สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องมือวิเคราะห์สถานะโพลาไรเซชันของแสง

นางสาวภัทรดิษย์ พรหมลิ
นายสิทธิวัฒน์ อึ้งเจริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 76648
วัน,เดือน,ปี 3 ส.ค. 2550

b 11850395
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่องเครื่องมือวิเคราะห์สภาวะโพลาไรเซชันของแสง

นักศึกษา นางสาวภัทรดิษย์ พรหมลิ
นายสิทธิวัฒน์ อึ้งเจริญ

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ **คณะวิทยาศาสตร์**
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.ปิติพร ถนอมงาม	
กรรมการ ดร. ประธาน บุรณศิริ	
กรรมการ อ. วิฑูรย์ ยินดีสุข	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.วิษณุ เพชรภา	

.....

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่องเครื่องมือวิเคราะห์สถานะโพลาไรเซชันของแสง
นักศึกษา นางสาวภัทรดิษย์ พรหมลิ
นายสิทธิวัฒน์ อึ๊งเจริญ

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ **คณะวิทยาศาสตร์**
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2549
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิษณุ เพชรภา

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการพัฒนาระบบตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง โดยการทำงานแบบอัตโนมัติของสเตปปิงมอเตอร์ที่ควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมแกนหมุนของอะนาไลซ์เซอร์ ซึ่งสัญญาณแสงที่นำมาวิเคราะห์จะถูกตรวจจับโดยโฟโตดีเทคเตอร์รุ่น s1223 2f ต่อจากนั้นจะเป็นการขยายสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีขึ้น เอาท์พุทของสัญญาณจะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งความเข้มแสงในมุมที่เหมาะสมจะถูกแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลโดยการใช้วงจรอะนาลอกทูดิจิตอล ต่อจากนั้นสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะนำไปเขียนกราฟเปรียบเทียบกับแกนหมุนของอะนาไลซ์เซอร์ ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถนำไปทดสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสงว่าเป็นโพลาไรเซชันเชิงเส้นหรือโพลาไรเซชันแบบวงกลมและหรือโพลาไรเซชันแบบวงรี ซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ และมีความถูกต้องตรงตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Light Polarization State Analyzer

Name Miss.Pattaradit Plomli

Mr.Sittiwat Ungjaroen

Department Applied Physics **Faculty of Science**

Program Applied physics-Science and Industry Instrumentation

Academic Year 2006

Special Project Advisor Assoc. Prof. Wisanu Pecharapa

ABSTRACT

The special project was set up to develop an automatic light polarization state analyzer. A stepping motor automatically controlled by computer program was employed to controlled an angle of transmission axis of an analyzer. Analyzed light signal is detected by photo detector model s1223 2f and then amplified to obtain to better signal. The output is displayed in term of electrical voltage. Light intensity at desired angle is converted to digital data using analog-to-digital circuit and then collected using computer. Output signals are achieved and finally plotted versus the angle of transmission angle. The completed instrument was tested to analyze state of polarization of linear, circular, and elliptical polarized light. The results are satisfied and exhibits good agreement to the theoretical prediction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับการดูแลเอาใจใส่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำตลอดจนสิ่งที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ในการทำโครงงานพิเศษแก่ผู้จัดทำของคณาจารย์ในการตรวจทานและแก้ไขโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ รศ. วิษณุ เพชรภา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยดูแลช่วยเหลือแนะนำในสิ่งที่ดีและการดูแลเอาใจใส่ต่อโครงงานพิเศษนี้ทั้งด้านการทดลองและข้อมูลที่จำเป็นสำหรับโครงงานพิเศษจึงทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ. วิชิต ศิริโชติ ที่ให้คำแนะนำในส่วนของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนของวงจรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณบิดา- มารดา ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้านทุนทรัพย์ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีพเพื่อจะทำโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้การช่วยเหลือและข้อเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆให้ลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี ขอบคุณมิตรภาพที่ดี

สุดท้ายขอขอบคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวถึง ณ.ที่นี้ ที่ให้การช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ด้วยความจริงใจ

นางสาวภัทรดิษย์ พรหมลิ
นายสิทธิวัฒน์ อึ๋งเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2วัตถุประสงค์	1
1.3 การดำเนินงานในโครงงานพิเศษ	1
1.4 ระยะเวลาดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โพลาไรเซชัน(Polarization)	3
2.2ชนิดของแสงโพลาไรซ์	
2.2.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น	5
2.2.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม	7
2.2.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี	11
2.3 วิธีทำแสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์	
2.3.1โพลาไรเซชันโดยการเลือกดูดกลืน	15
2.3.2 กฎของมาลุส	16
2.3.3 โพลาไรส์โดยการสะท้อน	18
2.3.4 โพลาไรส์โดยการหักเหซ้อน	19
2.3.5 โพลาไรส์โดยการกระเจิง	20
2.4 สเตปปิงมอเตอร์(Stepping motor)	21
2.5 Quarter wave plate	25
บทที่ 3การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบชุดวัดสถานะโพลาไรซ์ของสัญญาณแสง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
3.1.1 ส่วนประกอบของชุดวัด	26
3.1.2 วงจรรับสัญญาณแสง	27
3.1.3 วงจรและโปรแกรมควบคุมตำแหน่งมุมของแผ่นโพลารอยด์	27
3.1.4 หลักการทำงานของส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนแสดงผล	28
3.2 การออกแบบและประมวลผลสัญญาณ	29
3.2.1 โครงสร้างโปรแกรมรับและประมวลผลสัญญาณ	29
3.2.2 การทำงานของโปรแกรม	30
3.2.3 ส่วนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	30
3.3 การทดสอบระบบและการทดลอง	31
3.3.1.การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ	31
3.3.2 การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแสงเมื่อผ่านอุปกรณ์ทางแสง	32
3.3.3 การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแสงแบบวงกลมและวงรี	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1ผลการทดลองวัดสภาวะโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	
4.1.1 ผลการทดลองแสงโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น ในแนวดิ่ง (Vertical linearly polarized light)	38
4.1.2 ผลการทดลองแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น ในแนวระดับ (Horizontal linearly polarized light)	40
4.2 ผลการทดลองแสงโพลาไรซ์แบบวงรี	42
4.3 ผลการทดลองแสงโพลาไรซ์แบบวงกลม	44
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย	46
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1เฟส 22

ตารางที่ 2.2 ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2เฟส 23

ตารางที่ 2.3 ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป 24

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของแสงโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นในแนวดิ่ง (Vertical linearly polarized light) 38

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวระดับ(Horizontal linearly polarized light) 40

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของแสงโพลาไรซ์แบบวงรี 42

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของแสงโพลาไรซ์แบบวงกลม 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 คลื่นแสงมีลักษณะโพลาไรซ์ เคลื่อนที่ไปในทิศ x 3

รูป 2.2 (ก) แสงไม่โพลาไรซ์มีทิศการสั่นของสนามไฟฟ้าไม่แน่นอน

(ข) แสงโพลาไรซ์ 2 ชุดที่มีทิศทางตั้งฉากกัน 4

รูปที่ 2.3 ทิศการเคลื่อนที่ของแสงพุ่งออกจากกระดาษทิศของสนามไฟฟ้า

แตกไปในแนวแกน x และ y 4

รูปที่ 2.4 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป

(ก) ตามแกนx (ข) ตามแกน Y

(ค) ทำมุม 45° กับแกน Xตามลำดับ 6

รูปที่ 2.5แสดงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1ถึง4 ตามลำดับ

(ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกัน มีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$

(ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก) 8

(ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง 9

รูปที่ 2.6 แสดงการหมุนของสนามไฟฟ้า ในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา

และในกรณีที่ตรงกันข้าม $\phi = -\pi/2$ 9

รูปที่ 2.7 แสดงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1ถึง4 ตามลำดับ

(ก)ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกัน มีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$ 10

(ข)ผลรวมสนามไฟฟ้าของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)

