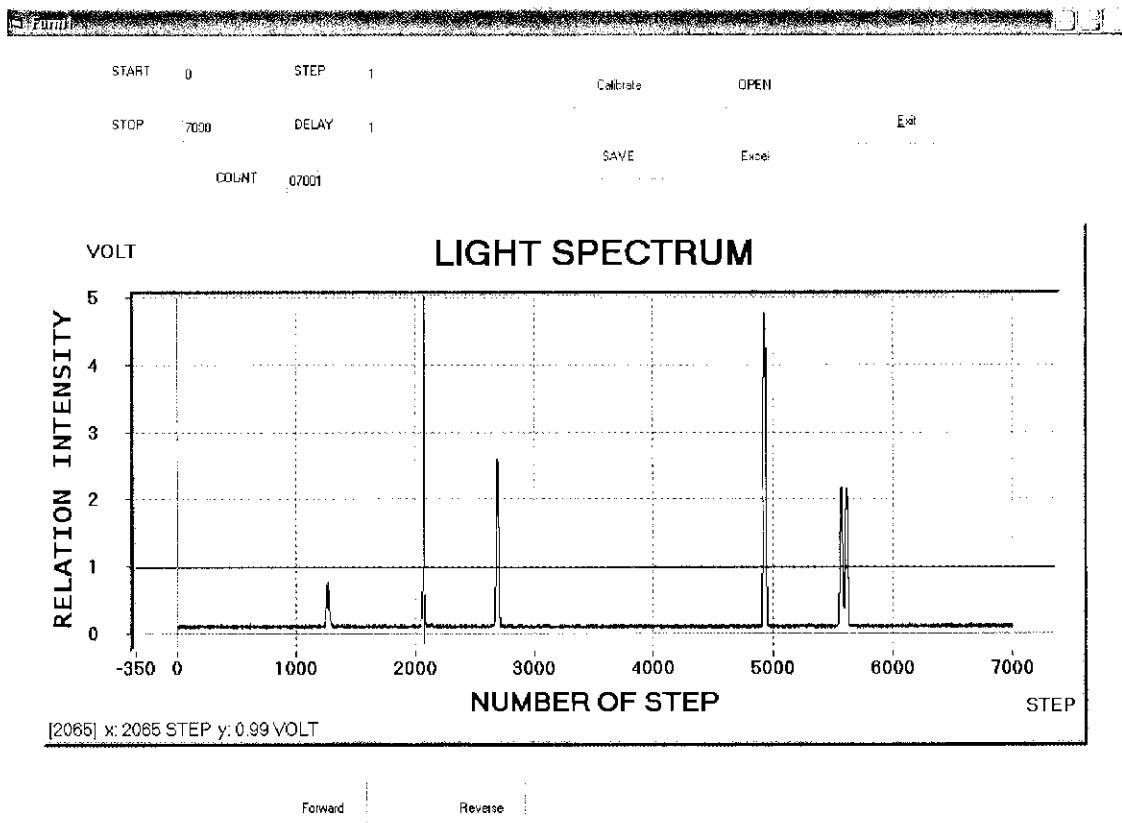
จากการทดลองเราจะใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไอปรอทในการสอบเทียบสเกลของการวัดสเปกตรัม เมื่อทำการปรับแหล่งกำเนิดแสงของหลอดไอปรอทและเปิดระบบการวัดสเปกตรัมของแสงแล้ว ทำการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอทโดยทำการควบคุมการหมุนของเกรตติงด้วย สเตปมิ่งมอเตอร์แบบ 5 เฟส ซึ่งในขั้นแรกเราจะได้ผลการทดลองออกมาในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงและจำนวนของสเตปที่มอเตอร์หมุนไป ซึ่งเราทราบค่าของความยาวคลื่นในแต่ละฟิสิกของเส้นสเปกตรัมอยู่แล้ว จึงนำค่าความยาวคลื่นที่ทราบและจำนวนสเตปที่ได้จากการทดลองมาหาความสัมพันธ์จะทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่นได้ ผลการทดลองที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอทดังที่แสดงได้ดังรูป 4.1



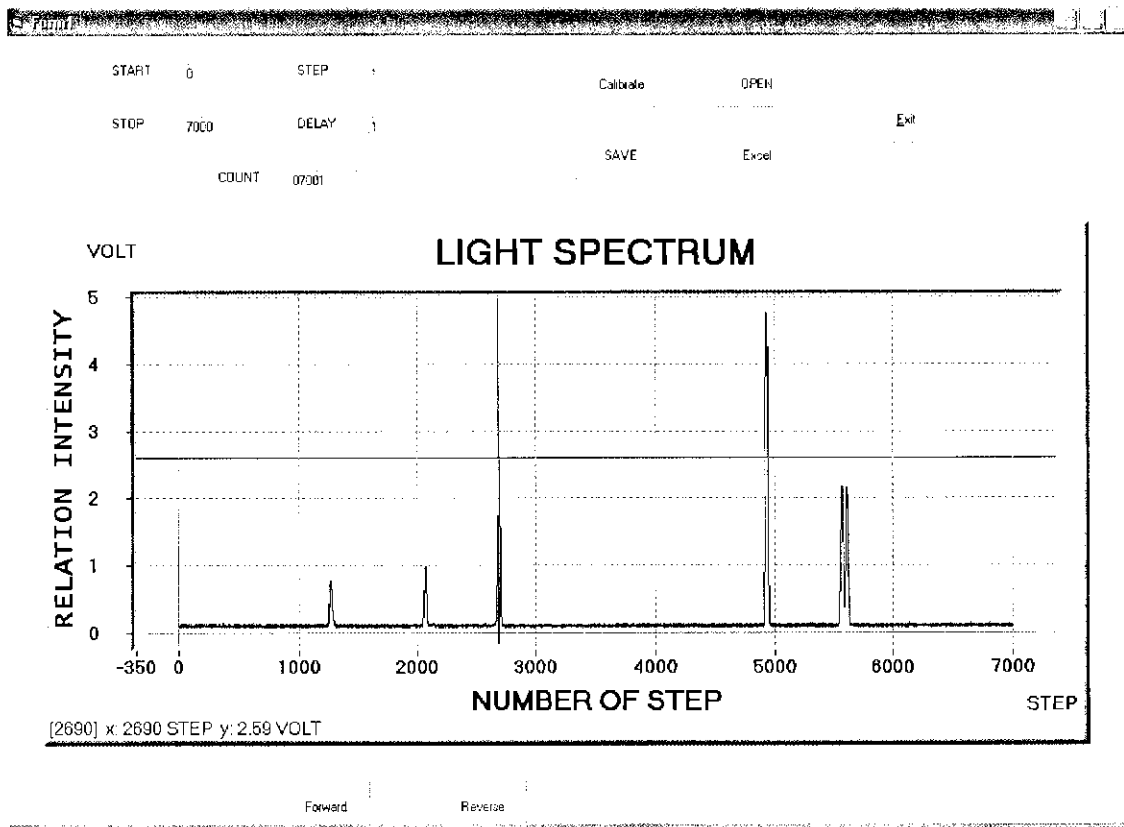
รูปที่ 4.1 ผลการวัดสเปกตรัมของไอปรอทโดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง และจำนวนสเตป