(ค)แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลม 10

รูปที่ 2.8 แสดงการดำเนินการกำหนดทิศทางของการหมุน สำหรับโพลาไรเซชันชนิดวงรี 11

รูปที่2.9 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี 12

รูปที่ 2.10แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1ถึง4 ตามลำดับ

(ก)ส่วนประกอบเชิงเส้นที่ตั้งฉากกับแอมพลิจูดต่างกันและเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$ 14

(ข)ผลรวมสนามไฟฟ้าของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก) 14

(ค)แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.11 โพลาไรเซชันโดยการเลือกดูดกลืน ด้วยแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น 15

รูปที่ 2.12 ตัวโพลาไรซ์จะยอมให้แสงในระนาบที่ขนานกับแกนการส่องผ่านของตัวโพลาไรซ์ 16

รูปที่ 2.13 เมื่อนำตัววิเคราะห์วางให้แสงโพลาไรซ์ผ่านที่มีแอมพลิจูด $A\cos\theta$ 17

รูปที่ 2.14 การสะท้อน (a) กรณีทั่วไป (b) กรณีที่สะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์ 18

รูปที่ 2.15 โพลาไรซ์โดยการหักเหซ้อนในผลึกแคลไซท์ ทำให้ได้ลำแสง E Ray และ O Ray 19

รูปที่ 2.16 การกระเจิงของแสงโดยโมเลกุลในอากาศ 20

รูปที่ 2.17 ลักษณะการพันขดลวดของสเตปปิงมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ 21

รูปที่ 2.18 การวางขดลวดแต่ละเฟสของสเตปปิงมอเตอร์ 21

รูปที่ 2.19 การหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1เฟส 22

รูปที่ 2.20การหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส 23

รูปที่ 2.21 การหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป 24

รูปที่ 2.22 แสดงหลักการเปลี่ยนโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลมของquarter waveplate 25

รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของชุดวัดสถานะโพลาไรซ์ของแสง 26

รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมstepping motor 27

รูปที่ 3.3 แสดงส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ 28

รูปที่ 3.4 โครงสร้างโปรแกรมรับและประมวลผลสัญญาณ 29

รูปที่ 3.5 แสดงวิธีจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ 31

รูปที่ 3.6 แสดงวิธีจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแสงเมื่อผ่านอุปกรณ์ทางแสง 32

รูปที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์ทดลองการหาสถานะโพลาไรซ์ของแสง 34

รูปที่ 4.2 เลเซอร์แหล่งกำเนิดแสง 35

รูปที่ 4.3 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์สภาวะโพลาไรเซชันของแสง 35

รูปที่ 4.4 detector และ ส่วนแสดงค่าแรงดัน 36

รูปที่ 4.5 ส่วนควบคุม stepping motor 36

รูปที่ 4.6 โพลาไรซ์และควอเตอร์เวฟเพลท 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันมีการศึกษาในเรื่องของแสงอย่างกว้างขวางเพราะในชีวิตประจำวันของเราต้องพึ่งพาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆมากมาย สิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้ส่วนหนึ่งได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านแสงมาใช้งาน ทั้งในด้านการติดต่อสื่อสาร การคมนาคม อุตสาหกรรม และทางทหาร เทคนิคทางแสงที่สำคัญประการหนึ่งที่นิยมนำมาประยุกต์ได้แก่การควบคุมสภาวะโพลาไรเซชันของแสงให้เป็นไปตามความต้องการ ดังนั้นในการตรวจสอบสภาวะโพลาไรเซชันของแสงของสัญญาณจึงมีความจำเป็นต่อการประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานพิเศษได้มีแนวคิดในการประดิษฐ์ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาวะโพลาไรเซชัน โดยที่เครื่องมือดังกล่าวจะช่วยให้ทราบถึงสภาวะโพลาไรเซชันของสัญญาณแสงขณะใช้งานจริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทั้งในแง่การเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการและเป็นการพัฒนาไปสู่ระดับสูงต่อไป

1.2วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการเกิดโพลาไรเซชันของแสงและรูปแบบโพลาไรเซชันแบบต่างๆ
2. เพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สถานะโพลาไรเซชันในลักษณะต่างๆได้
3. สามารถนำเครื่องมือดังกล่าวไปทดสอบสถานะะโพลาไรเซชันของแสงในลักษณะต่างๆได้

1.3 การดำเนินงานในโครงงานพิเศษ

1.ศึกษาเกี่ยวกับพื้นฐานทางแสงและทฤษฎีโพลาไรเซชัน

2.ศึกษาพื้นฐานในเรื่อง stepping motor

3.ออกแบบอุปกรณ์การทดลองออกแบบวงจรการทดลองและระบบควบคุมอุปกรณ์การทดลองและระบบการประมวลผล

4.สร้างอุปกรณ์การทดลองดังกล่าว

5.ทำการทดลองและศึกษาการเกิดโพลาไรเซชันในลักษณะต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ

1. ศึกษาหลักการโพลาไรเซชันของแสง	มิถุนายน	2549
2. ค้นคว้าและศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ stepping mortor โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์และส่วนประกอบภายนอก	กรกฎาคม	2549
3. สร้างเครื่องจำลอง	สิงหาคม	2549
4. ศึกษาการทำงานและข้อผิดพลาดต่างๆจากเครื่องจำลอง	ตุลาคม	2549
5. สร้างเครื่องต้นแบบ	พฤศจิกายน	2549
6. ทำการทดลองและศึกษาการเกิดโพลาไรเซชันในลักษณะต่างๆเพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์และประมวลผล	ธันวาคม	2549
7. ตรวจสอบความถูกต้อง	มกราคม	2550
8. จัดทำเอกสารประกอบและตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย	กุมภาพันธ์	2550

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.เข้าใจการเกิดโพลาไรเซชันในลักษณะต่างๆ

2 .สามารถสร้างอุปกรณ์การวิเคราะห์สภาวะโพลาไรเซชันในลักษณะต่างๆได้

3.พัฒนาทักษะด้านความคิดและการแก้ปัญหาของผู้จัดทำ

4.สามารถนำหลักการในโครงงานพิเศษไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

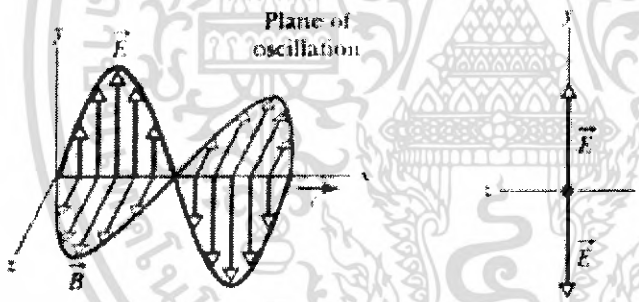
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โพลาไรเซชัน(Polarization)

โพลาไรเซชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับคลื่นตามขวางเท่านั้น คลื่นแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก สั่นในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกันและตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

ในการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์โพลาไรเซชันในที่นี้จะศึกษากรณีที่มีลักษณะเชิงเส้น คลื่นแสงเป็นคลื่นระนาบ สนามไฟฟ้ามรการสั่นที่ขนานกันเสมอไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดๆ จะสนใจทิศทางการสั่นของสนามไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

รูป ที่2.1ใน ทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะสั่นในแนว ±y ระนาบที่ประกอบด้วยทิศการสั่นของ E และทิศการเคลื่อนที่เรียกว่า ระนาบของโพลาไรเซชัน (plane of polarization) จากรูปคือระนาบ yz



(ก) (ข)

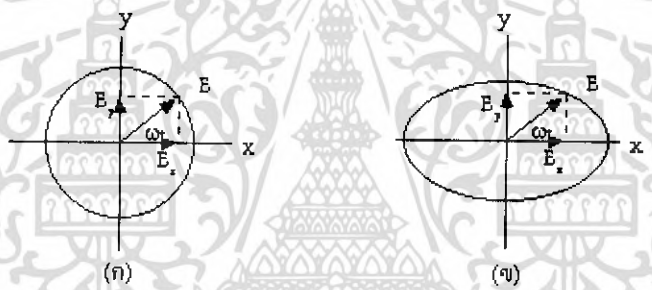
รูปที่ 2.1 คลื่นแสงมีลักษณะ โพลาไรซ์ เคลื่อนที่ไปในทิศแกน x เขียนเป็นสัญลักษณ์ดังในรูป (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูป 2.2 (ก) แสงไม่โพลาไรซ์มีทิศการสั่นของสนามไฟฟ้าไม่แน่นอน
(ข) แสงโพลาไรซ์ 2 ชุดที่มีทิศทางตั้งฉากกัน