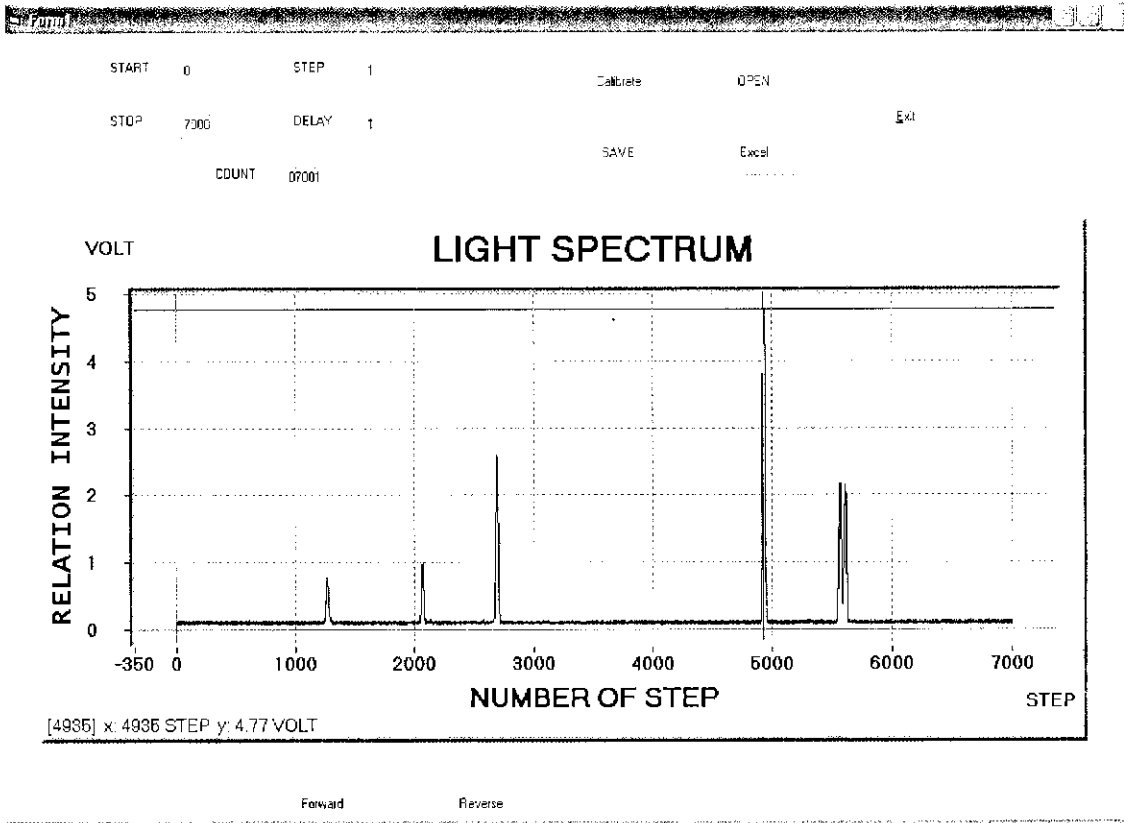
รูปที่ 4.2 จำนวนสเตปของฟิสิกแรก



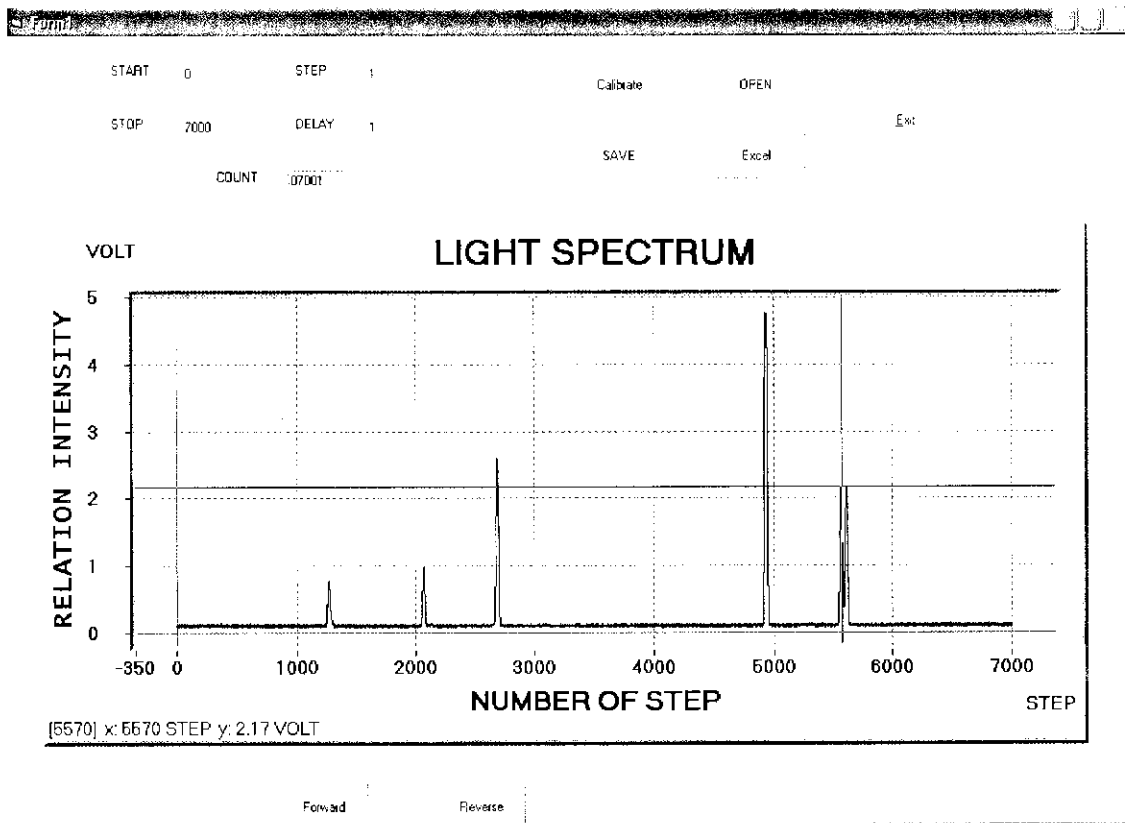
รูปที่ 4.3 จำนวนสเตปของพีคที่สอง



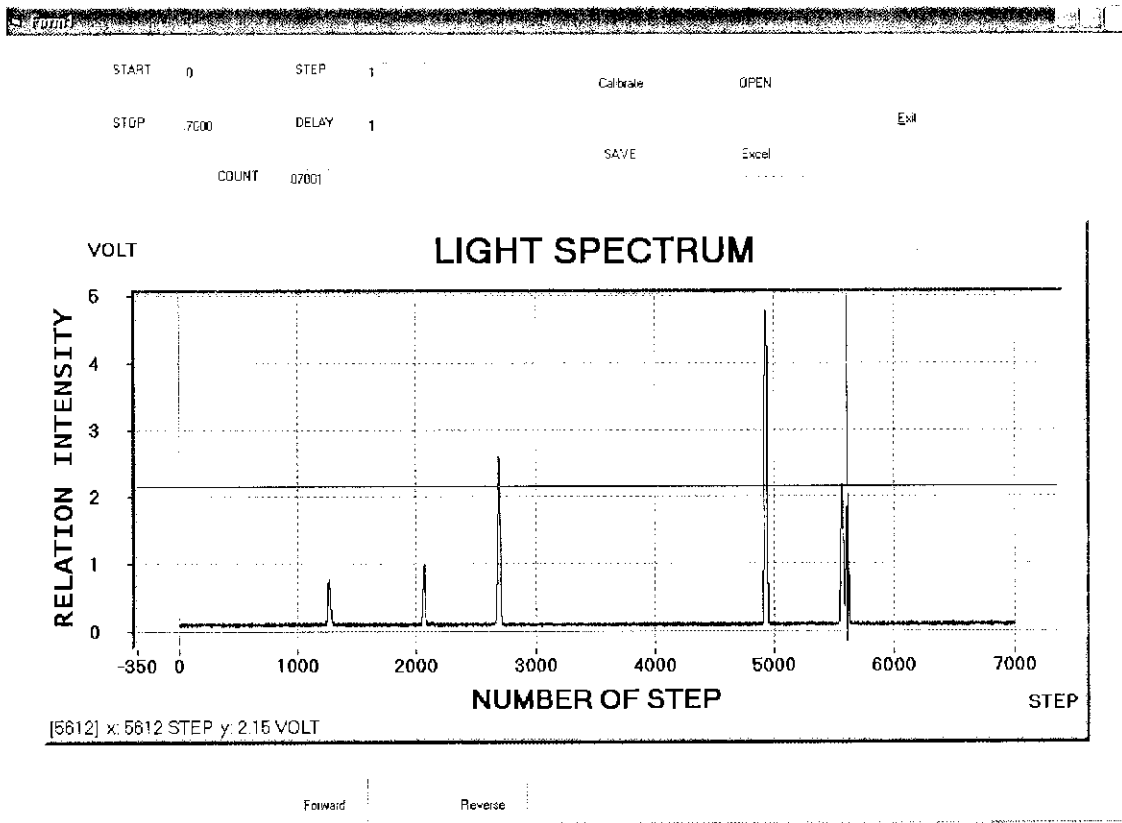
รูปที่ 4.4 จำนวนสเตปของพีคที่สาม



รูปที่ 4.5 จำนวนสเตปของพิกที่สี่

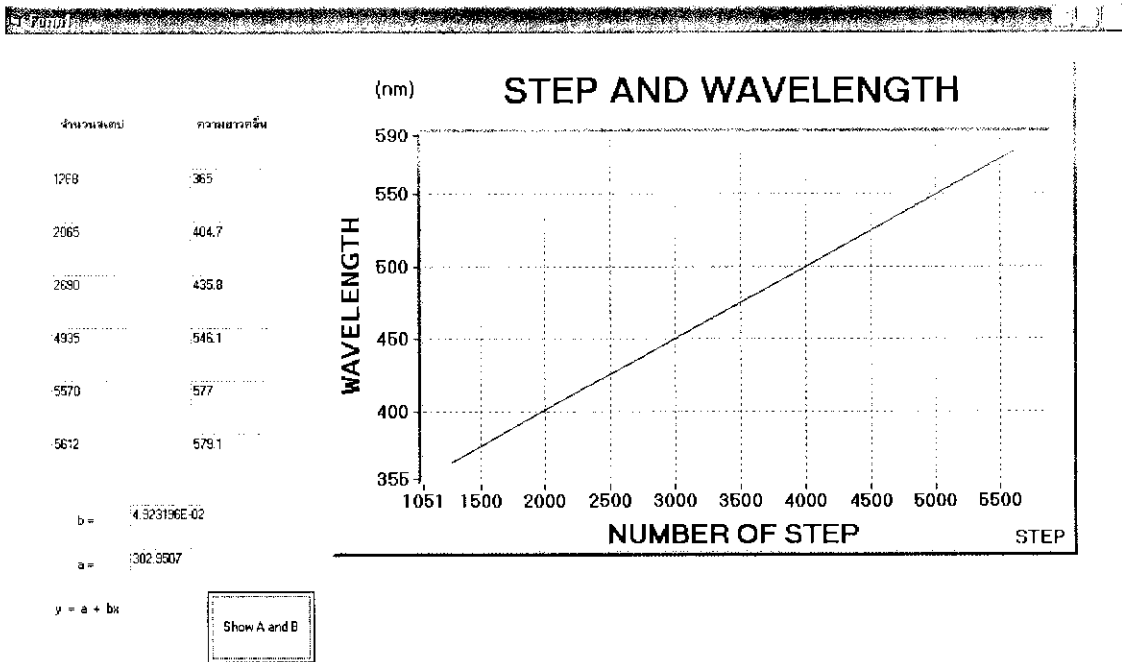


รูปที่ 4.6 จำนวนสเตปของฟลักที่ห้า



รูปที่ 4.7 จำนวนสเตปของพีคที่หก

จากนั้นนำค่าของความยาวคลื่นที่ทราบและจำนวนสเตปที่ได้จากการทดลองมาทำการหาสมการความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง



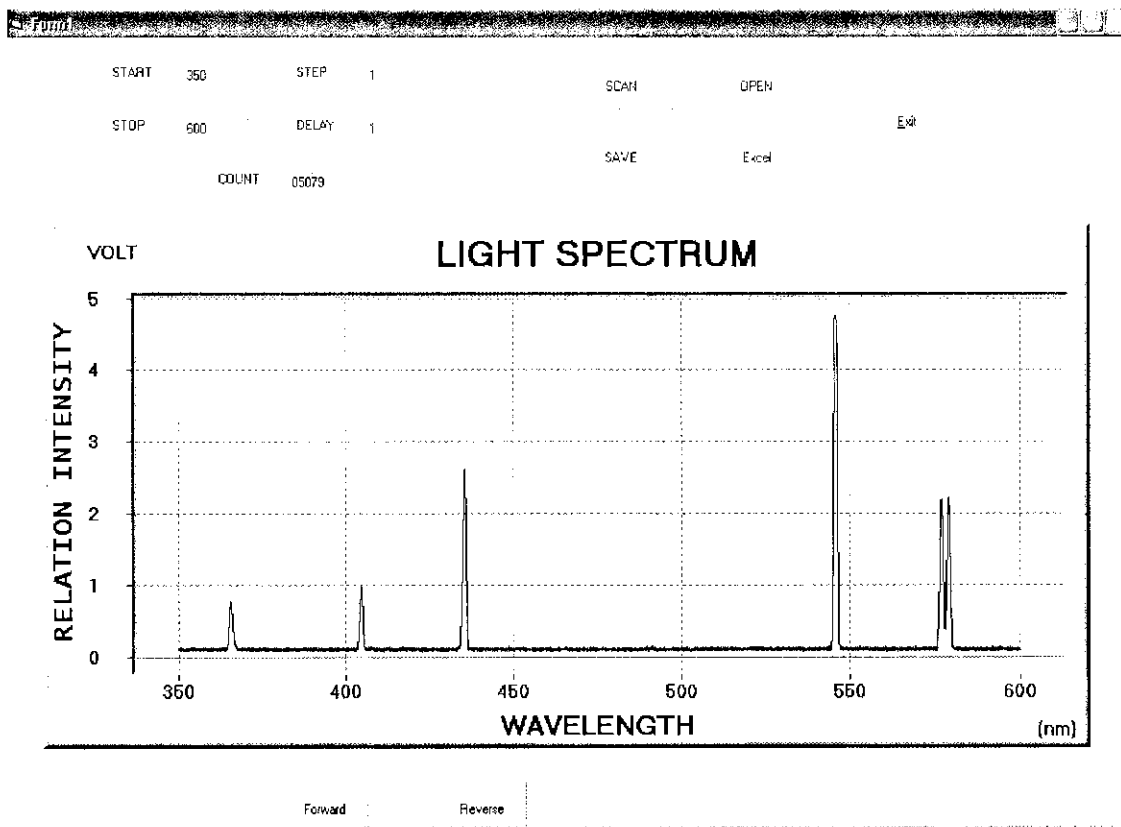
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเตปและความยาวคลื่น

$$Y = 4.923196E-02 X + (302.9507)$$

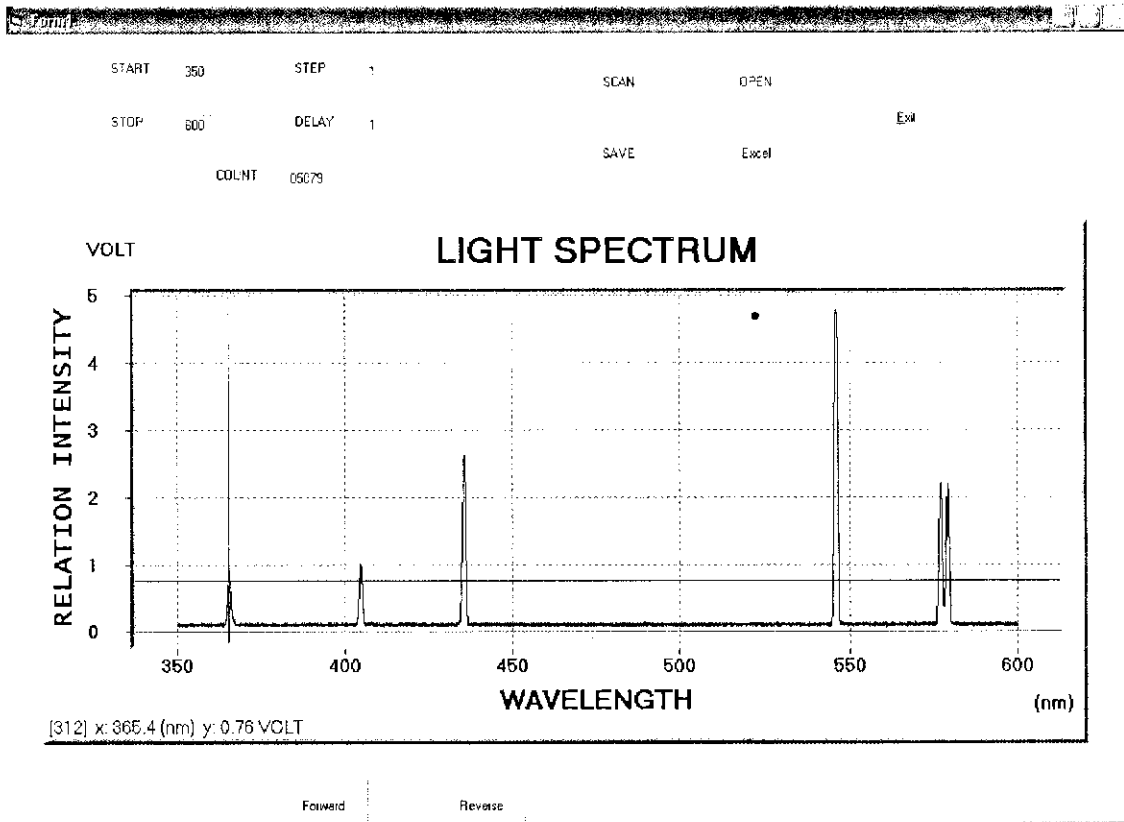
จำนวนสเคป	ความยาวคลื่น
1268	365
2065	404.7
2690	435.8
4935	546.1
5570	577
5612	579.1

รูปที่ 4.9 สมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเคปและความยาวคลื่น

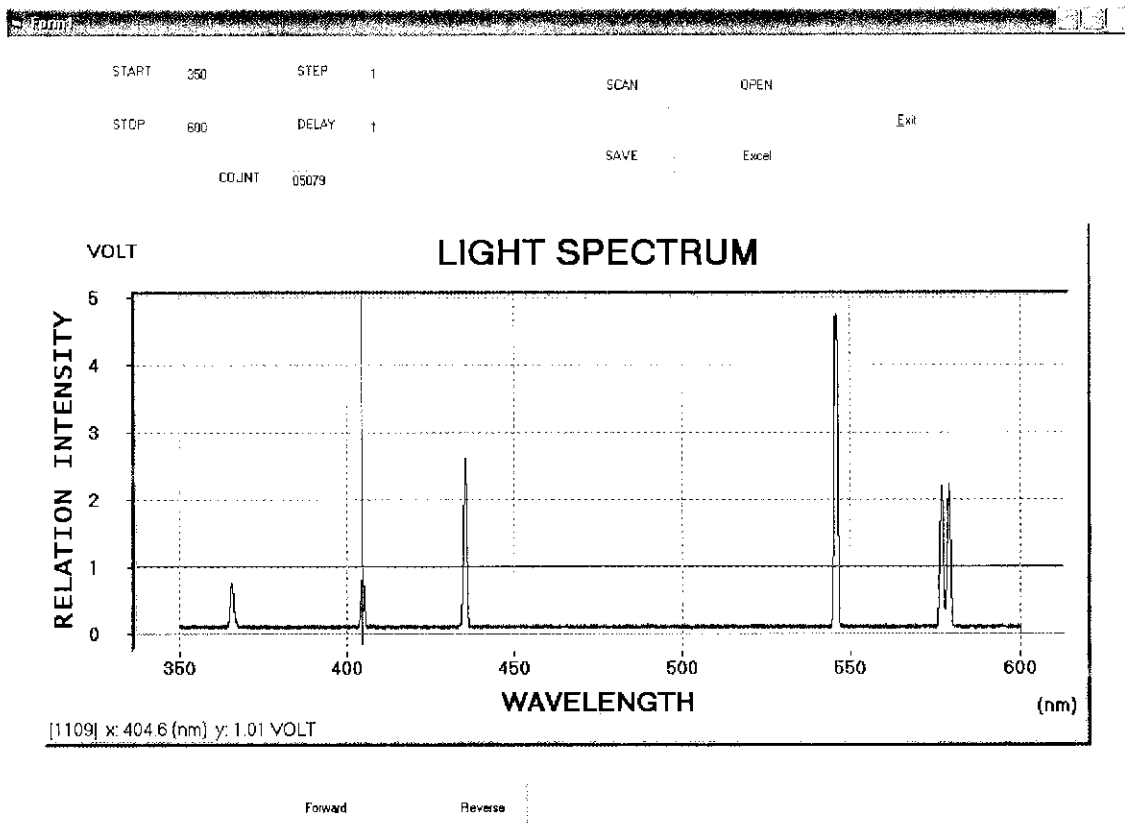
นำสมการที่ได้มาเพื่อแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่น



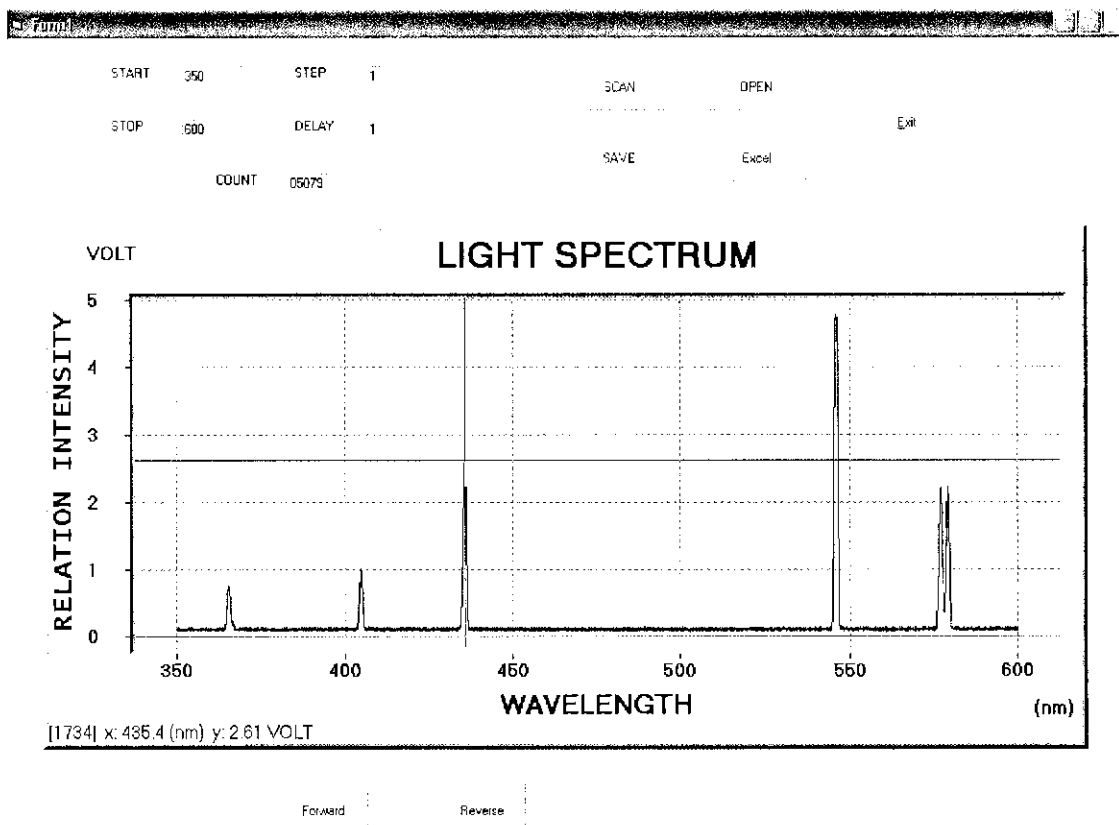
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่น



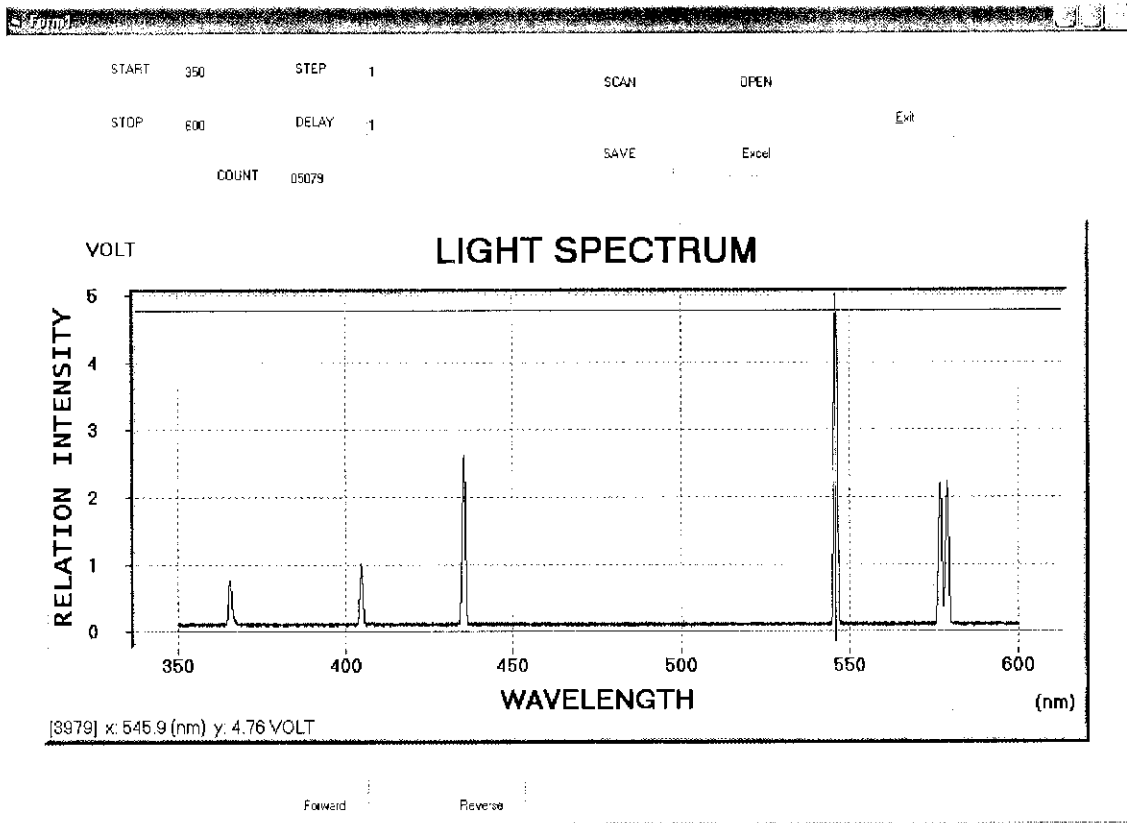
รูปที่ 4.11 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของฟิล์มที่หนึ่ง



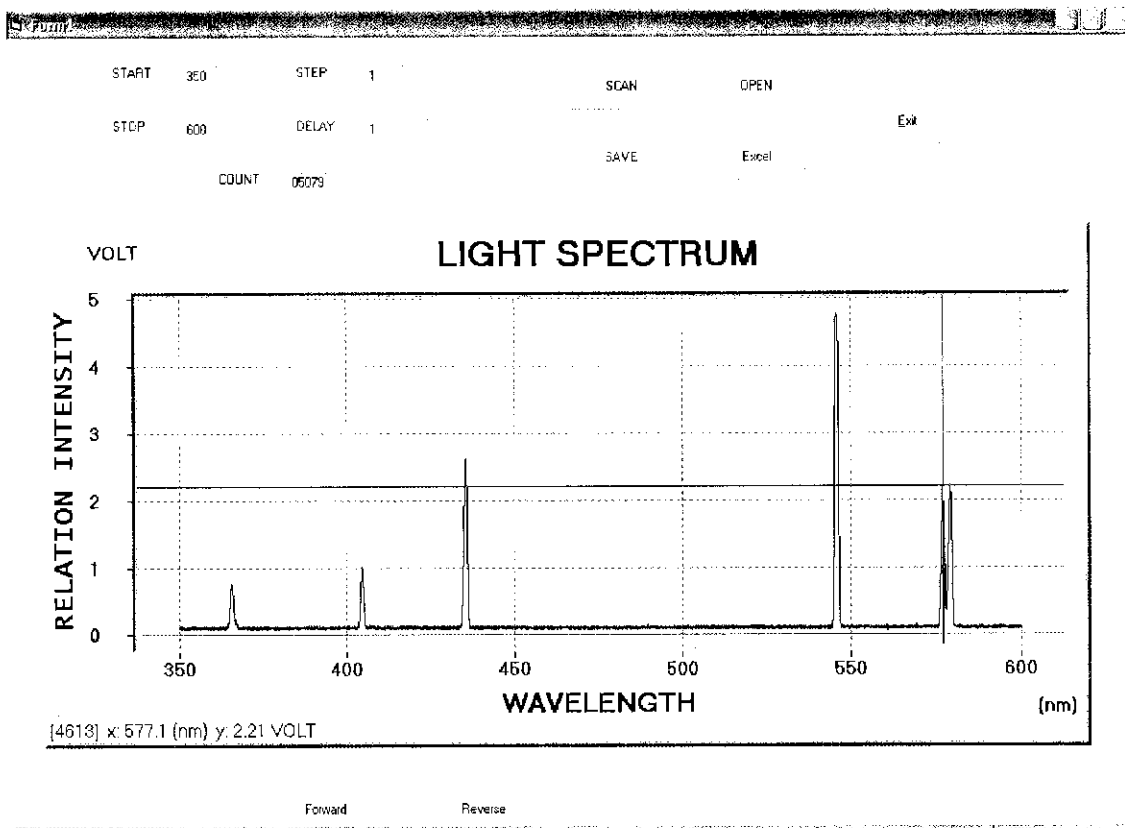
รูปที่ 4.12 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของฟิล์มที่สอง



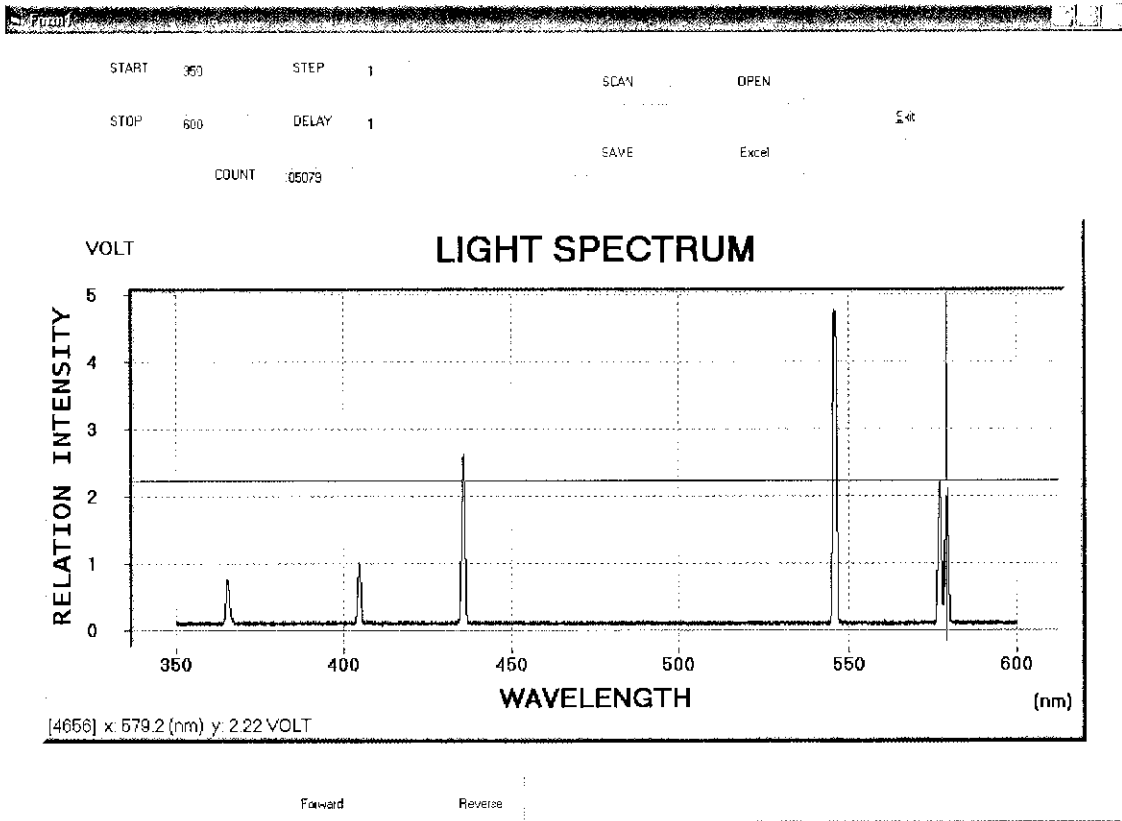
รูปที่ 4.13 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของฟลักที่สาม



รูปที่ 4.14 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของพีคที่สี่



รูปที่ 4.15 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของฟลักซ์ที่ห้า

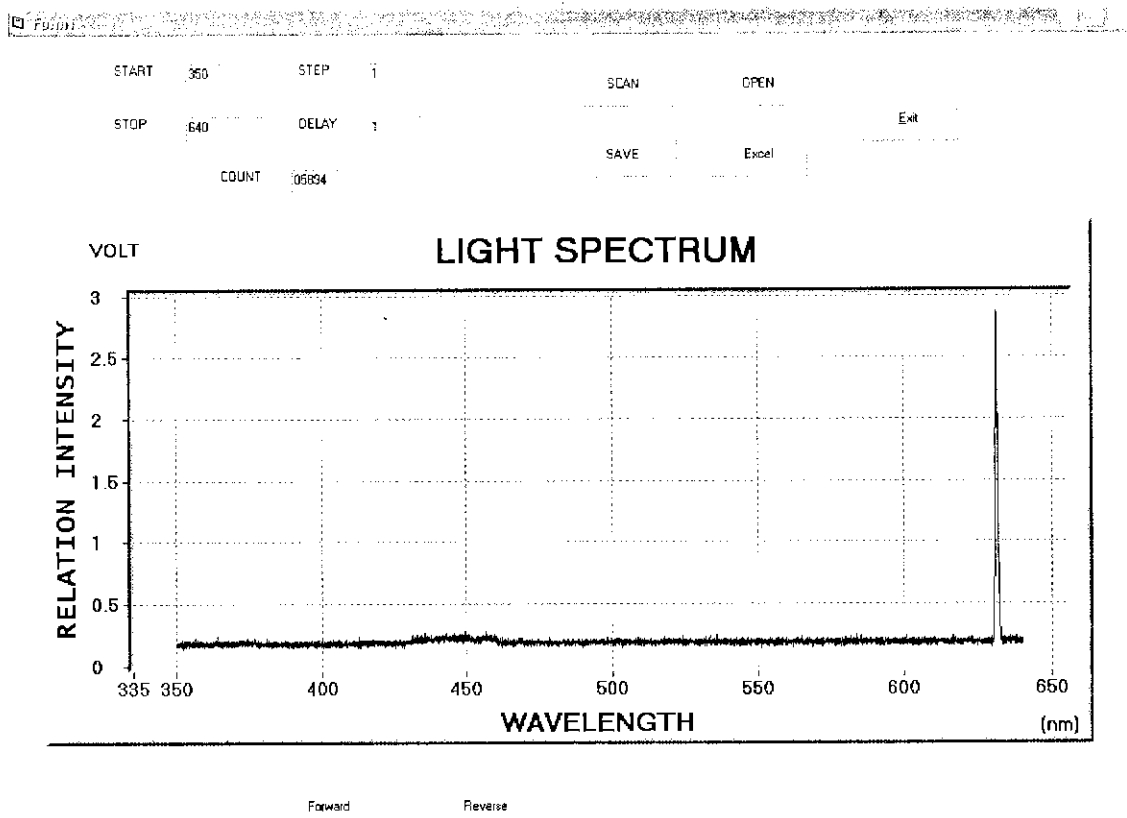


รูปที่ 4.16 ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของฟิสิกส์ที่หก

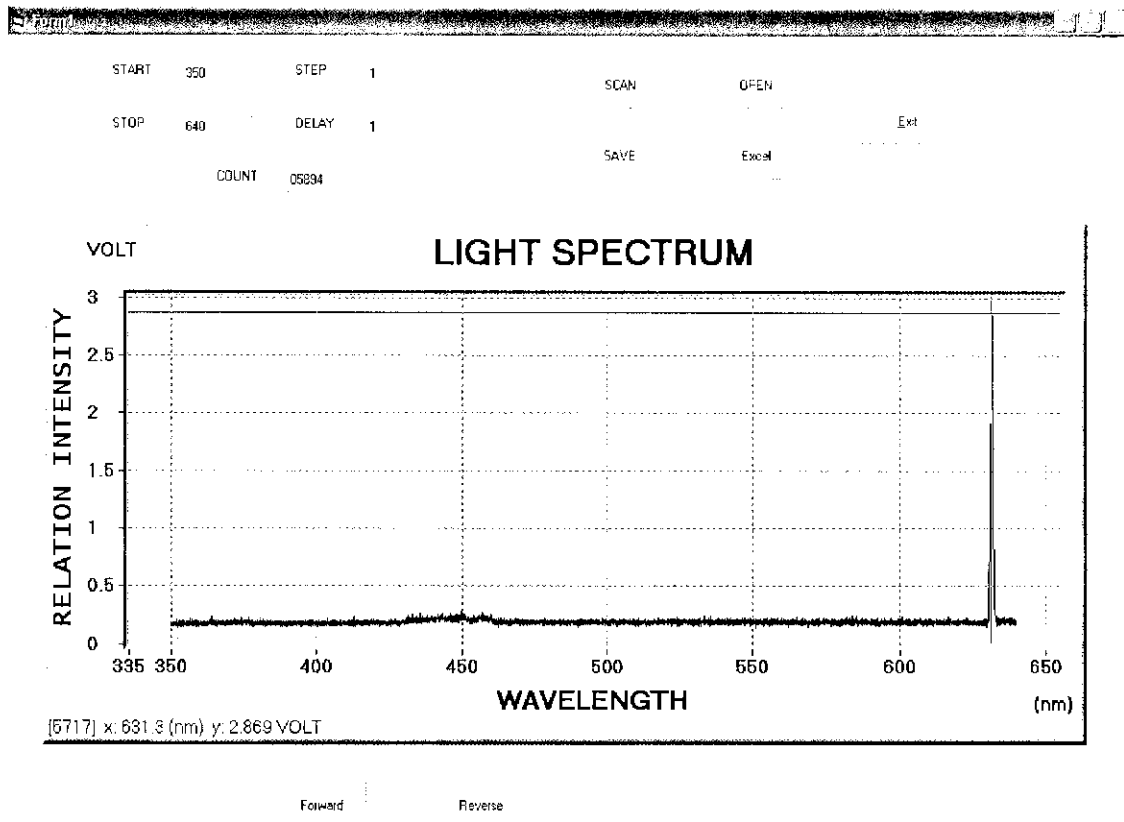
ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอท

ชนิดของ แหล่งกำเนิด แสง	จำนวนสเทป	ค่าที่วัดได้(nm)	ค่าจริง (nm)	ค่าผิดพลาด (nm)	เปอร์เซ็นต์ ผิดพลาด (%)
Mercury Lamp	1268	365.4	365	0.4	0.11
	2065	404.6	404.7	0.1	0.03
	2690	435.4	435.8	0.4	0.09
	4935	545.9	546.1	0.2	0.04
	5570	577.1	577	0.1	0.02
	5612	579.2	579.1	0.1	0.02

4.2 ผลการทดลองการวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิด He-Ne Laser



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมที่วัดได้จากแหล่งกำเนิด HeNe Laser