แสงที่ไม่โพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีสนามไฟฟ้าสั่นในทิศขนานกัน บางครั้งสามารถแตก E ให้อยู่ในแนว x และ y โดยที่มีผลต่างของเฟสต่างกัน



(ก) (ข)

รูปที่ 2.3 ทิศการเคลื่อนที่ของแสงพุ่งออกจากกระดาษ ทิศของสนามไฟฟ้าแตกไปในแนวแกน x และ y

ถ้าการสั่นของ $\vec{E}$ ทำให้ผลรวมของ $\vec{E}_x$ และ $\vec{E}_y$ มีค่าคงที่ เรียกว่าเป็นแสงโพลาไรซ์ แบบวงกลม (circular polarized light) ทิศทางการหมุนของเวกเตอร์ $\vec{E}$ จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ แสงโพลาไรซ์แบบวงรี (elliptically polarized light) จะคล้ายกับแบบวงกลมต่างกันที่ผลรวมของ E มีค่าไม่คงที่ ถ้าพูดถึงแสงโพลาไรซ์ นั่นอาจหมายถึงแสงโพลาไรซ์แบบระนาบ (plane) แบบวงกลม หรือแบบวงรีก็ได้ แต่โดยทั่วไปถ้าไม่ระบุแล้วจะหมายถึงแสงโพลาไรซ์แบบระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดของแสงโพลาไรซ์

2.2.1 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น

ในที่นี้จะพิจารณาว่าแสงเป็นส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากโพลาไรเซชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับเฉพาะคลื่นตามขวางเท่านั้น ดังนั้นจากการเคลื่อนที่ไปตามแกน Zจะสามารถแสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน X ได้ดังนี้

$$\bar{\mathrm{E}}_x = \mathrm{E}_{ox} \sin\left[kz - \omega t + \phi_0\right]\hat{i} \tag{2.1}$$

เมื่อ E_{ox} เป็นแอมปลิจูดของสนามไฟฟ้าและ $\hat{i}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน Xและในทำนองเดียวกันแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน Y สามารถเขียนได้ดังนี้

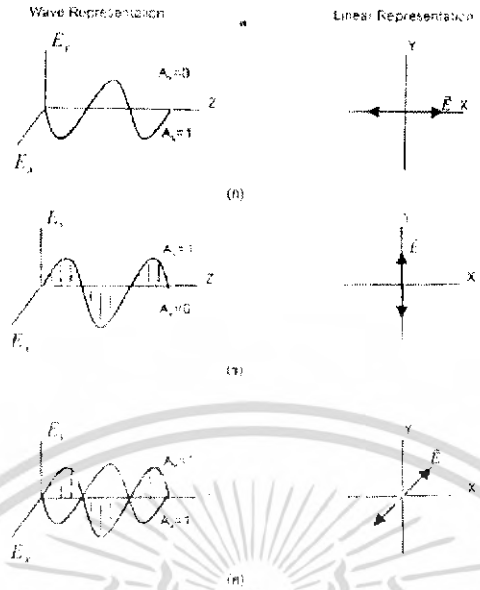
$$\bar{\mathrm{E}}_y = \mathrm{E}_{oy} \sin\left[kz - \omega t + \phi_0\right]\hat{j} \tag{2.2}$$

เมื่อ $\hat{j}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแนวแกน Y สนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงส้นสามารถกระทำในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่สามารถแสดงในรูปผลรวมของเวกเตอร์ $\bar{\mathrm{E}}_x$ และ $\bar{\mathrm{E}}y$ ได้เป็น

$$\bar{\mathrm{E}} = \bar{\mathrm{E}}_x + \bar{\mathrm{E}}_y = \left[\mathrm{E}_{ox}\hat{i} + \mathrm{E}_{oy}\hat{j}\right]\sin\left[kz - \omega t + \phi_o\right] \tag{2.3}$$

แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีแกนโพลาไรซ์ทำมุมใดๆกับทิศทางในระนาบ XY สามารถแสดงได้โดยส่วนประกอบทั้งสองตามแกน X และY ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งความสัมพันธ์ของขนาดส่วนประกอบจะเป็นตัวกำหนดการทำมุมกับแกนโพลาไรซ์เซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป
(ก) ตามแกนx (ข) ตามแกน Y
(ค) ทำมุม 45° กับแกน Xตามลำดับ

อย่างไรก็ตามในส่วนประกอบของทั้งสองแกนจะต้องมีค่าความถี่เชิงมุม ω เหมือนกันและ มีค่าของเฟส ϕ_0 เหมือนกันหรือต่างกันเท่ากับ π และต่อไปจะพิจารณาผลของการต่างเฟสจากส่วนประกอบทั้งสองในกรณีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม

ในกรณีที่แอมพลิจูดของคลื่นในส่วนประกอบของแกนซึ่งตั้งฉากกันเท่ากัน กล่าวคือ $E_{ox} = E_{oy} = E_o$ และมีความต่างเฟส $\Delta\phi = \pm \pi/2$ จะได้ว่า

$$\bar{E}_x(z,t) = \hat{i}\, E_o \cos(kz - \omega t) \tag{2.4}$$

$$\bar{E}_y(z,t) = \hat{j}\, E_o \sin(kz - \omega t) \tag{2.5}$$

ซึ่งมีสมการคลื่นรวมเป็นดังนี้

$$\bar{E} = \left[\hat{i}\cos(kz - \omega t) \sin(kz - \omega t) \right] \tag{2.6}$$

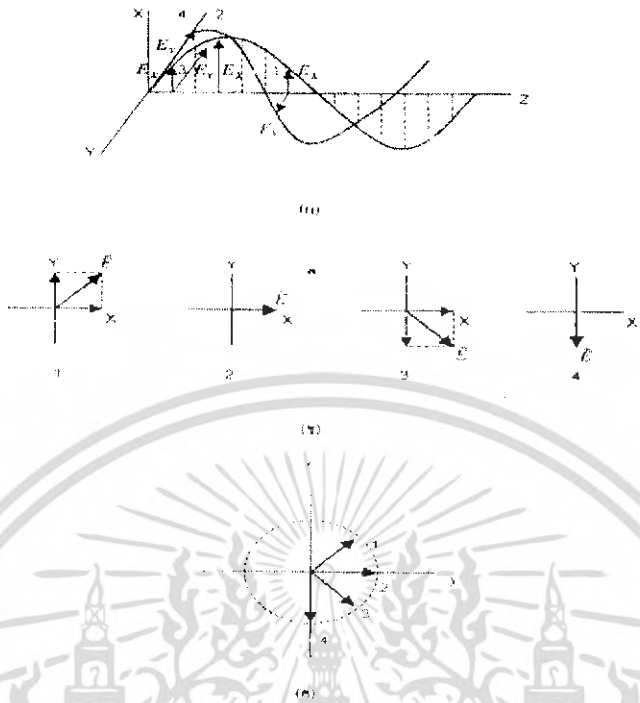
จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของ $\bar{E}$ คือ $(\bar{E}.\bar{E})^{1/2} = E_0$ เป็นค่าคงที่ แต่ทิศทางของ $\bar{E}$ เปลี่ยนไปตามเวลาโดยไม่อยู่ในระนาบหนึ่งดังเช่นในกรณีของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งใดๆ Z_0 บนแกน เมื่อ t=0 $\bar{E}$ จะอยู่บนแกนที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นแกนอ้างอิง ดังนั้น

$$\bar{E}_x = \hat{i} E_0 \cos(kz_0) \tag{2.7}$$

$$\bar{E}_y = \hat{j} E_0 \sin(kz_0) \tag{2.8}$$

ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง $t = kz_0/\omega$ จะได้ว่า $\bar{E}_x = iE_0$. $\bar{E}_y = 0$ และ $\bar{E}$ อยู่ในแกน X คลื่นรวม $\bar{E}$ จะหมุนตามเข็มนาฬิกาด้วยความถี่เชิงมุม ω โดยมีทิศสวนทางกับการคลื่นที่ของแสงตรงไปยังตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดแสงหรืออาจกล่าวได้ว่า $\bar{E}_y$ นำ $\bar{E}_x$ อยู่ $\pi/2$ เรเดียน ซึ่งหมายความว่า $\bar{E}_y$ จะมีค่าสูงสุดก่อนที่ $\bar{E}_x$ จะมีค่าสูงสุดนำไปก่อนถึง 1/4 ของแต่ละรอบ จึงเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าหมุนเป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาและเวกเตอร์ $\bar{E}$ จะหมุนไปครบรอบ โดยแสงจะพุ่งไปข้างหน้าเท่ากับความยาวหนึ่งช่วงคลื่น ซึ่งจะเรียกแสงที่มีลักษณะสถานะโพลาไรเซชันแบบนี้ว่าแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา (Right Circularly Polarization:RCP) โดยมีเฟส $\phi = +\pi/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