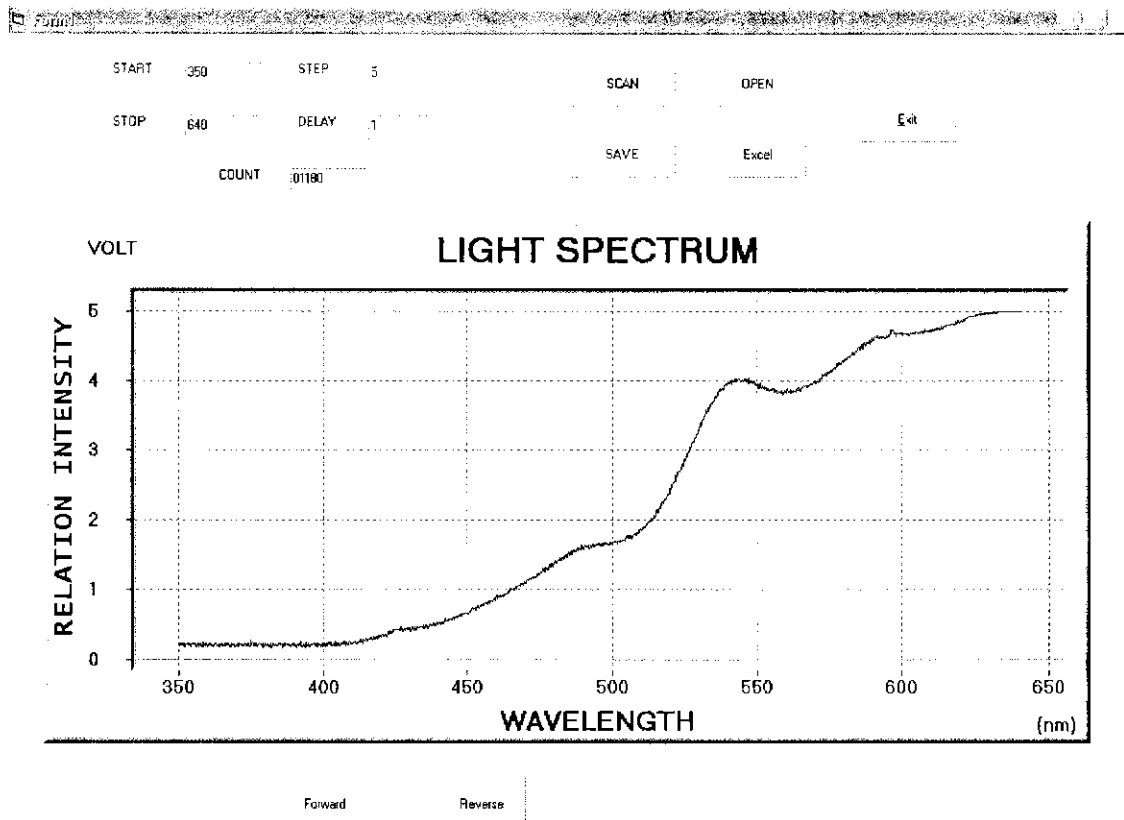


รูปที่ 4.18 ค่าของความยาวคลื่นที่วัดได้จากแสงเลเซอร์

ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงชนิด HeNe Laser

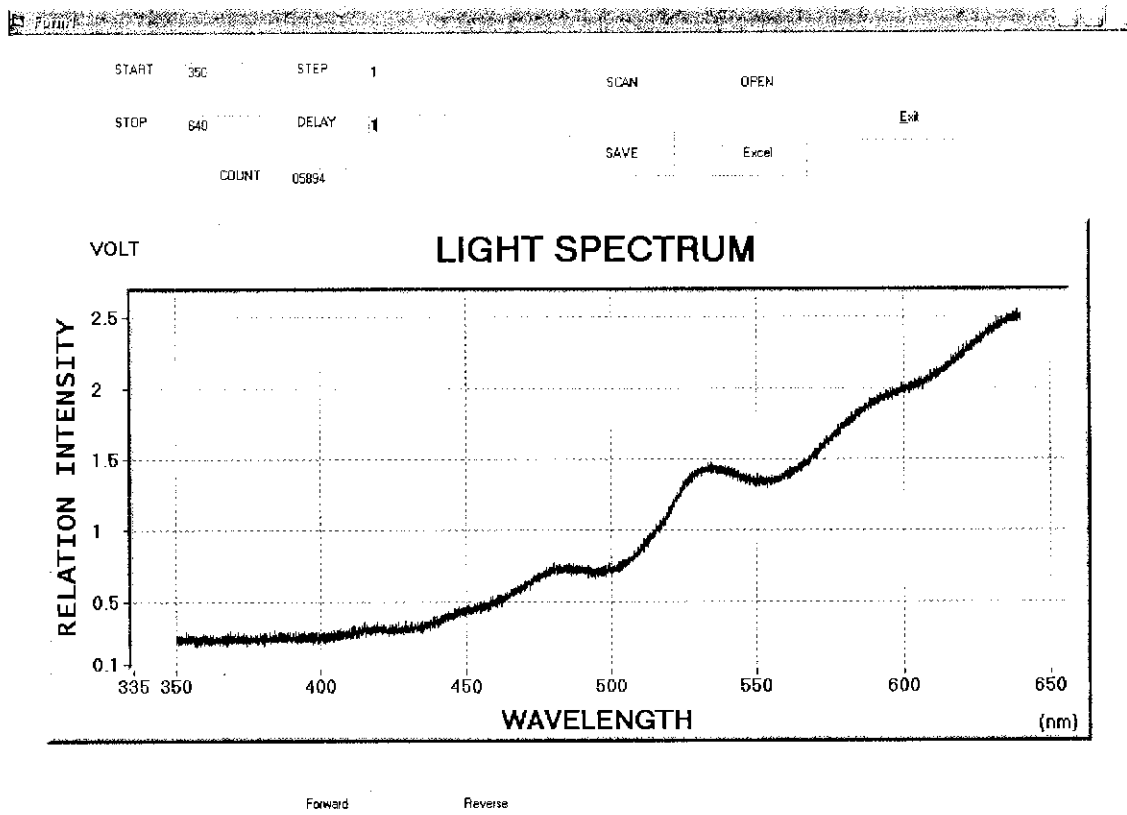
ค่าความยาวคลื่นจริงของเลเซอร์	=	632.8 nm
ค่าความยาวคลื่นที่ทดลองได้ของเลเซอร์	=	631.8 nm
ดังนั้นค่าความผิดพลาด	=	1.5 nm
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด	=	0.23%

4.3 ผลการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดทั้งสแตนโดยผ่านสายไฟเบอร์



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่นของแสงจากทั้งสแตนผ่านสายไฟเบอร์

4.4 ผลการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดทั้งสแตนโดยไม่ผ่านสายไฟเบอร์



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่นของแสงจากทั้งสแตนไม่ผ่านสายไฟเบอร์

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวัดสเปกตรัมของแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์พบว่าระบบสเปกโทรมิเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีประสิทธิภาพและรวดเร็วกว่าการที่ใช้มือหมุนตำแหน่งของเกรตติง และสามารถแยกสเปกตรัมของแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกันมากได้อย่างละเอียดและชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงที่แหล่งกำเนิดต่างๆดังนี้

5.1.1 สเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดไอปรอท

ผลการศึกษาการวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดไอปรอท พบว่าไอปรอทมีเส้นสเปกตรัมของแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 365 – 579 และระบบสเปกโทรมิเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแยกค่าความยาวคลื่นแสงที่ใกล้เคียงกันมากๆ ได้คือในช่วง 577 และ 579.1 นาโนเมตร และผลของการสอบเทียบพบว่าสเกลของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.2 %

5.1.2 สเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม - นีออน

จากการศึกษาการวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม - นีออน พบว่าเลเซอร์เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวโดยผลจากการวัดสเปกตรัมของแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ พบว่ามีค่าความยาวคลื่นแสงที่ 631.3 คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 1.5 นาโนเมตร หรือ 0.2 % ดังนั้นแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม - นีออนไม่สามารถนำมาทำเป็นตัวสอบเทียบได้แต่ในโครงการพิเศษนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์เพื่อทดสอบความถูกต้องของระบบสเปกโทรมิเตอร์เพราะว่าเลเซอร์เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวและความเข้มสูง

5.1.3 สเปกตรัมของแสงจากหลอดทั้งสแตนท์ที่ผ่านสายไฟเบอร์และหลอดทั้งสแตนท์ที่ไม่ผ่านสายไฟเบอร์

จากผลการศึกษาการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดทั้งสแตนท์ที่ผ่านสายไฟเบอร์และไม่ผ่านสายไฟเบอร์ เป็นการนำแหล่งกำเนิดที่ไม่ทราบสเปกตรัมของแสงมาทดสอบและพบว่าหลอดทั้งสแตนท์ที่ผ่านสายไฟเบอร์และไม่ผ่านสายไฟเบอร์มีการดูกลืนที่แตกต่างกัน และแหล่งกำเนิดแสงทั้งสแตนท์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้สเปกตรัมแบบต่อเนื่องเพราะแสงเกิดจากความร้อนของไส้หลอด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

สำหรับปัญหาในส่วนนี้เกิดขึ้นจากผู้ทดลองเองคือ ผู้ทดลองยังจัดวางอุปกรณ์ไม่ค่อยดีนัก อย่างเช่น การจัดวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะต้องวางให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ด้วย ถ้าจัดวางตำแหน่งไม่ดีก็อาจทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

5.2.2 ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรมในส่วนควบคุมและส่วนแสดงผล

สำหรับส่วนนี้มีการนำโปรแกรมภาษาซีและโปรแกรมวิซวลเบสิกเข้ามาใช้ในโครงการงานพิเศษนี้เพื่อควบคุมการทำงานของระบบสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งในส่วนของโปรแกรมภาษาซีจะใช้ควบคุมการหมุนของสเตปมอเตอร์พบว่าระยะการหมุนมอเตอร์ค่อนข้างไปและจากกลับไม่ค่อยเท่ากัน เนื่องจากในขณะที่ทดลองการหมุนของมอเตอร์เมื่อกำหนดสเตปในการหมุนที่เท่ากันนั้นในตอนหมุนไปจะวัดค่าไปด้วยและการวัดค่ามอเตอร์จะเหมือนถูกหน่วงเวลาไปด้วย แต่ในตอนขากลับไม่มีการวัดค่าจึงไม่เกิดการหน่วงเวลาเนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระยะการหมุนของมอเตอร์ขณะเดินหน้าและถอยหลังไม่เท่ากัน

ในส่วนของโปรแกรมวิซวลเบสิกนั้นบัฟเฟอร์เก็บข้อมูลไม่ทัน ทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลจึงต้องเพิ่มการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ และเพิ่มขนาดของบัฟเฟอร์เพื่อให้สามารถสำรองข้อมูลได้มากขึ้นเพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลได้

5.3 แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาโปรแกรมในส่วนที่ควบคุมการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์ให้มีระยะทางทั้งไปและกลับให้เท่ากัน
2. หาเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง
3. พัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบสเปกโทรมิเตอร์ โดยอาจมีการนำตัวเซนเซอร์มาติดตั้ง

เอกสารอ้างอิง

- ประจัน พลังสันติกุล. เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์. กรุงเทพมหานคร. บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.
- รศ.สุวรรณ คูสำราญ. 2537. ทัศนศาสตร์กายภาพ (Physical Optic).
- <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK19/chapter9/t19-9-13.htm#sect3a>

ภาคผนวก

โปรแกรมวิชาลเบสิก 6

โปรแกรมในการวัดสเปกตรัม โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและจำนวนสเตป (ใช้ในการปรับเทียบสเกล)

Option Explicit

Private Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)

'Excel

Private xlApp As Object 'excel.Application

Private xlBook As Object 'excel.workbooks

Private xlSheet As Object 'excel.WorkSheet

'Data

Private num_start As Long, num_stop As Long, num_step As Long

Private num_count As Long

'Graph

Private graph As Curve

Private x(25000) As Single

Private y(25000) As Single

Private z(25000) As Single

'Calibrate

Private a As Single, b As Single

Private Sub Command1_Click() 'Export_Excel

Dim i As Long

Dim j As Long

Static Sheet As Integer

```
If Sheet = 0 Then
    Set xlApp = CreateObject("Excel.Application")
    Set xlBook = xlApp.workbooks.Add
End If
```

```
xlApp.Visible = True
```

```
Sheet = Sheet + 1
```

```
If Sheet < 4 Then
    Set xlSheet = xlBook.worksheets(Sheet)
Else
    Set xlSheet = xlBook.worksheets.Add
End If
```

```
xlSheet.Select
```

```
i = 0
```

```
'i = num_start
```

```
For j = 1 To num_count
```

```
'For j = 1 To num_loop
```

```
xlSheet.cells(j, 1).Value = x(i)
```

```
xlSheet.cells(j, 2).Value = y(i)
```

```
i = i + 1
```

```
Next j
```

```
End Sub
```

```
Private Sub init_graph()
```

```
Plot.DataCurves.RemoveAll
```

```
Plot.Axes.XAxis.From = num_start - 20
```

```
Plot.Axes.XAxis.To = num_stop + 5
```

```
Plot.Axes.YAxis.From = 0
```

```
Plot.Axes.YAxis.To = 15
```

```
Plot.Cursors.Enable.State = False
```

```
Set graph = Plot.DataCurves.Add("Graph_Spectrometer", x, y, 1, False).Curve
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
```

```
End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub move_forward_Click()
```

```
If Flag_USB Then usb_close
```

```
Flag_USB = usb_open()
```

```
If Not Flag_USB Then Exit Sub
```

```
Call clear_usb_buffer
```

```
tx = "F"
```

```
byte2write = 1
```

```
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)
```

```
If Flag_USB Then usb_close
```

```
End Sub
```

```
Private Sub move_reward_Click()
```

```
If Flag_USB Then usb_close
```

```
Flag_USB = usb_open()
```

If Not Flag_USB Then Exit Sub

Call clear_usb_buffer

tx = "R"

byte2write = 1

lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

If Flag_USB Then usb_close

End Sub

Private Sub Open_Click()

Open_File

End Sub

Private Sub S_Num_Step_Click()

Dim buff As String

Dim step As Long

Dim i As Long, num_loop As Long

Dim s As String

Open "C:\Documents and Settings\Toshiba\My Documents\WORK\ADC\ADC.txt" For

Input As #1

Input #1, s

b = CSng(s)

Input #1, s

a = CSng(s)

Close #1

If Flag_USB Then usb_close

Flag_USB = usb_open()

If Not Flag_USB Then Exit Sub

Call clear_usb_buffer

num_start = (txt_start.Text - a) / b

num_stop = (txt_stop.Text - a) / b

num_step = txt_step.Text

num_count = 1 + (num_stop - num_start) / num_step

rx = Space\$(7000)

byte2read = 0

byteread = 0

tx = "S"

byte2write = 1

lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

tx = Right("00000" & num_start, 5)

byte2write = 5

lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

buff = Right("00000" & num_count, 5)

txt_count.Text = buff

tx = buff

byte2write = 5

lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

tx = Right("00000" & txt_step.Text, 5)

byte2write = 5

lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

```

tx = Right("00000" & txt_delay.Text, 5)
byte2write = 5
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

z(0) = CLng(num_start)
y(0) = 0
x(0) = (b * z(0)) + a
step = CLng(txt_step.Text)
init_graph

tmr_err.Interval = 50000
For i = 0 To num_count - 1

FlagErr = False
tmr_err.Enabled = True
Do
    DoEvents
    lngRetVal = FT_GetQueueStatus(lngHandle, byte2read)

Loop Until (byte2read >= 4) Or FlagErr

tmr_err.Enabled = False
If lngRetVal = FT_OK And Not FlagErr Then
    lngRetVal = FT_Read(lngHandle, rx, 4, bytread)

    buff = Left$(rx, 4)

    y(i) = Val("&h" & buff)
    y(i) = y(i) * 5 / 1023
    z(i) = step * i + z(0)

```

```
x(i) = (b * z(i)) + a
```

```
graph.UpdateData x, y, i + 1
```

```
Plot.Axes.Autoscale
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
If Flag_USB Then usb_close
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Open_File()      'Excel
```

```
    Dim i As Long
```

```
    Dim s As String
```

```
    CommonDialog1.Filter = ".txt|*.txt|*"
```

```
    CommonDialog1.ShowOpen
```

```
    Open CommonDialog1.FileName For Input As #1
```

```
    Input #1, s
```

```
    num_count = CLng(s)
```

```
    For i = 0 To num_count - 1
```

```
        Input #1, s
```

```
        x(i) = CSng(s)
```

```
        Input #1, s
```

```
        y(i) = CSng(s)
```

```
    Next i
```

```
    Close #1
```

```

init_graph
  For i = 0 To num_count - 1
  graph.UpdateData x, y, i + 1
  Plot.Axes.Autoscale

  'Print #1, x(i) & "," & y(i)
  Next i
End Sub

Private Sub Save_File_Click()
  Dim i As Long
  CommonDialog1.Filter = "*.txt*|*.txt"
  CommonDialog1.ShowSave

  Open CommonDialog1.FileName For Output As #1

  Print #1, Trim$(Str$(num_count))

  For i = 0 To num_count - 1
  Print #1, x(i) & "," & y(i)
  Next i

  Close #1
End Sub

Private Sub tmr_err_Timer()
  FlagErr = True
End Sub

```

โปรแกรมในการวัดสเปกตรัมโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่น

Option Explicit

Private Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)

'Excel

Private xlApp As Object 'excel.Application

Private xlBook As Object 'excel.workbooks

Private xlSheet As Object 'excel.WorkSheet

'Data

Private num_start As Long, num_stop As Long, num_step As Long

Private num_count As Long

'Graph

Private graph As Curve

Private x(25000) As Single

Private y(25000) As Single

Private Sub Command1_Click() 'Export_Excel

Dim i As Long

Dim j As Long

Static Sheet As Integer

If Sheet = 0 Then

Set xlApp = CreateObject("Excel.Application")

Set xlBook = xlApp.workbooks.Add

End If

xlApp.Visible = True

```
Sheet = Sheet + 1
```

```
If Sheet < 4 Then
```

```
    Set xlSheet = xlBook.worksheets(Sheet)
```

```
Else
```

```
    Set xlSheet = xlBook.worksheets.Add
```

```
End If
```

```
xlSheet.Select
```

```
i = 0
```

```
'i = num_start
```

```
For j = 1 To num_count
```

```
'For j = 1 To num_loop
```

```
xlSheet.cells(j, 1).Value = x(i)
```

```
xlSheet.cells(j, 2).Value = y(i)
```

```
i = i + 1
```

```
Next j
```

```
End Sub
```

```
Private Sub init_graph()
```

```
    Plot.DataCurves.RemoveAll
```

```
    Plot.Axes.XAxis.From = num_start - 20
```

```
    Plot.Axes.XAxis.To = num_stop + 5
```

```
    Plot.Axes.YAxis.From = 0
```

```
    Plot.Axes.YAxis.To = 15
```

```
    Plot.Cursors.Enable.State = False
```

```
Set graph = Plot.DataCurves.Add("Graph_Spectrometer", x, y, 1, False).Curve
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
    End
End Sub
```

```
Private Sub move_forward_Click()
    If Flag_USB Then usb_close
    Flag_USB = usb_open()

    If Not Flag_USB Then Exit Sub
    Call clear_usb_buffer

    tx = "F"
    byte2write = 1
    lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

    If Flag_USB Then usb_close
End Sub
```

```
Private Sub move_reward_Click()
    If Flag_USB Then usb_close
    Flag_USB = usb_open()

    If Not Flag_USB Then Exit Sub
    Call clear_usb_buffer

    tx = "R"
    byte2write = 1
```

```
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)
```

```
    If Flag_USB Then usb_close
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Open_Click()
```

```
    Open_File
```

```
End Sub
```

```
Private Sub S_Num_Step_Click()
```

```
    Dim buff As String
```

```
    Dim step As Long
```

```
    Dim i As Long, num_loop As Long
```

```
    If Flag_USB Then usb_close
```

```
    Flag_USB = usb_open()
```

```
    If Not Flag_USB Then Exit Sub
```

```
    Call clear_usb_buffer
```

```
    num_start = txt_start.Text
```

```
    num_stop = txt_stop.Text
```

```
    num_step = txt_step.Text
```

```
    num_count = 1 + (num_stop - num_start) / num_step
```

```
    rx = Space$(7000)
```

```
    byte2read = 0
```

```
    byteread = 0
```

```
    tx = "S"
```

```
byte2write = 1
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

tx = Right("00000" & txt_start.Text, 5)
byte2write = 5
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

buff = Right("00000" & num_count, 5)
txt_count.Text = buff
tx = buff
byte2write = 5
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

tx = Right("00000" & txt_step.Text, 5)
byte2write = 5
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

tx = Right("00000" & txt_delay.Text, 5)
byte2write = 5
lngRetVal = FT_Write(lngHandle, tx, byte2write, bytewrite)

x(0) = CLng(txt_start.Text)
y(0) = 0
step = CLng(txt_step.Text)
init_graph
tmr_err.Interval = 50000

For i = 0 To num_count - 1
FlagErr = False
tmr_err.Enabled = True
```

```

Do
    DoEvents
    lngRetVal = FT_GetQueueStatus(lngHandle, byte2read)

Loop Until (byte2read >= 4) Or FlagErr
tmr_err.Enabled = False
If lngRetVal = FT_OK And Not FlagErr Then
    lngRetVal = FT_Read(lngHandle, rx, 4, bytread)

    buff = Left$(rx, 4)

    y(i) = Val("&h" & buff)
    y(i) = y(i) * 5 / 1023
    x(i) = step * i + x(0)
    'Print "X (" & i & ") = " & x(i)
    'Print "Y (" & i & ") = " & y(i)

    graph.UpdateData x, y, i + 1
    Plot.Axes.Autoscale
End If
Next i

If Flag_USB Then usb_close
End Sub

Private Sub Open_File()      'Excel
    Dim i As Long
    Dim s As String

    CommonDialog1.Filter = ".txt|*.txt*"

```

```
CommonDialog1.ShowOpen
```

```
Open CommonDialog1.FileName For Input As #1
```

```
Input #1, s
```

```
num_count = CLng(s)
```

```
For i = 0 To num_count - 1
```

```
Input #1, s
```

```
x(i) = CSng(s)
```

```
Input #1, s
```

```
y(i) = CSng(s)
```

```
Next i
```

```
Close #1
```

```
init_graph
```

```
For i = 0 To num_count - 1
```

```
graph.UpdateData x, y, i + 1
```

```
Plot.Axes.Autoscale
```

```
'Print #1, x(i) & "," & y(i)
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Save_File_Click()
```

```
Dim i As Long
```

```
CommonDialog1.Filter = "*.txt|*.txt"
```

```
CommonDialog1.ShowSave
```

```
Open CommonDialog1.FileName For Output As #1
```

```
Print #1, Trim$(Str$(num_count))
```

```
For i = 0 To num_count - 1
```

```
Print #1, x(i) & "," & y(i)
```

```
Next i
```

```
Close #1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub tmr_err_Timer()
```

```
FlagErr = True
```

```
End Sub
```

โปรแกรมสำหรับหาสมการความสัมพันธ์ของจำนวนสลับและความยาวคลื่น

```
Private x(5) As Single, y(5) As Single
```

```
Private i As Integer
```

```
Private totalx As Single, totaly As Single, totalxy As Single
```

```
Private totalxx2 As Single, totalx2 As Single
```

```
Private b1 As Single, b2 As Single, b As Single, b11 As Single, b22 As Single
```

```
Private a1 As Single, a2 As Single, a As Single
```

```
Private graph As Curve
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    For i = 0 To 5
```

```
        Print "x(" & i & ") = " & x(i)
```

```
    Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
    For i = 0 To 5
```

```
        Print "y(" & i & ") = " & y(i)
```

```
    Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub init_graph()
```

```
    PlotGraph.DataCurves.RemoveAll
```

```
    PlotGraph.Axes.XAxis.From = 0
```

```
    PlotGraph.Axes.XAxis.To = 7000
```

```
    PlotGraph.Axes.YAxis.From = 0
```

```
    PlotGraph.Axes.YAxis.To = 700
```

```
    PlotGraph.Cursors.Enable.State = False
```

```
Set graph = PlotGraph.DataCurves.Add("Calibrate_scale", x, y, 1, False).Curve
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Keep_value_Click()
```

```
    x(0) = Text1.Text
```

```
    x(1) = Text2.Text
```

```
    x(2) = Text3.Text
```

```
    x(3) = Text4.Text
```

```
    x(4) = Text5.Text
```

```
    x(5) = Text6.Text
```

```
    y(0) = Text7.Text
```

```
    y(1) = Text8.Text
```

```
    y(2) = Text9.Text
```

```
    y(3) = Text10.Text
```

```
    y(4) = Text11.Text
```

```
    y(5) = Text12.Text
```

```
    totalx = x(0) + x(1) + x(2) + x(3) + x(4) + x(5)
```

```
    totaly = y(0) + y(1) + y(2) + y(3) + y(4) + y(5)
```

```
    totalxx2 = x(0) * x(0) + x(1) * x(1) + x(2) * x(2) + x(3) * x(3) + x(4) * x(4) + x(5) * x(5)
```

```
    totalx2 = totalx * totalx
```

```
    totalxy = x(0) * y(0) + x(1) * y(1) + x(2) * y(2) + x(3) * y(3) + x(4) * y(4) + x(5) * y(5)
```

```
    b11 = (totalx * totaly) / 6
```

```
    b1 = totalxy - b11           'value b
```

```
    b11 = (totalx * totaly) / 6
```

```
    b22 = totalx2 / 6
```

```
    b2 = totalxx2 - b22
```

```
    b = b1 / b2
```

```
Text21.Text = b
```

```
a1 = totaly / 6           'value a
```

```
a2 = (b * totalx) / 6
```

```
a = a1 - a2
```

```
Text24.Text = a
```

```
Print
```

```
Print
```

```
Print "          Y = "; b; "X + ("; a; ")"
```

```
Open "C:\Documents and Settings\Toshiba\My Documents\WORK\ADC\ADC.txt" For Output  
As #1
```

```
Print #1, b & ", " & a
```

```
Print #1, "Y ="; b; "X +"; "("; a; ")"
```

```
Close #1
```

```
init_graph
```

```
For i = 0 To 5
```

```
    y(i) = b * x(i) + a
```

```
    graph.UpdateData x, y, i + 1
```

```
    PlotGraph.Axes.Autoscale
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

โปรแกรมภาษาซี

โปรแกรมสำหรับควบคุมการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์

```
#include <16F877.h>
#device adc=10
#include <stdlib.h>

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //High speed Osc (> 4mhz)
#FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES BROWNOUT       //Reset when brownout detected
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for
                    I/O
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD

#use delay(clock=1000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#include <input.c>

#byte step_motor =0x06 //define portb for driver motor

char cmd;
int16 i,j,k;
char buff[6];
long m_start,m_cnt,m_step,m_delay;
signed int16 curr_step;
```

```
//----- prototype -----
```

```
void home(void);  
void move_forward(int16 step);  
void move_reward(int16 step);  
void get_input(void);  
void preset_scan(void);  
void scan(void);  
void send_data(void);
```

```
void clear_usb(void);  
int8 Read_usb(void);  
void Write_usb(int8);  
void putHEX(int8 dat);  
void putHEX8(int8 dat);  
void putHEX16(int16 dat);
```

```
//-----
```

```
void main()
```

```
{
```

```
    setup_psp(PSP_DISABLED);  
    setup_spi(FALSE);  
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);  
    setup_timer_1(T1_DISABLED);  
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);  
    //enable_interrupts(INT_RDA);  
    //enable_interrupts(GLOBAL);
```

```

setup_port_a(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
set_adc_channel(1);

port_b_pullups(true);
set_tris_b(0x00);
step_motor=0;
curr_step=0;
clear_usb();

while(1){

    cmd = Read_usb();

    switch (cmd){
        case 'F' :    move_forward(10);    break;
//move forward
        case 'R' :    move_reward(10);    break;    //move
reward
        case 'S' :    get_input();
        preset_scan();
                                scan();
                                home();    break;
//start scan
    }

}

}

//-----

```

```
void home(){
    if(curr_step > 0){
        while(curr_step > 0)
            move_reward(1);
    }
}

//-----
```

```
void move_forward(int16 step){
    int16 i;

    for(i=0;i<step;i++){
        step_motor=2;
        delay_ms(2);
        step_motor=0;
        delay_ms(2);
        curr_step++;
    }
}

//-----
```

```
void move_reward(int16 step){
    int16 i;

    for(i=0;i<step;i++){
        step_motor=4;
```

```

delay_ms(2);
step_motor=0;
delay_ms(2);
        curr_step--;
    }
}

//-----

void get_input(void){
    //printf("\r\nstart = ");
    for(i=0; i<5; i++)    //start motor position
        buff[i] = Read_usb();
    buff[5] = 0;
    m_start = atol(buff);
    //printf("-->%ld\r\nCount = ",m_start);

    for(i=0; i<5; i++)    //motor counts
        buff[i] = Read_usb();
    buff[5] = 0;
    m_cnt = atol(buff);
    //printf("-->%ld\r\nStep = ",m_cnt);

    for(i=0; i<5; i++)    //motor steps/count
        buff[i] = Read_usb();
    buff[5] = 0;
    m_step = atol(buff);
    //printf("-->%ld\r\nDelay = ",m_step);

    for(i=0; i<5; i++)    //motor delay

```

```
    buff[i] = Read_usb();
    buff[5] = 0;
    m_delay = atol(buff);
    //printf("-->%ld\r\nStart Preset",m_delay);
}
```

```
//-----
```

```
void preset_scan(void){

    while(curr_step < m_start)
        move_forward(1);
        delay_ms(m_delay);

    //printf("\r\nStart SCAN!");
}
```

```
//-----
```

```
void scan(void){
    int16 i;
    for (i=0;i<m_cnt;i++){
        move_forward(m_step);
        delay_ms(2);
        send_data();
    }
    //printf("\r\nSCAN! Comp...\r\n");
}
```

```
//-----
```

```
void send_data(void){
```

```
    int i;
```

```
    int16 adc_val;
```

```
    adc_val=0;
```

```
    for(i=0;i<60;i++){
```

```
        delay_ms(1);
```

```
        adc_val += read_adc();
```

```
    }
```

```
    putHEX16(adc_val/60);
```

```
    //printf("%LX",adc_val/60);
```

```
    //printf("\r\n%d",adc_val);
```

```
}
```

```
//-----
```

```
void putHEX(int8 dat)
```

```
{
```

```
    if (dat > 9)
```

```
        Write_usb(dat+55); // convert to ASCII for A-F
```

```
    else
```

```
        Write_usb(dat+48); // and for ASCII 0-9
```

```
}
```

```
void putHEX8(int8 dat)
```

```
{
```

```
    putHEX((dat>>4) & 0x0f);  
    putHEX(dat & 0x0f);  
}
```

```
void putHEX16(int16 dat)  
{  
    putHEX8((dat>>8));  
    putHEX8(dat);  
}
```

```
int8 Read_usb(void)  
{  
    int8 dat;  
    while (input(pin_b4));  
    output_low(pin_b7);          //pin_b7 = RD  
    dat = input_d();  
  
    output_high(pin_b7);  
    return dat;  
}
```

```
void Write_usb(int8 dat)  
{  
    while (input(pin_b5));  
    output_high(pin_b6);        //pin_b6 = WR  
    output_d(dat);  
    output_low(pin_b6);  
}
```

```
void clear_usb(void){  
  
    while (!input(pin_b4)){  
        output_low(pin_b7);        //pin_b7 = RD  
        output_high(pin_b7);  
    }  
  