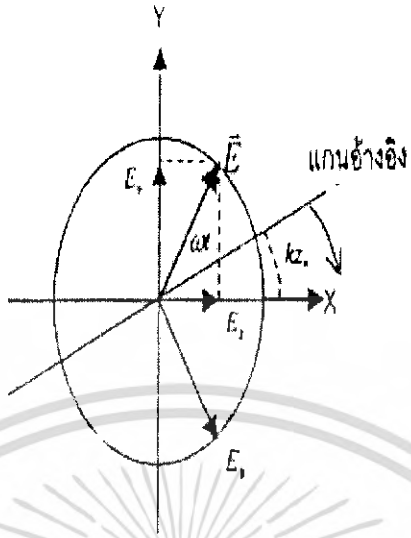
รูปที่ 2.5 แสดงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1ถึง4 ตามลำดับ

(ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$

(ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)

(ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการหมุนของสนามไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา

และในกรณีที่ตรงกันข้าม $\phi = -\pi/2$ จะได้ว่า

$$\bar{\mathrm{E}} = \mathrm{E}_0\left[\hat{i}\cos(kz-\omega t) - j\sin(\hat{kz}-\omega t)\right] \qquad (2.9)$$

จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดไม่ได้ต่างไปจากกรณีข้างต้น แต่ $\bar{\mathrm{E}}$ จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาจึงเรียกว่าเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามซ้าย (Left Circularly Polarization:LCP) ซึ่ง $\bar{\mathrm{E}}_y$ จะตามหลัง $\bar{\mathrm{E}}_x$ ไปเป็น 1 ใน4 ของแต่ละรอบ ทำให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาดังแสดงในรูป 2.7

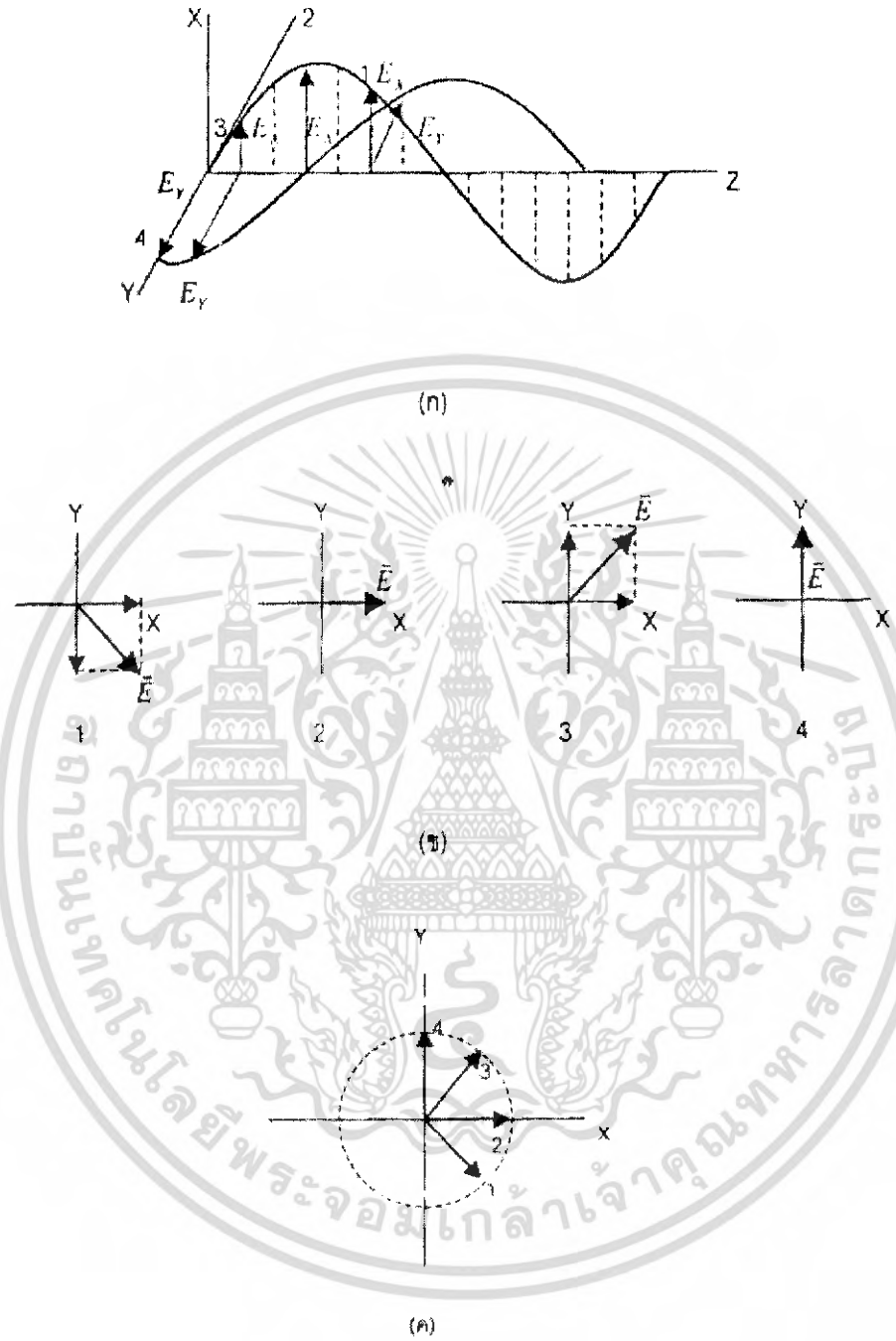
พิจารณาโดยทั่วๆไป จะพบว่าสภาวะโพลาไรเซชันชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้จะเป็นไปได้เมื่อเฟส มีค่าต่างๆกันตามลำดับดังนี้

เมื่อ $\phi = +\pi/2 + 2m\pi$ โดยที่ $m = 0, \pm1, \pm2\ldots$ คือชนิดวงกลมตามขวา

เมื่อ $\phi = -\pi/2 + 2m\pi$ โดยที่ $m = 0, \pm1, \pm2\ldots$ คือชนิดวงกลมตามซ้าย

ถ้านำแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมทั้งสองแบบนีซึ่งมีแอมปลิจูดเท่ากันมารวมกัน จะกลายเป็นโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1ถึง4 ตามลำดับ

(ก)ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$

(ข)ผลรวมสนามไฟฟ้าของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)

(ค)แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

จากการพิจารณาที่ผ่านมารวมกันในส่วนประกอบของแสงโพลาไรซ์ที่มีส่วนประกอบของเฟสเหมือนกันหรือต่างกัน π นั้น แสงโพลาไรซ์จะเป็นเชิงเส้น ในกรณีที่เฟสต่างกัน $\pi/2$หรือ- $\pi/2$ และมีแอมปลิจูดเท่ากันจะเป็นส่วนประกอบของโพลาไรซ์ชนิดวงกลม แต่ถ้าส่วนประกอบในการรวมกันนั้นทำให้ไม่เท่ากันจะเป็นกรณีโพลาไรซ์ชนิดวงรี

พิจารณาเมื่อ $E_{0x} \neq E_{0Y}$ และ $\phi = +\pi/2$ จะได้ว่า

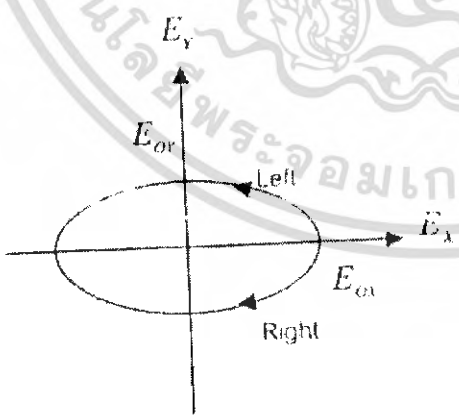
$$\bar{E}_x = E_{0X}\cos(kz-\omega t)\hat{i} \tag{2.10}$$

$$\bar{E}_Y = E_{0Y}\cos(kz-\omega t+\phi)\hat{j} \tag{2.11}$$

หรือเขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2}+\frac{E_Y^2}{E_{0Y}^2} = \cos^2(kz-\omega t)+\cos^2(kz-\omega t+\phi) = 1 \tag{2.12}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์นี้คือสมการวงรีที่มีแกนหลักเป็น $2E_{0x}$ และ $2E_{0Y}$ ตามแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับดังแสดงในรูปที่2.7 โดยเมื่อ $\phi = +\pi/2$ สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามขวา แต่ถ้า $\phi = -\pi/2$ สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามซ้าย



รูปที่ 2.8 แสดงการดำเนินการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับโพลาไรเซชันชนิดวงรี

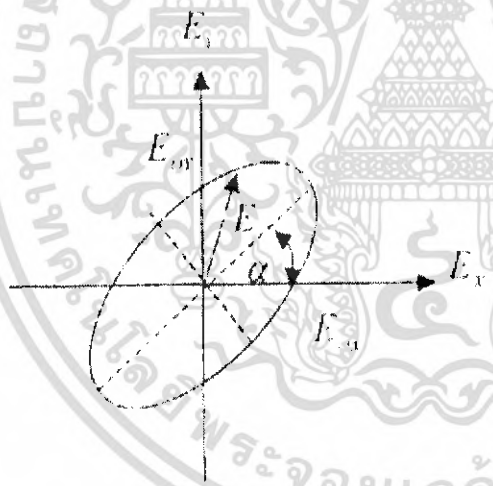
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีทั่วๆไปสมการของวงรีจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2+\left(\frac{E_y}{E_{0Y}}\right)^2-2\left(\frac{E_x}{E_{0X}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos\phi=\sin^2\phi \qquad (2.13)$$

โดยที่แกนหลัก(Major Axis)จะทำมุม α กับแกน X ดังรูป2.8 ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\tan 2\alpha=\frac{2E_{0x}E_{0y}\cos\phi}{E_{0x}^2-E_{0y}^2} \qquad (2.14)$$



รูปที่2.9 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี

ซึ่งแกนหลักจะเป็นแกนเดียวกับแกน X โดยที่ $\alpha=0$ เมื่อเฟสสัมพัทธ์มีค่าดังต่อไปนี้

$$\phi=\pm\pi\ /_{2,}\ \pm 3\pi/2,\pm 5\pi\ /2$$

และจะได้ว่า

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^{\ 2}}+\frac{E_Y^2}{E_{0Y}^2}=1 \qquad (2.15)$$

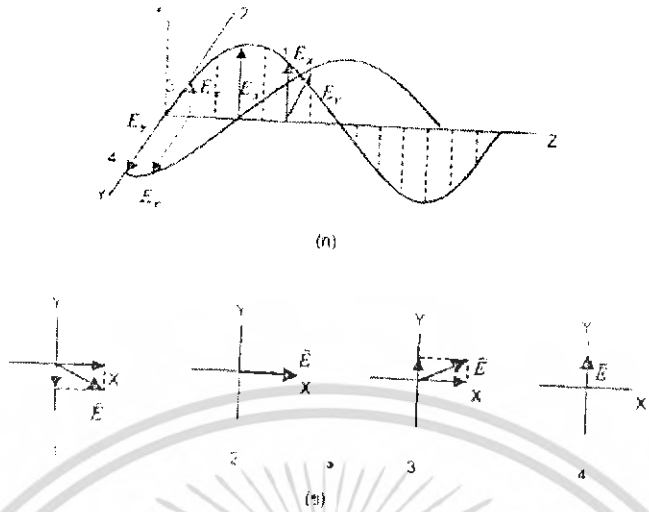
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าตรงกับที่ได้ทำการพิจารณาแล้วในความสัมพันธ์ ตามสมการ (2.15) และในกรณี $E_{0x} = E_{0y}$ จะได้ว่า $E_x^2 + E_y^3 = A_x^2$ เป็นความสัมพันธ์ในรูปของโพลาไรซ์เซชันชนิดวงกลมนั่นเอง และถ้าเฟสสัมพัทธ์มีค่าเป็นจำนวนเท่าของจะได้สมการ (2.16)เป็น

$$E_y = \pm \frac{E_{0Y}}{E_{0x}} E_x \qquad (2.16)$$

ซึ่งจะอยู่ในรูปของโพลาไรซ์เซชันเชิงเส้นที่มีความชันเป็น $\pm E_{0Y}/E_{0x}$ และในรูป 2.10 นี้จะเป็นการแสดงลักษณะของคลื่นแสงโพลาไรเซชันชนิดวงรีด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1ถึง4 ตามลำดับ

(ก)ส่วนประกอบเชิงเส้นที่ตั้งฉากกับแอมพลิจูดต่างกันและเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$

(ข)ผลรวมสนามไฟฟ้าของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)

(ค)แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

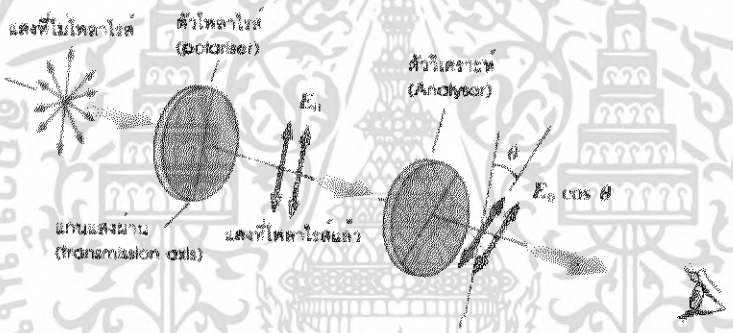
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คลื่นแสงที่ไม่โพลาไรซ์ สามารถทำให้โพลาไรซ์ได้ด้วยกระบวนการ

- การเลือกดูดกลืนคลื่น (Selective Absorption)
- การสะท้อน (Reflection)
- การหักเหซ้อน (Double Refraction)
- การกระเจิง (Scattering)

2.3.1โพลาไรเซชันโดยการเลือกดูดกลืน

วัสดุที่มีสมบัติไดโครอิก (Dichroic) ยอมให้แสงที่มีทิศโพลาไรเซชันเดียวผ่านและดูดกลืนแสงในที่มีระนาบโพลาไรเซชันอื่น ๆ เมื่อนำมาสังเคราะห์เป็นแผ่นโพลาไรซ์ (Polariser) จะทำให้แสงที่ส่องผ่านมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าสั่นในทิศทางเดียว



รูปที่ 2.11 โพลาไรเซชัน โดยการเลือกดูดกลืน ด้วยแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น

การใช้แผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น เรียกว่า Polariser และ Analyser ตามลำดับการวาง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จึงสามารถลดความเข้มของแสงเป็นค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

เมื่อแสงผ่าน Polariser (แผ่นแรก) คลื่นแสงจะมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้า E_1 สั่นในทิศทางเดียว เมื่อแสงผ่านแผ่นที่สอง Analyser ที่มีสมบัติเหมือนกัน แต่บิดแนวแกนเป็นมุม θ เทียบกับตัวแรก คลื่นแสงผ่านตัวที่สองจะมีค่าสนามไฟฟ้าลดลงเป็น E_2 ที่มีค่า

$$E_2 = E_1 \cos\theta \qquad (2.17)$$

จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าความเข้มแสง (I) แปรผันตามค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง ดังนั้น