}
```



MICROCHIP

**PIC16F87X
Data Sheet**

**28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH
Microcontrollers**

"All rights reserved. Copyright © 2001, Microchip Technology Incorporated, USA. Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights. The Microchip logo and name are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in the U.S.A. and other countries. All rights reserved. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights."

Trademarks

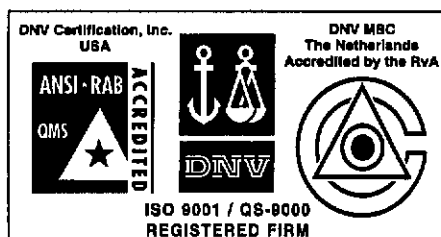
The Microchip name, logo, PIC, PICmicro, PICMASTER, PICSTART, PRO MATE, KEELoQ, SEEVAL, MPLAB and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Total Endurance, ICSP, In-Circuit Serial Programming, Filter-Lab, MXDEV, microID, FlexROM, fuzzyLAB, MPASM, MPLINK, MPLIB, PICDEM, ICEPIC, Migratable Memory, FanSense, ECONOMONITOR and SelectMode are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Serialized Quick Term Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2001, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.



Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoQ® code hopping devices, Serial EEPROMs and microperipheral products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

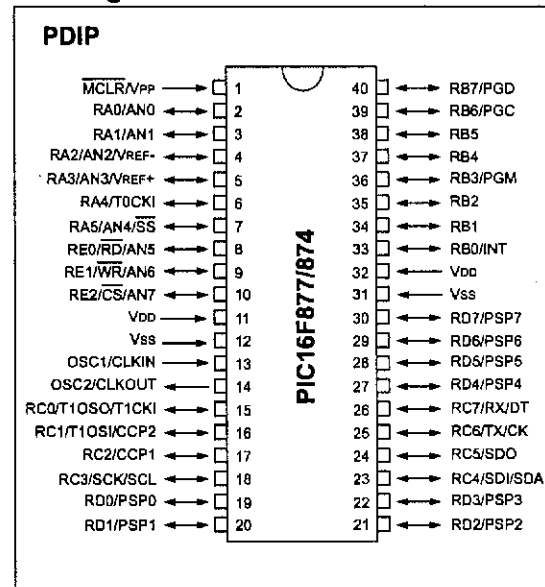
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

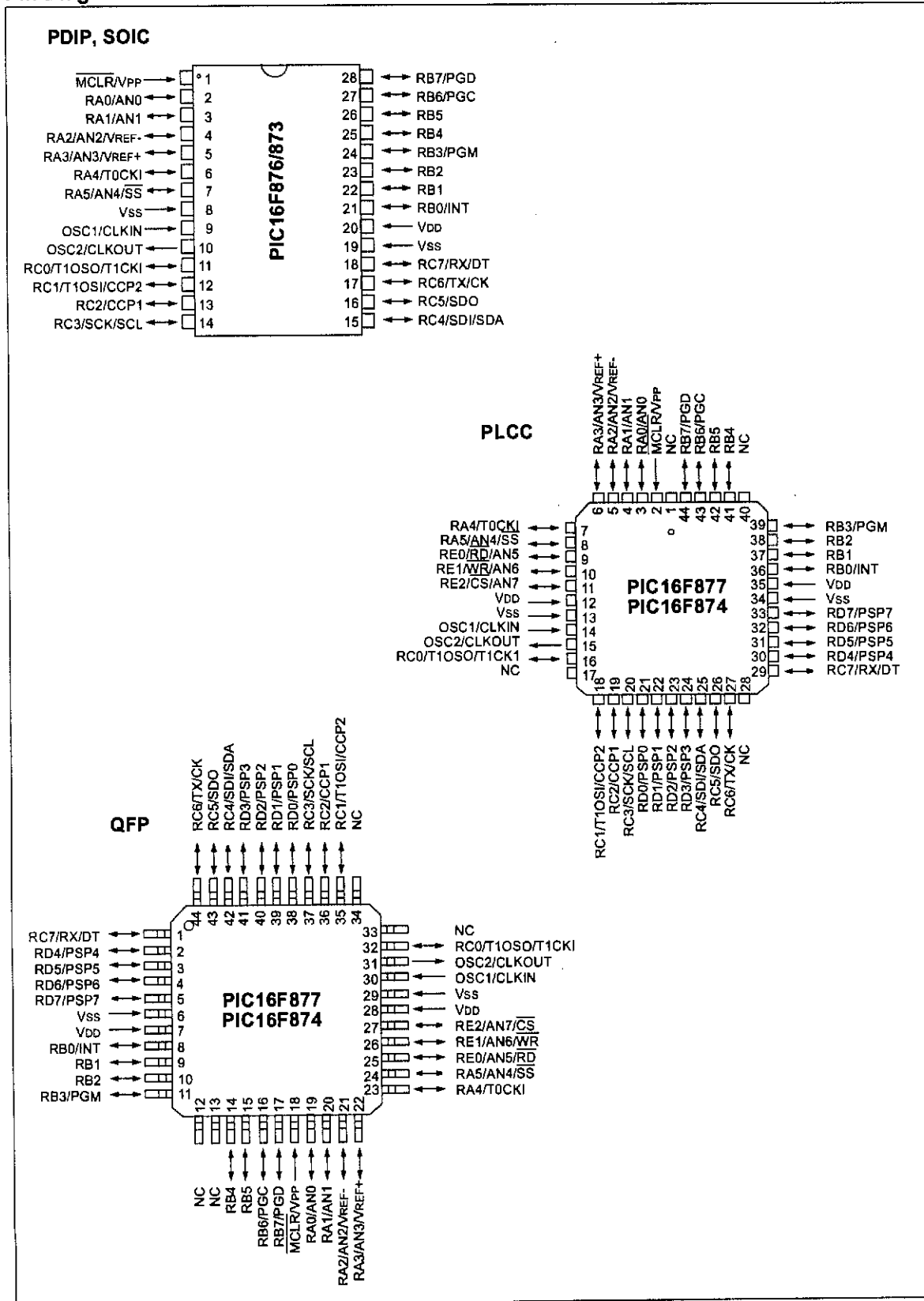


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

PIC16F87X

Table of Contents

1.0 Device Overview	5
2.0 Memory Organization.....	11
3.0 I/O Ports.....	29
4.0 Data EEPROM and FLASH Program Memory.....	41
5.0 Timer0 Module.....	47
6.0 Timer1 Module.....	51
7.0 Timer2 Module.....	55
8.0 Capture/Compare/PWM Modules.....	57
9.0 Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module.....	65
10.0 Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART).....	95
11.0 Analog-to-Digital Converter (A/D) Module.....	111
12.0 Special Features of the CPU.....	119
13.0 Instruction Set Summary.....	135
14.0 Development Support.....	143
15.0 Electrical Characteristics.....	149
16.0 DC and AC Characteristics Graphs and Tables.....	177
17.0 Packaging Information.....	189
Appendix A: Revision History.....	197
Appendix B: Device Differences.....	197
Appendix C: Conversion Considerations.....	198
Index.....	199
On-Line Support.....	207
Reader Response.....	208
PIC16F87X Product Identification System.....	209

TO OUR VALUED CUSTOMERS

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

If you have any questions or comments regarding this publication, please contact the Marketing Communications Department via E-mail at docs@microchip.com or fax the Reader Response Form on the back of this data sheet to (482) 762-4100. We welcome your feedback.

Most Current Data Sheet

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

<http://www.microchip.com>

You can determine the version of a data sheet by examining its Marketing number listed on the bottom outside corner of any page. The last character of the literature number is the version number. For example, 16F0005A is version A of document 16F0005.

Errata

An erratum sheet, identifying other conditions of functionality for the device and recommended workarounds, may exist for certain devices. As device/revision issues become known to us, we will publish an errata sheet. This sheet will specify the nature of errors and revision of document to which it applies.

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

- Microchip's Worldwide Web site: <http://www.microchip.com>
- Your local Microchip sales office (see last page)
- The Microchip Corporate Literature Center, U.S. FAX: (482) 762-7277

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

Customer Notification System

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

PIC16F87X

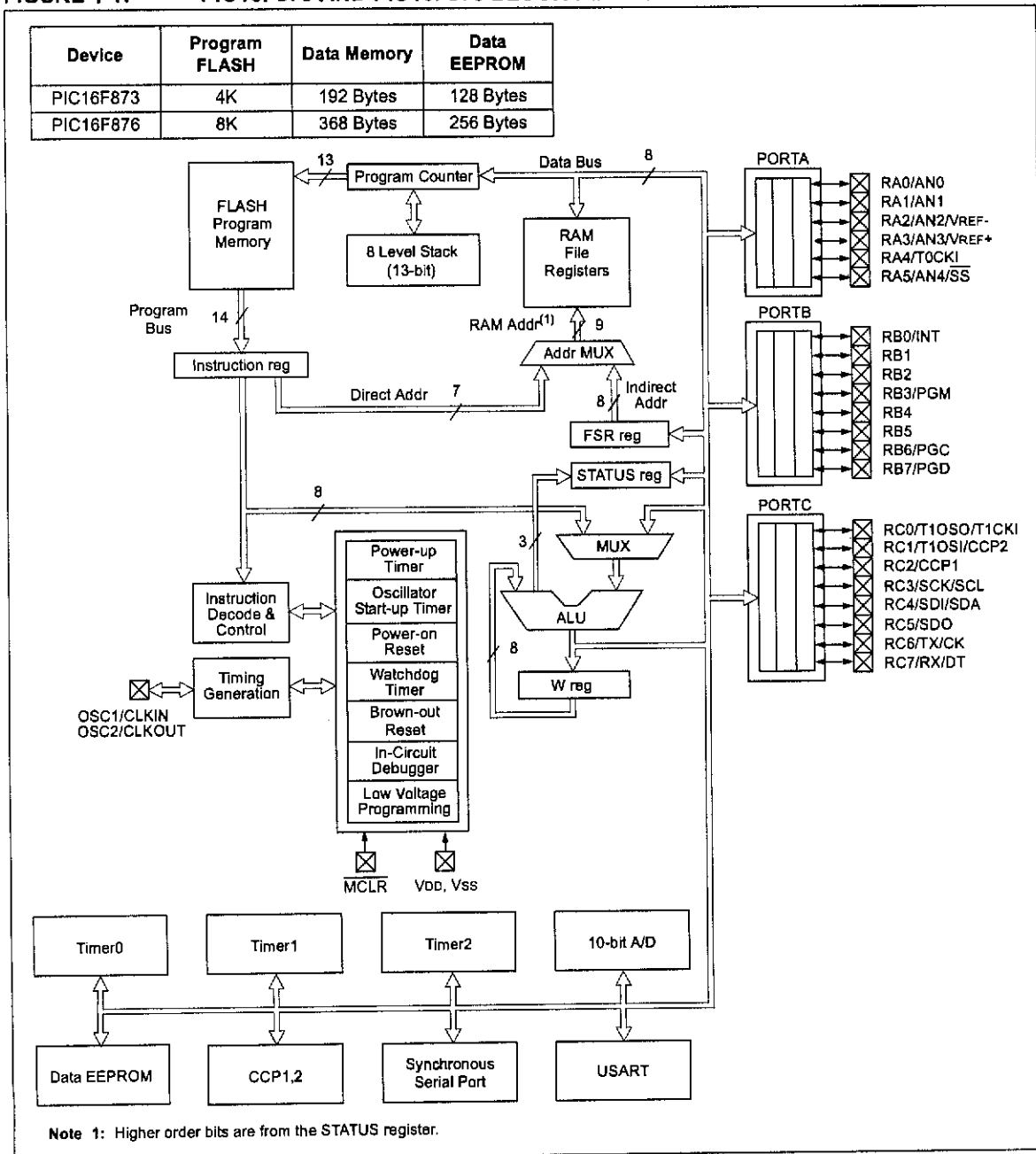
1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

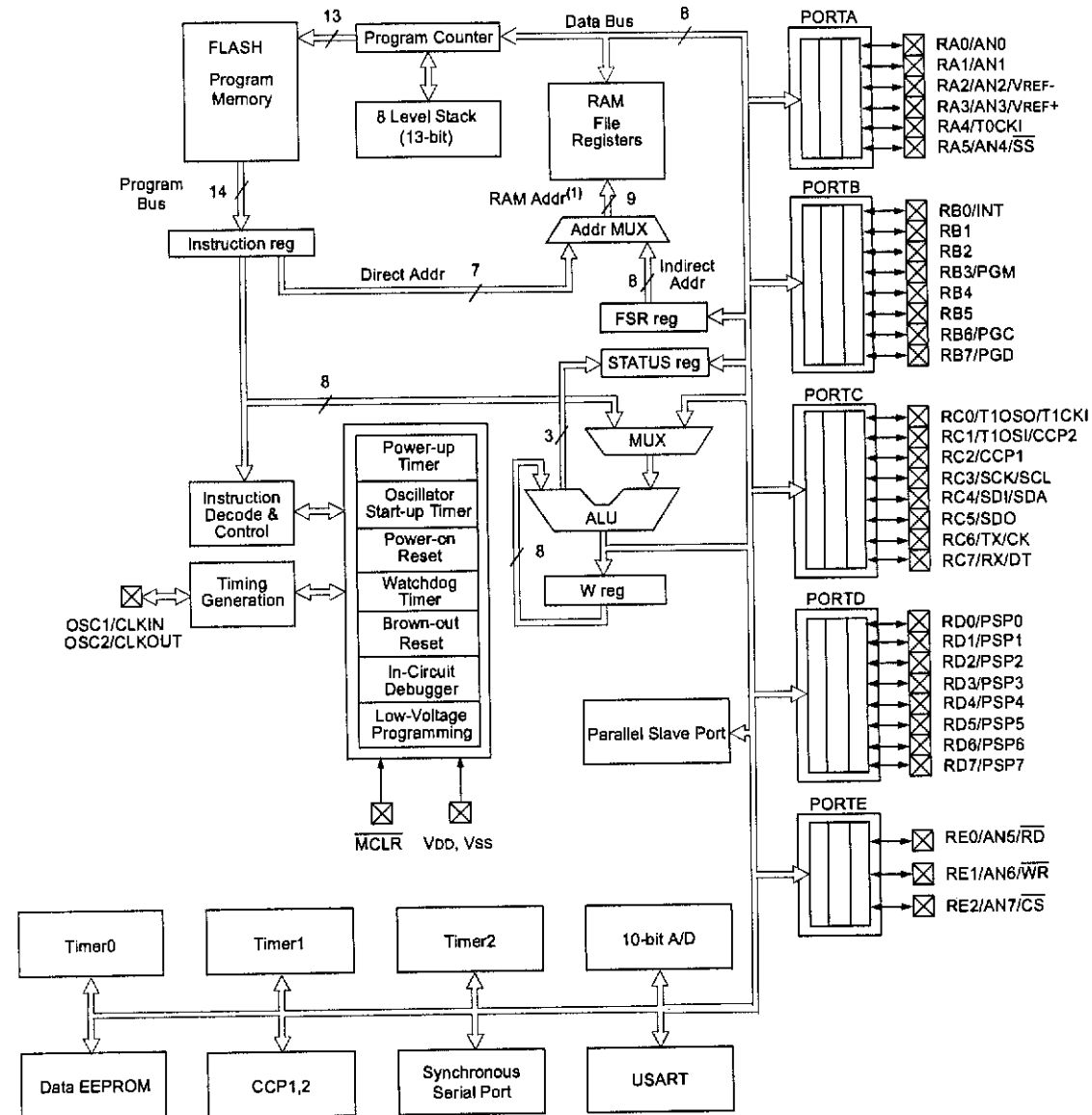
FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

PIC16F87X

TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	<p>PORTA is a bi-directional I/O port.</p> <p>RA0 can also be analog input0.</p> <p>RA1 can also be analog input1.</p> <p>RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.</p> <p>RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.</p> <p>RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type.</p> <p>RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.</p>
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	<p>PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.</p> <p>RB0 can also be the external interrupt pin.</p> <p>RB3 can also be the low voltage programming input.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.</p>
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	
RB4	25	25	I/O	TTL	
RB5	26	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	<p>PORTC is a bi-directional I/O port.</p> <p>RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input.</p> <p>RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.</p> <p>RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.</p> <p>RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I²C modes.</p> <p>RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I²C mode).</p> <p>RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).</p> <p>RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.</p> <p>RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.</p>
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = Input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL Input ST = Schmitt Trigger Input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	<p>PORTA is a bi-directional I/O port.</p> <p>RA0 can also be analog input0.</p> <p>RA1 can also be analog input1.</p> <p>RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.</p> <p>RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.</p> <p>RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type.</p> <p>RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.</p>
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	<p>PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.</p> <p>RB0 can also be the external interrupt pin.</p> <p>RB3 can also be the low voltage programming input.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.</p>
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	
RB4	37	41	14	I/O	TTL	
RB5	38	42	15	I/O	TTL	
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	

Legend: I = input O = output I/O = Input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
Note 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

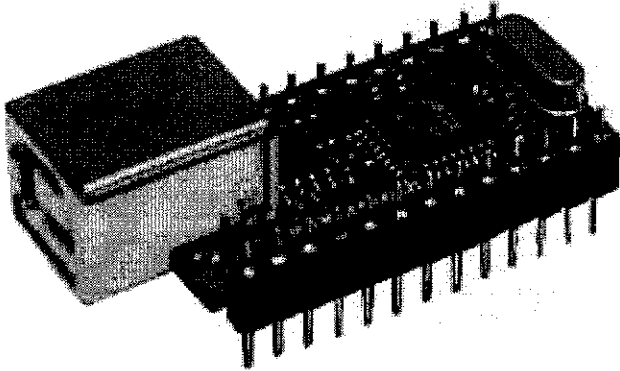
Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock Input/output for both SPI and I ² C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE0/ \overline{RD} /AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
RE1/ \overline{WR} /AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE2/ \overline{CS} /AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

DIP245BM

USB FT245BM MODULE

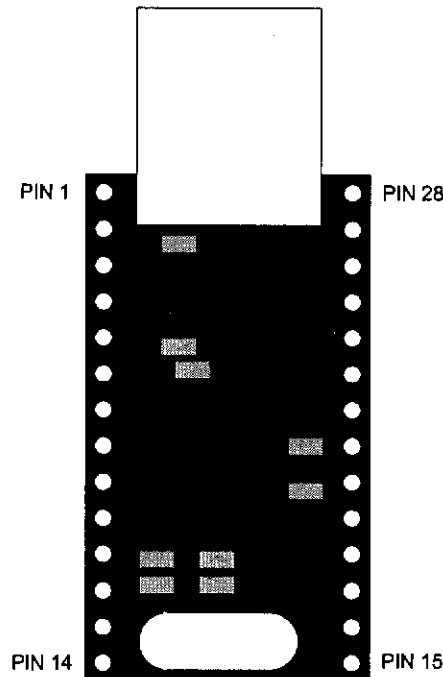


FEATURES

- Single Chip USB - Parallel FIFO bi-directional Data Transfer
- Transfer Data rate to 1M Byte/Sec
- 384 Byte FIFO Tx Buffer / 128 Byte FIFO Rx Buffer for high data throughput.
- Support for USB Suspend / Resume through PWREN and WAKEUP pins
- Support for high power USB Bus powered devices through PWREN pin
- Adjustable RX buffer timeout
- In-built support for event characters
- Integrated level converter on FIFO and control signals for interfacing to 5v and 3.3v logic
- Integrated 3.3v regulator for USB IO
- Integrated Power-On-Reset circuit
- Integrated 6MHz - 48MHz clock multiplier PLL
- USB 1.1 and USB 2.0 compatible

The DIP245BM is USB to Parallel FIFO bi-directional data transfer module. It use FT245BM chip from FTDI Chip for USB FIFO. Also DIP245BM has 93C66 on board for recording USB serial number and product description strings that are written via USB. The DIP245BM is a complete plug and play solution. Module is mounted in a standard 28 pin DIP socket for easy mounting on a pcb board.

BOARD LAYOUT