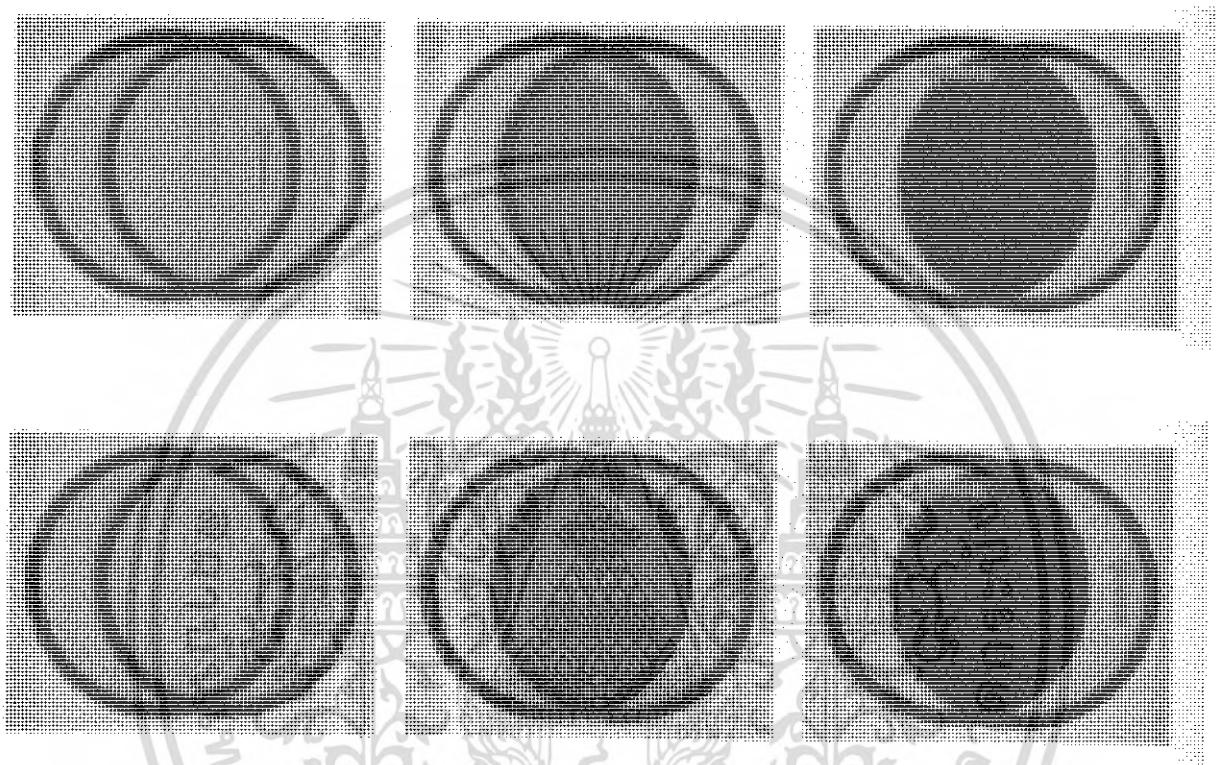
$$I_2 = I_1 \cos^2\theta \qquad (2.18)$$

เรียกว่า Malus's law ใช้กับแสงที่โพลาไรส์เชิงเส้น (หรือเชิงระนาบ) เท่านั้น

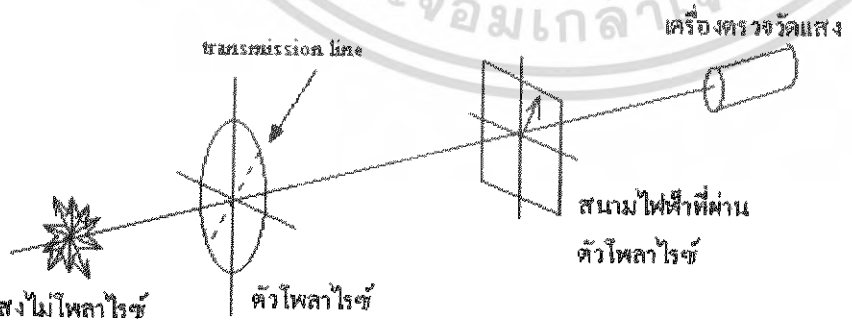
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กฎของมาลุส(Malus' law)

แสงที่ไม่โพลาไรซ์สามารถทำให้เป็นแสงโพลาไรซ์ได้ โดยใช้ตัวโพลาไรซ์ ได้แก่ ฟิล์มโพลารอยด์ที่ใช้ทำแว่นกันแดด ตัวโพลาไรซ์เป็นอุปกรณ์จะยอมให้แสงผ่านตัวมันถ้าระนาบของโพลาไรเซชันของแสงขนานกับแกนส่องผ่าน(transmission axis)



ถ้าระนาบของโพลาไรเซชันตั้งฉากกับแกนการส่องผ่าน แสงในแนวนี้จะถูกกั้นไม่ให้ผ่านตัวโพลาไรซ์ โดยจะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนแสงนี้



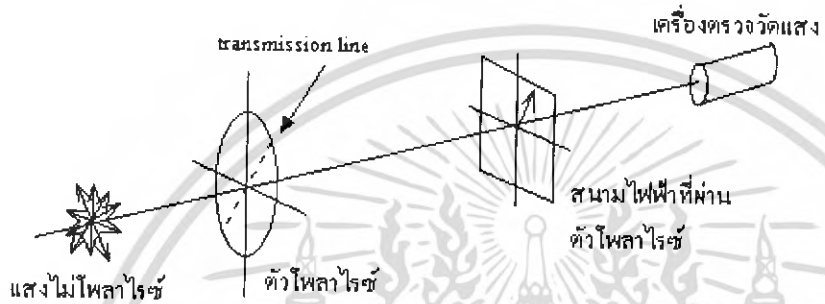
รูปที่ 2.12 ตัวโพลาไรซ์จะยอมให้แสงในระนาบที่ขนานกับแกนการส่องผ่านของตัวโพลาไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ถ้าให้แสงที่ผ่านตัวโพลาไรซ์ ซึ่งกลายเป็นแสงโพลาไรซ์นี้ผ่านตัวโพลาไรซ์ตัวที่ 2 โดยจะเรียกว่า ตัววิเคราะห์ (Analysis) ให้ เป็นØมุมของแกนการส่องผ่านของตัวโพลาไรซ์ทั้ง 2 ทำมุมกัน แสงโพลาไรซ์มีแอมพลิจูด A เมื่อผ่านตัววิเคราะห์ซึ่งแกนของตัววิเคราะห์ทำมุมØกับตัวโพลาไรซ์ แสงที่ผ่านตัวไปได้คือ แสงที่มีแอมพลิจูด $A\cos\theta$

ถ้าระนาบของโพลาไรเซชันตั้งฉากกับแกนการส่องผ่าน แสงในแนวนี้จะถูกกั้นไม่ให้ผ่านตัวโพลาไรซ์ โดยจะดูดกลืนหรือสะท้อน



รูป 2.13 เมื่อนำตัววิเคราะห์วางให้แสงโพลาไรซ์ผ่านที่มีแอมพลิจูด $A\cos\theta$

เนื่องจากความเข้มของแสงแปรผันกับกำลังสองของแอมพลิจูด

ให้ I_0 เป็นความเข้มของแสงเมื่อผ่านตัวโพลาไรซ์ โดยที่

I เป็นความเข้มของแสงเมื่อผ่านตัววิเคราะห์แล้ว

$$I_0 \propto (A\cos\theta)^2$$

ค่าคงที่ของการแปรผันจะคงที่ ดังนั้น

$$I_0 = I_0 \cos^2\theta \qquad (2.19)$$

เรียกสมการ (2.19) ว่าเป็นกฎของมาลุส เป็นสมการที่ใช้คำนวณหาความเข้มของแสงที่ผ่านไปได้ ซึ่งปริมาณความเข้มของแสงจะแปรผันตรงกับกำลังสองของโคไซน์ของมุมระหว่างตัวโพลาไรซ์ทั้งสอง ความเข้มของแสงที่ผ่านตัววิเคราะห์จะมีค่าต่ำสุดเมื่อแกนการส่องผ่านของตัววิเคราะห์ทั้งสองตั้งฉากกัน และจะมีความเข้มสูงสุดเมื่อ θ =0 หรือ เมื่อหมุนตัววิเคราะห์ความเข้มของแสงที่ผ่านจะมีค่าอยู่ระหว่างศูนย์ถึง I_0 การหมุนตัววิเคราะห์จะใช้ในการตรวจสอบว่าแสงนั้นเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นหรือไม่ แสงไม่โพลาไรซ์หรือแสงที่โพลาไรซ์เพียงบางส่วน ความเข้มของมันจะไม่เป็นไปตามกฎนี้

76648

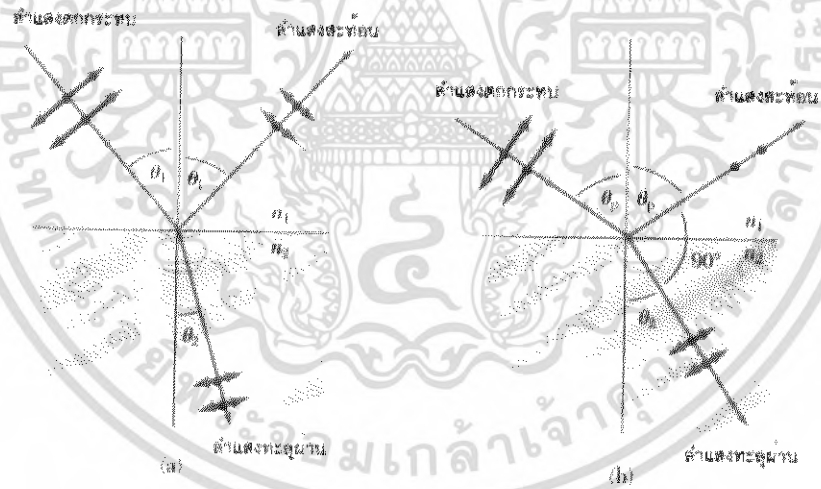
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวโพลาไรซ์และตัววิเคราะห์ที่กล่าวถึงในกฎมาลุส เราถือว่าเป็นตัวโพลาไรซ์แบบอุดมคติ คือจะยอมให้แสงที่ขนานกับแกนการส่งผ่านของตัวโพลาไรซ์เท่านั้น ตัวโพลาไรซ์ในความเป็นจริงนั้นมิได้ทำให้แสงไม่โพลาไรซ์กลายเป็นแสงโพลาไรซ์ได้สมบูรณ์ ปริมาณที่ใช้บอกความสามารถของตัวโพลาไรซ์ เรียกว่าองศาการโพลาไรซ์ (degree of polarization, P) หาได้จาก

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100\% \qquad (2.20)$$

ถ้าแสงที่ตกกระทบที่ตัววิเคราะห์เป็นแสงไม่โพลาไรซ์ ความเข้มของแสงต่ำสุดจะเท่ากับความเข้มของแสงสูงสุด จะได้ P = 0 เมื่อ P = 100% แสงที่ผ่านตัววิเคราะห์จะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่สมบูรณ์

2.3.2 โพลาไรส์โดยการสะท้อน



รูปที่ 2.14 การสะท้อน (a) กรณีทั่วไป (b) กรณีที่สะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์

เมื่อแสงที่ไม่โพลาไรซ์ตกกระทบผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง n_1 และ n_2 (ดังรูปที่ 2.14) แสงที่สะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์ได้ เมื่อมุมระหว่างรังสีสะท้อนกับรังสีหักเหเป็นมุมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14

$$\theta_p + 90^0 + \theta_2 = 180 \qquad (2.21)$$

$$\theta_2 = 90^0 - \theta_p \qquad (2.22)$$

โดยที่ θ_p คือมุมโพลาไรส์ (Polarizing Angle) เป็นมุมตก (ซึ่งเท่ากับมุมสะท้อน) ที่ทำให้เกิดการสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ทั้งหมด และ θ_2 คือมุมหักเห

ใช้กฎของสเนลล์

$$n_1 \sin\theta_p = n_2 \sin\theta_2 \qquad (2.23)$$

แทนค่า $n_1 = 1$ (อากาศ) , $n_2 = n$ (วัสดุใด ๆ)

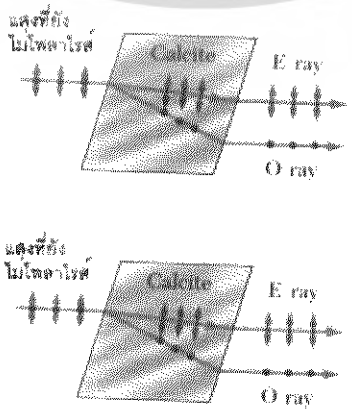
$$\sin\theta_p = n \sin(90^0 - \theta_p) = n\cos\theta_p \qquad (2.24)$$

$$n = \tan\theta_p \qquad (2.25)$$

เรียกว่า Brewster's law สามารถใช้หาค่าดัชนีหักเหของวัสดุ โดยการวัดค่ามุมโพลาไรส์ค่าเดียวเท่านั้น

2.3.3 โพลาไรซ์โดยการหักเหซ้อน

วัสดุบางชนิดเช่นแคลไซท์หรือควอทซ์ มีคุณสมบัติที่เรียกว่า Birefringent คือมีค่าดัชนีหักเห 2 ค่า เนื่องจากแสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางของผลึก เมื่อฉายแสงที่ไม่โพลาไรซ์เข้าสู่ผลึกของวัสดุเหล่านี้ แสงที่หักเหออกมาจึงเป็นลำแสงโพลาไรซ์



รูปที่ 2.15 โพลาไรซ์โดยการหักเหซ้อนในผลึกแคลไซท์ทำให้ได้ลำแสง E Ray และ O Ray ที่โพลาไรซ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 โพลาไรส์โดยการกระเจิง

เมื่อแสงที่ไม่โพลาไรส์เคลื่อนที่ผ่านกลุ่มอนุภาค เช่น กรณีแสงแดดผ่านอากาศ จะเกิดปรากฏการณ์กระเจิง (Scattering) แสงที่กระเจิงจะโพลาไรส์บางส่วน

พิจารณา คลื่นแสงความยาวคลื่น λ ตกกระทบโมเลกุลก๊าซในอากาศ ขนาด d โดย $d << \lambda$ (โมเลกุลออกซิเจนและไนโตรเจนในบรรยากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับ 0.2 นาโนเมตร) เนื่องจากความเข้มแสงที่กระเจิงมีค่าแปรผกผันตาม λ^4 ดังนั้น แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น (แสงสีน้ำเงิน) สามารถกระเจิงได้มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า (เช่นสีแดง) ดังนั้นท้องฟ้าจึงปรากฏให้เห็นเป็นสีน้ำเงิน

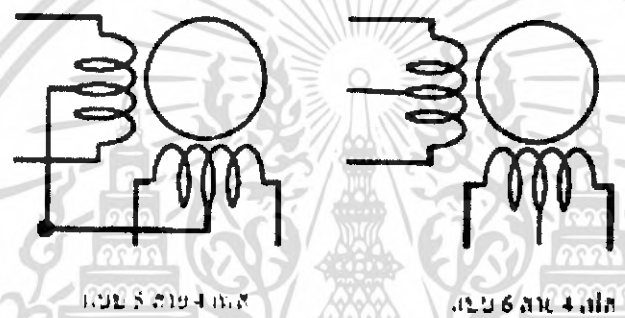
รูปที่ 2.16 การกระเจิงของแสงโดยโมเลกุลในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

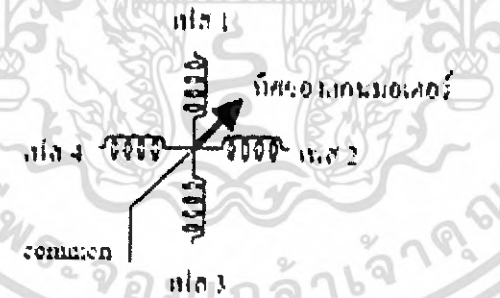
2.4สเตปปิงมอเตอร์(Stepping motor)