ERE050714A

HARDWARE FEATURES

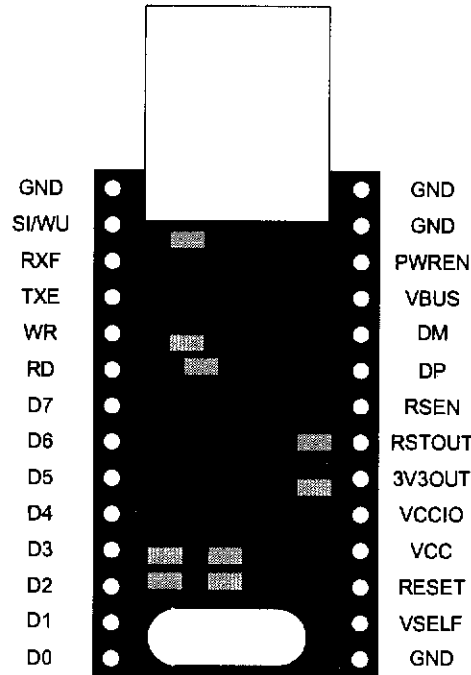
Single Chip USB - Parallel FIFO bi-directional Data Transfer
Transfer Data rate to 1M Byte / Sec - D2XX Drivers
Transfer Data rate to 3,000 Baud - VCP Drives
Simple to Interface to MCU/PLD/FPGA logic with a 4 wire handshake interface
Entire USB protocol handled on-chip ... no USB specific firmware programming required
FTDI's royalty-free VCP and D2XX drives eliminate the requirement for USB driver development in most cases
384 Byte FIFO Tx buffer / 128 Byte FIFO Rx Buffer for high data throughput
New Send Immediate support via SENDI Pin of FT245BM for optimised data throughput
Support for USB Suspend / Resume through PWREN and WAKEUP pins
Support for high power USB Bus powered devices through PWREN pin
Adjustable RX buffer timeout
In-built support for event characters
Integrated level converter on FIFO and control signals for interfacing to 5v and 3.3v logic
Integrated 3.3v regulator for USB IO
Integrated Power-On-Reset circuit
Integrated 6MHz - 48MHz clock multiplier PLL
USB Bulk or Isochronous data transfer modes
New Bit-Bang Mode allows the data bus to be used as an 8 bit general purpose IO Port without the need for MCU or other support logic
4.4v to 5.25v single supply operation
UHCI / OHCI / EHCI host controller compatible
USB 1.1 and USB 2.0 compatible
USB VID, PID, Serial Number and Product Description strings in external EEPROM
EEPROM programmable on-board via USB
Compact 28PIN DIP package

APPLICATION AREAS

Easy MCU / PLD / FPGA interface to USB
Upgrading Legacy Peripheral Designs to USB
USB Instrumentation
USB Industrial Control
USB Audio and Low Bandwidth Video data transfer
PDA - USB data transfer
USB MP3 Player Interface
USB FLASH Card Reader / Writers
Set Top Box (S.T.B) PC-USB interface
USB Wireless Modems
USB Digital Camera Interface

ERE050714A

PIN SIGNALS



PIN 1 [GND]
Ground Supply Pin.

PIN 2 [SI/WU]
The Send Immediate / WakeUp signal combines two functions on a single pin. If USB is in suspend mode (PWREN = 1) and remote wakeup is enabled in the EEPROM, strobing this pin low will cause the device to request a resume on the USB Bus. Normally, this can be used to wake up the Host PC. During normal operation (PWREN = 0), if this pin is strobed low any data in the device RX buffer will be sent out over USB on the next Bulk-IN request from the drivers regardless of the pending packet size. This can be used to optimise USB transfer speed for some applications. Tie this pin high if not used.

PIN 3 [RXF]
When high, do not read data from the FIFO. When low, there is data available in the FIFO which can be read strobing RD low then high again.

PIN 4 [TXE]
When high, do not write data into the FIFO. When low, data can be written into the FIFO by strobing WR high then low.

PIN 5 [WR]
Writes the Data Byte on the D0..D7 into the Transmit FIFO Buffer when WR goes from high to low.

PIN 6 [RD]
Enables Current FIFO Data Byte on D0..D7 when low. Fetches the next FIFO Data Byte (if available) from the Receive FIFO Buffer when RD goes from low to high.

PIN 7 [D7]
FIFO Data Bus Bit 7

PIN 8 [D6]
FIFO Data Bus Bit 6

PIN 9 [D5]

FIFO Data Bus Bit 5

PIN 10 [D4]

FIFO Data Bus Bit 4

PIN 11 [D3]

FIFO Data Bus Bit 3

PIN 12 [D2]

FIFO Data Bus Bit 2

PIN 13 [D1]

FIFO Data Bus Bit 1

PIN 14 [D0]

FIFO Data Bus Bit 0

PIN 15 [GND]

Ground Supply Pin.

PIN 16 [VSELF]

Filtered USB bus power.

PIN 17 [RESET]

Can be used by an external device to reset the FT245BM. If not required, tie to VCC.

PIN 18 [VCC]

+4.4 volt to +5.25 volt VCC to the device core, LDO and none-FIFO interface pins.

PIN 19 [VCCIO]

+3.0 volt to +5.25 volt VCC to the FIFO interface pins 10..12, 14..16 and 18..25 of FT245BM. When interfacing with 3.3v external logic connect VCCIO to the 3.3v supply of the external logic, otherwise connect to VCC to drive out at 5V CMOS level.

PIN 20 [3V3OUT]

3.3 volt Output from the integrated L.D.O. regulator. This pin should be decoupled to GND using a 33pF ceramic capacitor in close proximity to the device pin. It's prime purpose is to provide the internal 3.3V supply to the USB transceiver cell and the RSTOUT pin. A small amount of current ($\leq 5\text{mA}$) can be drawn from this pin to power external 3.3V logic if required.

PIN 21 [RSTOUT]

Output of the internal Reset Generator. Stays high impedance for ~2ms after VCC > 3.5V and the internal clock start up, then clamps it's output to 3.3V output of the internal regulator. Taking RESET low will also force RSTOUT to go high impedance. RSTOUT is not affected by a USB Bus Reset.

PIN 22 [RSEN]

Enumeration Power connect to RSTOUT for bus powered operation.

PIN 23 [DP]

USB Data Signal Plus.

PIN 24 [DM]

USB Data Signal Minus.

PIN 25 [VBUS]

USB bus power.

PIN 26 [PWREN]

Goes Low after the device is configured via USB, then high during USB suspend. Can be used to control power to external logic using a P-Channel Logic Level MOSFET switch. Enable the Interface Pull-Down Option in EEPROM when using the PWREN pin in this way.

PIN 27 [GND]

Device-Ground Supply Pin.

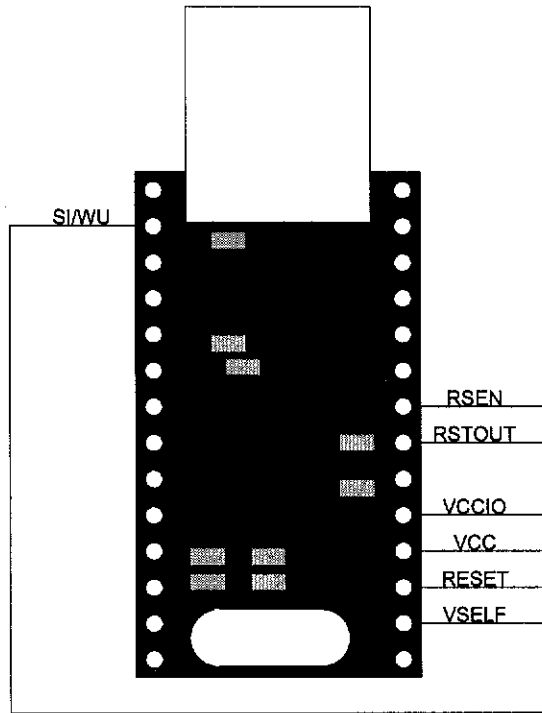
PIN 28 [GND]

Device-Ground Supply Pin.

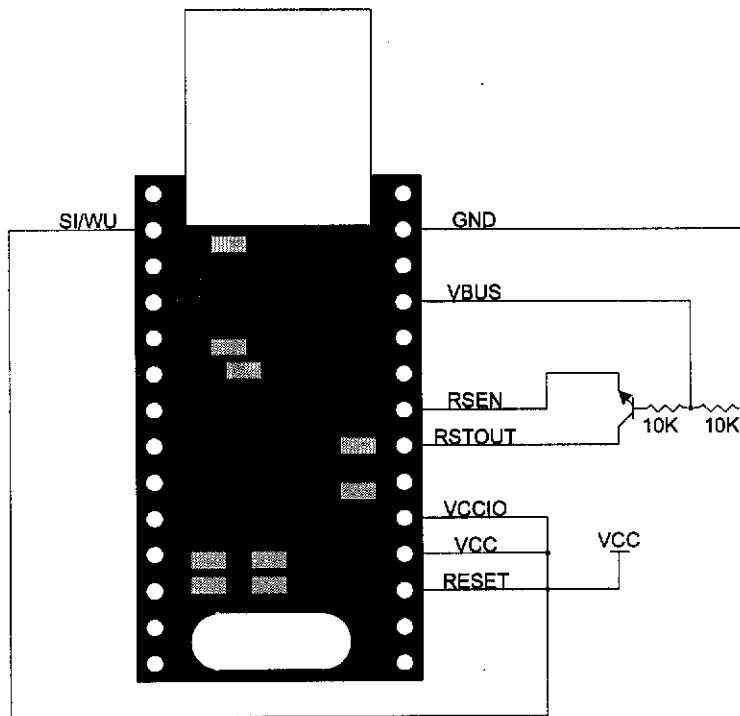
ERE050714A

APPLICATIONS

USB Bus Powered Configuration

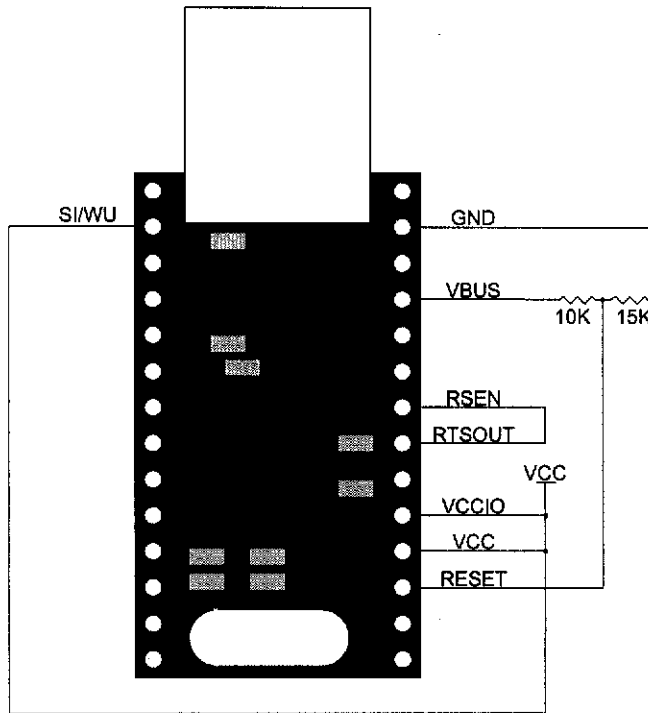


USB Self Powered Configuration (1)



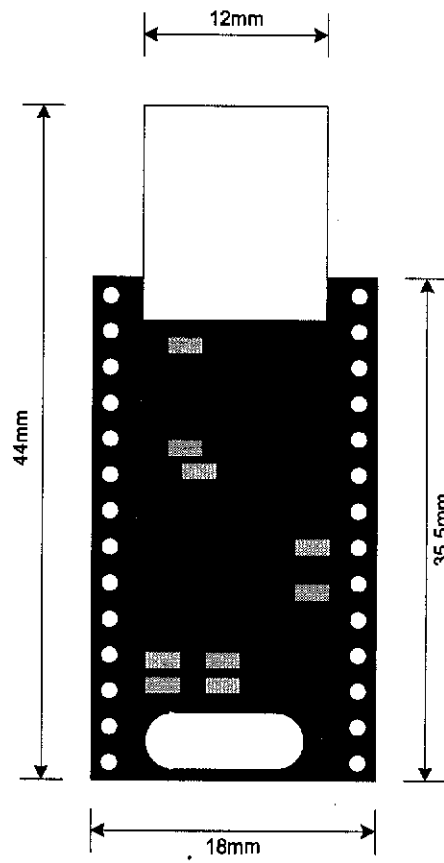
ERE050714A

USB Self Powered Configuration (2)



ERE050714A

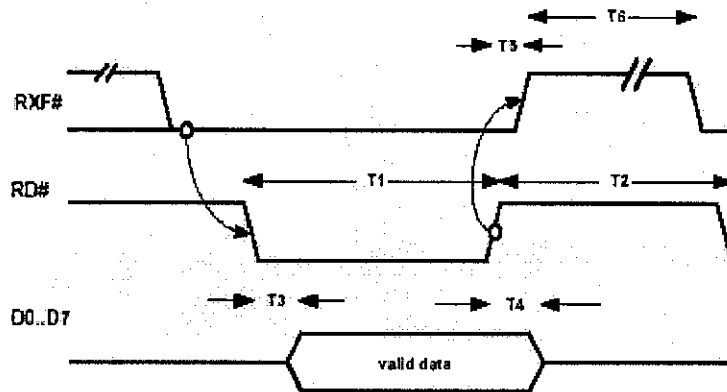
BOARD DIMENSION



ERE050714A

FT245BM USB FIFO (USB - Parallel) I.C.

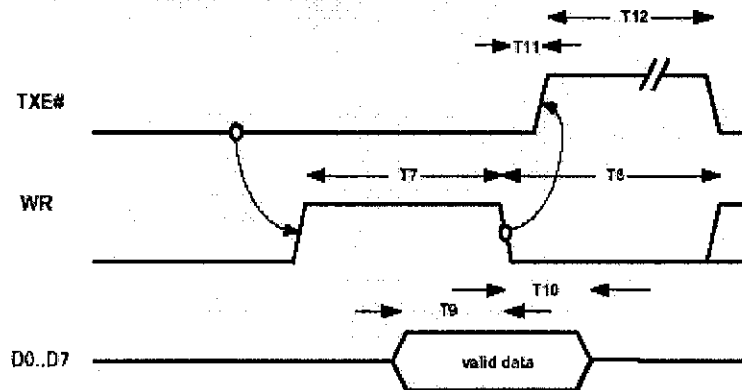
FT245BM TIMING DIAGRAM - FIFO READ CYCLE



Time	Description	Min	Max	Unit
T1	RD Active Pulse Width	50		ns
T2	RD to RD Pre-Charge Time	50 + T6		ns
T3	RD Active to Valid Data *** Note 4	20	50	ns
T4	Valid Data Hold Time from RD Inactive *** Note 4	0		ns
T5	RD Inactive to RXF#	0	25	ns
T6	RXF inactive after RD cycle	80		ns

*** Note 4 - Load 30 pF

FT245BM TIMING DIAGRAM - FIFO WRITE CYCLE



Time	Description	Min	Max	Unit
T7	WR Active Pulse Width	50		ns
T8	WR to WR Pre-Charge Time	50		ns
T9	Data Setup Time before WR inactive	20		ns
T10	Data Hold Time from WR inactive	0		ns
T11	WR Inactive to TXE#	5	25	ns
T12	TXE# inactive after WR cycle	80		ns



HP-4077-3

**SUPER
VEXTA®**

5 Phase Stepping Motor and Driver

UPK Series

- Standard Type
- Electromagnetic Brake Standard Type
- High Speed Type
- Electromagnetic Brake High Speed Type

OPERATING MANUAL

Table of Contents

1. Precautions	Page 2
2. Product Verification	Page 4
3. Names and Functions of Driver Parts	Page 6
4. Installation	Page 10
5. Driver Function Switches	Page 18
6. Input / Output Signals	Page 22
7. Connections	Page 30
8. Motor Current Adjustment	Page 38
9. Troubleshooting	Page 40
10. Specifications	Page 44
11. Dimensions	Page 52

Thank you for purchasing ORIENTAL MOTOR products.
Please read this operating manual thoroughly before installing and operating products,
and always keep the manual where it is readily accessible.

2. Product Verification

2.1 Equipment Checklist

Confirm that the following equipment is included in your package.

Contact your nearest sales office as listed at the back of this manual if something is either not included or damaged.

- Motor 1
- Driver 1
- Driver Mounting Brackets 2 types, 2 brackets for each
- M3 Screws for Mounting Brackets 4
- Operating Manual 1

2.2 Model Numbers and Motor/Driver Combinations

The UPK series is a combined package which includes a stepping motor and driver.

This operating manual is designated for the following products.

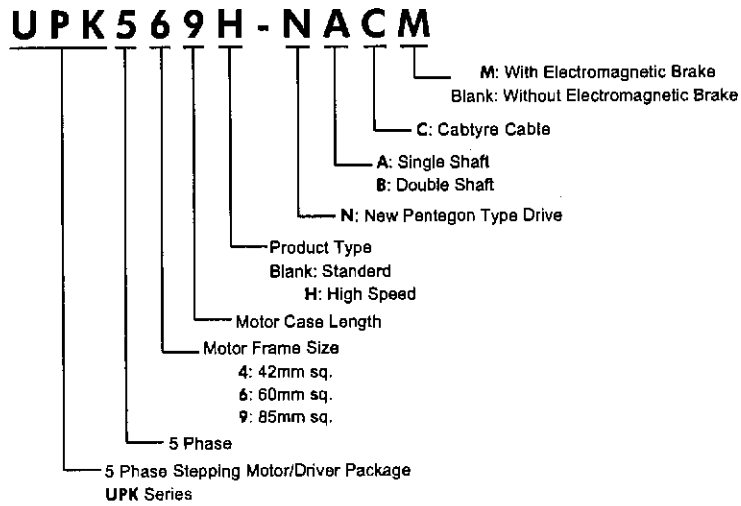
Product Type	Package Model Number	Motor		Driver	
		Model Number	Rated Current	Model Number	Output Current
Standard	UPK543-NAC	PK543-NAC	0.75A/phase	UDK5107N	0.75A/phase (max.)
	UPK543-NBC	PK543-NBC			
	UPK544-NAC	PK544-NAC			
	UPK544-NBC	PK544-NBC			
	UPK545-NAC	PK545-NAC			
	UPK545-NBC	PK545-NBC			
	UPK564-NAC	PK564-NAC	1.4A/phase	UDK5114N	1.4A/phase (max.)
	UPK564-NBC	PK564-NBC			
	UPK566-NAC	PK566-NAC			
	UPK566-NBC	PK566-NBC			
	UPK569-NAC	PK569-NAC			
	UPK569-NBC	PK569-NBC			
	UPK596-NAC	PK596-NAC			
	UPK596-NBC	PK596-NBC			
UPK599-NAC	PK599-NAC				
UPK599-NBC	PK599-NBC				
UPK5913-NAC	PK5913-NAC				
UPK5913-NBC	PK5913-NBC				
High Speed	UPK569H-NAC	PK569H-NAC	2.8A/phase	UDK5128N	2.8A/phase (max.)
	UPK569H-NBC	PK569H-NBC			
	UPK596H-NAC	PK596H-NAC			
	UPK596H-NBC	PK596H-NBC			
	UPK599H-NAC	PK599H-NAC			
	UPK599H-NBC	PK599H-NBC			
	UPK5913H-NAC	PK5913H-NAC			
UPK5913H-NBC	PK5913H-NBC				

Product Type	Package Model Number	Motor		Driver	
		Model Number	Rated Current	Model Number	Rated Current
Electromagnetic Brake Standard	UPK564-NACM	PK564-NACM	1.4A/phase	UDK5114N-M	1.4A/phase (max.)
	UPK566-NACM	PK566-NACM			
	UPK569-NACM	PK569-NACM			
	UPK596-NACM	PK596-NACM			
	UPK599-NACM	PK599-NACM			
	UPK5913-NACM	PK5913-NACM			
Electromagnetic Brake High Speed	UPK569H-NACM	PK569H-NACM	2.8A/phase	UDK5128N-M	2.8A/phase (max.)
	UPK596H-NACM	PK596H-NACM			
	UPK599H-NACM	PK599H-NACM			
	UPK5913H-NACM	PK5913H-NACM			

Note

- The driver and motor is precision equipment and should not be dropped or subject to any physical shocks.

2.3 Interpreting the Model Number



3. Names and Functions of Driver Parts

Driver Front Panel

Standard Type Driver: UDK5114N
High Speed Type Driver: UDK5128N

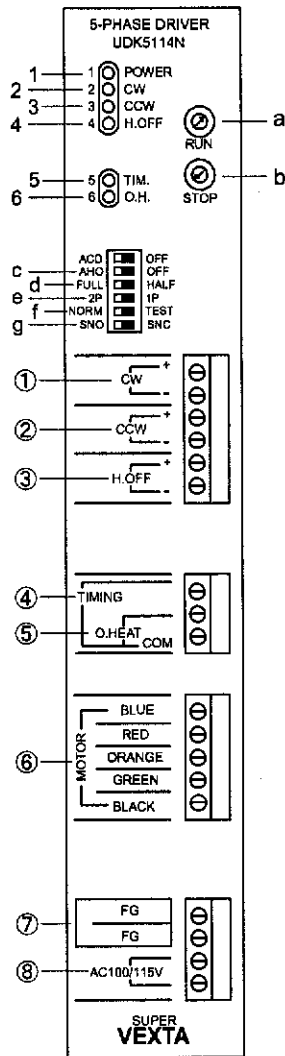


Illustration shows UDK5114N.

Electromagnetic Brake
Standard Type Driver: UDK5114N-M
Electromagnetic Brake
High Speed Type Driver: UDK5128N-M

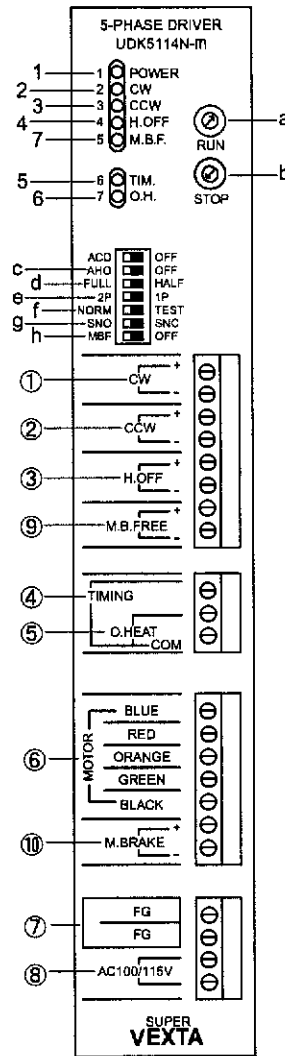
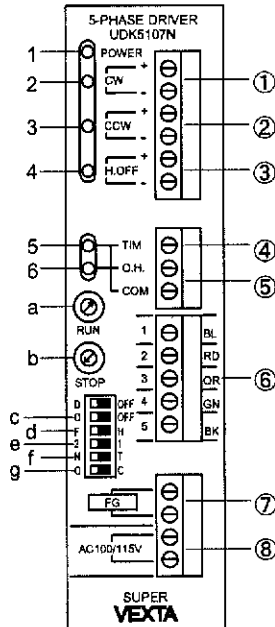


Illustration shows UDK5114N-M.

Standard Type Driver: UDK5107N



3.1 LED Indicators

The LED indicators show the state of various input/output signals etc.
They are indicated on page 6 as 1 ~ 6 (1 ~ 7 for the electromagnetic brake type).

Information within the brackets [] refers to driver model UDK5107N only.

LED Name	Indication	Color	Condition When LED ON	Page Reference
1 Power Input LED	POWER	Green	Lights when single phase 100V \pm 15% (50/60Hz) or single phase 115V \pm 15% (60Hz) is input.	—
2 CW Pulse Signal Input LED	CW	Green	Lights when a CW pulse signal is input. (In 1 pulse input mode, indicates a pulse signal is input.)	Page 22, 23
3 CCW Pulse Signal Input LED	CW	Green	Lights when a CCW pulse signal is input. (In 1 pulse input mode, indicates a rotation direction signal is input)	Page 22, 23
4 Output Current Off Signal Input LED	H.OFF	Green	Lights when the output current off signal is input.	Page 24
5 Excitation Timing Signal Output LED	TIM.	Green	Lights when the excitation timing signal is output.	—
6 Overheat Signal Output LED	O.H.	Red	Lights when the overheat signal is output.	Page 27, 28
7 Electromagnetic Brake Release Signal Input LED (For electromagnetic brake type only)	M.B.F.	Green	Lights when the electromagnetic brake release signal is input.	Page 25, 26

3.2 Switches

The switches are indicated on page 6 as a ~ h (a ~ 4 for the electromagnetic brake type).

Information within the brackets [] refers to driver model UDK5107N only.

Switch Name	Indication	Factory setting	Function	Page Reference
a Motor Running Current Adjustment Rotary Switch	RUN	F	The motor running current can be adjusted with this digital switch. Adjustment is simple and an ammeter is not necessary.	Page 38, 39
b Motor Standstill Current Adjustment Rotary Switch	STOP	7	The motor standstill current can be reduced with this digital switch. Adjustment is simple and an ammeter is not necessary. Be sure to keep the switch set to 7 or below.	Page 38, 39
c Automatic Current Off Function Switch	AHO/OFF [O/OFF]	AHO [O]	This function will automatically cut the power to the motor when the internal temperature of the driver rises above 80°C. This function can be enabled or disabled with this switch.	Page 18, 19
d Step Angle Switch	FULL/HALF [F/H]	FULL [F]	The motor step angle can be set to full step or half step with this switch.	Page 18, 19
e Pulse Input Mode Switch	2P/1P [2/1]	2P [2]	The pulse signal input mode can be set to 1 pulse input mode or 2 pulse input mode with this switch.	Page 18, 20
f Self Test Function Switch	NORM/TEST [N/T]	NORM [N]	This function allows for verification of correct wiring connections between the motor and driver. The test can be enabled and disabled with this switch.	Page 18, 20
g Overheat Output Logic Switch	SNO/SNC [O/C]	SNO [O]	This switch sets the output logic for the overheat signal. SNO [O] : Normal open SNC [C] : Normal closed Match the setting to your equipment.	Page 18, 21
h Electromagnetic Brake Function Switch (For electromagnetic brake type only)	MBF/OFF	MBF	This switch sets the electromagnetic brake operation mode. MBF: Normally released, engaged when power is off OFF: Normally engaged, released through the M.B.FREE signal	Page 18, 21

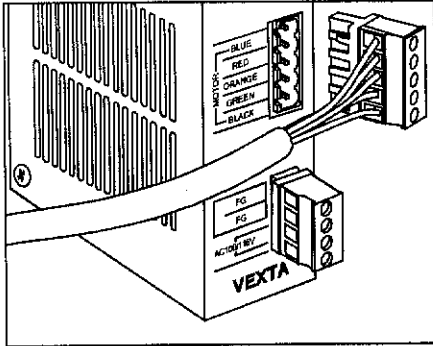
3.3 Terminals

The input and output terminals are indicated on page 6 as . . . (*** for the electromagnetic brake type).

Information within the brackets [] refers to driver model UDK5107N only.

Terminal Name	Indication	Function	Page Reference
• CW Pulse Signal Input Terminal	CW	The CW direction command signal is input to this terminal. When a pulse is input to the terminal the motor output shaft will rotate one step in the clockwise direction. (When in 1 pulse input mode a pulse signal is input to this terminal.)	Page 22, 23
• CCW Pulse Signal Input Terminal	CCW	The CCW direction command signal is input to this terminal. When a pulse is input to the terminal the motor output shaft will rotate one step in the counterclockwise direction. (When in 1 pulse input mode a rotation direction signal is input to this terminal.)	Page 22, 23
• Output Current Off Signal Input Terminal	H.OFF	The output current off signal is input to this terminal. When a signal is input to the terminal the driver will cut the power supply to the motor. The motor torque will then be reduced to zero and the motor shaft can be rotated freely for adjustment. This function is used when manually setting the motor to the home position etc.	Page 24
• Excitation Timing Signal Output Terminal	TIMING [TIM]	The excitation timing signal is output from this terminal. This signal is output when the motor excitation (current running through the winding) is in the initial stage.	---
• Overheat Signal Output Terminal	O.HEAT [O.H.]	The overheat signal is output from this terminal. This signal is output when the internal temperature of the driver rises above 80°C. This is used to prevent excess heat from damaging the driver.	Page 27, 28
• Motor Connection Terminal	MOTOR [1, 2, 3, 4, 5]	This is the output terminal for the motor. The colors indicated on this terminal are matched to the motor lead wires for connection.	Page 30 • 32
• Frame Ground Terminal	FG	This terminal is used to ground the driver case. Make a one point ground between this terminal and the controller FG terminal.	Page 34
• Power Source Connection Terminal	AC100/115V	Connect this terminal to a power source of either single phase 100V • ±15% 50/60Hz or 115V • ±15% 60Hz.	Page 35
• Electromagnetic Brake Release Signal Input Terminal (For electromagnetic brake type only)	M.B.FREE	The electromagnetic brake release signal is input to this terminal. Inputting this signal will release the electromagnetic brake. This terminal is used to release and engage the brake by means of an external signal.	Page 25, 26
• Electromagnetic Brake Connection Terminal (For electromagnetic brake type only)	M.BRAKE	This is the output terminal for the electromagnetic brake. Connect it to the electromagnetic brake.	Page 30 • 32

3.4 Connector



Two types of combination connectors are used on the driver.

These combination connectors are very easy to use and have the benefits of both a conventional terminal block and a connector type terminal. Simply insert the signal lines, motor lead wires, and power lines into the connector and tighten the screws. The combination connector incorporates a mechanism to prevent loosening, and is very dependable without the use of a crimp terminal.

The connectors used for the motor leads (cable) and power line have a screw flange. Be sure to properly tighten the flange screws.