ในมอเตอร์ไฟตรงและไฟสลับหากมีการที่จะควบคุมตำแหน่งของการหมุน เช่น จะหมุนไป 18 องศา จะต้องมีทรานดิวเซอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งเพิ่มเข้ามา แต่มีมอเตอร์อีกประเภทหนึ่งที่สามารถควบคุมตำแหน่งของการหมุนได้ นั่นคือสเตปปิงมอเตอร์(Stepping motor)

สเตปมอเตอร์ที่นิมใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด และหาได้ง่ายคือ สเตปปิงมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ (Uni-polar stepping motor) มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 ลักษณะการพันขดลวดของสเตปปิงมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์



รูปที่ 2.18 การวางขดลวดแต่ละเฟสของสเตปปิงมอเตอร์

สเตปปิงมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์นี้มีการพันขดลวด 2 ขดแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตปมอเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟส 1,2,3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเตปปิงมอเตอร์แบบนี้มีทั้งหมด 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้ง 2 มาต่อรวมกันเป็นสายเดียว

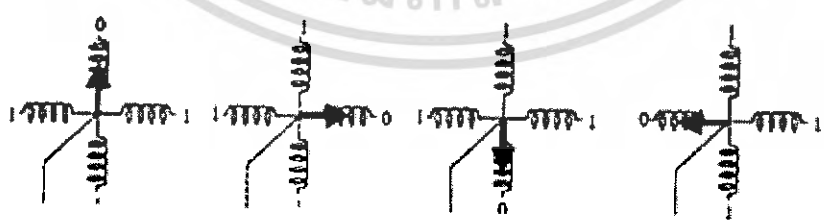
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปปิงมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ทำงานด้วยการป้อนพัลส์กระตุ้นให้มัน โดยใช้พัลส์หนึ่งลูกต่อการเคลื่อนที่ไปหนึ่งสเตป ซึ่งความละเอียดหนึ่งสเตปจะเป็นกี่องศานั้นขึ้นอยู่กับวงจรขับมอเตอร์และโครงสร้างของสเตปมอเตอร์เอง โดยปกติสเตปมอเตอร์จะมีขนาดมุมเมื่อเคลื่อนที่ไปหนึ่งสเตปอยู่ 2 ขนาดคือ 1.8 องศาต่อสเตป และ 7.5 องศาต่อสเตป

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเตปทำได้โดยการจ่ายไฟฟ้าไปยังขดลวดทีละขดบนสเตปมอเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นรูปแบบที่ถูกต้องสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบ 1 เฟส(one phase) หรือแบบฟูลสเตป (full step) เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุดโดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในหนึ่งเวลาไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่1,2,3,4 แล้วกลับมายังขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางของการหมุนสวนกัน ในการกระตุ้นรูปแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น ข้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1เฟส

สเตปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน			
2		ทำงาน		
3			ทำงาน	
4				ทำงาน



รูปที่ 2.19 การหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1เฟส

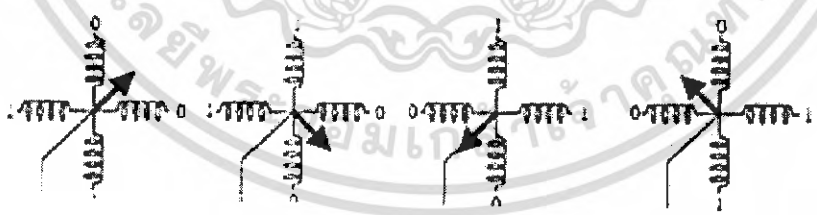
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ 2 เฟส (two phase) เป็นการกระตุ้นซึ่งคล้ายกับแบบหนึ่งเฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไป

เช่นเดียวกับแบบ 1 เฟส การกระตุ้นสเตปปิงมอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดมากกว่าแบบ 1 เฟส สำหรับข้อเสียคือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2เฟส

สเตปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน	ทำงาน		
2		ทำงาน	ทำงาน	
3			ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน			ทำงาน



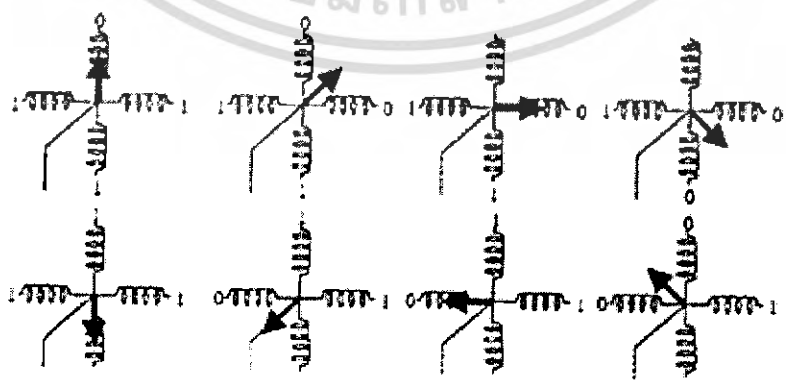
รูปที่ 2.20การหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบครึ่งสเตปเป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบ 1 เฟสและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเตปต่อรอบอีกหนึ่งเท่าตัว แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเพราะช่วงสเตปมีระยะสั้นลง แต่ละสเตปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่า เมื่อมีการกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเตป จึงจะได้เท่ากับระยะเท่ากับ 1 สเตปเต็มของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอต่อขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป

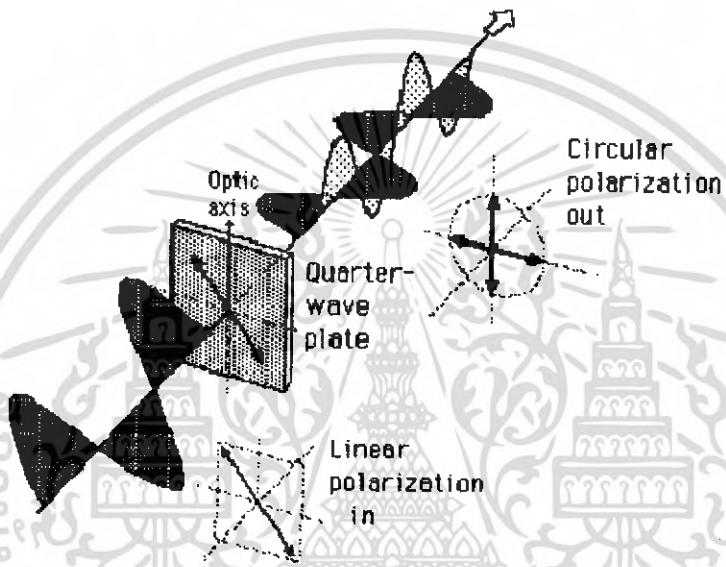
สเตปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน			
2	ทำงาน	ทำงาน		
3		ทำงาน		
4		ทำงาน	ทำงาน	
5			ทำงาน	
6			ทำงาน	ทำงาน
7				ทำงาน
8	ทำงาน			ทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Quarter wave plate

เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่สามารถหน่วงเฟสของสนามไฟฟ้าของ E-ray และ O-ray ให้ต่างกันเป็น $\frac{\pi}{2}$ จะมีเฟสต่างกันมากขึ้นตามความหนาของผลึก ถ้าผลึกหนา d ทำให้ $\left[n_o d - n_e d\right] = \lambda/4$



รูปที่ 2.22 แสดงหลักการเปลี่ยนโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลมของ Quarter wave plate

จากรูปที่ 2.22 อธิบายได้ว่าเมื่อแสงตกกระทบทำมุม $\frac{\pi}{4}$ กับแกนแสง แสง O-ray และ E-ray จะมีแอมปลิจูดเท่ากัน ดังนั้นแสงที่ผ่านผลึกออกมาจะมีสถานะเป็นโพลาไรซ์วงกลมและในกรณีที่แสงตกกระทบมีแนวโพลาไรซ์ทำมุมไม่เท่ากับ $\frac{\pi}{4}$ กับแกนแสง แสงโพลาไรซ์ O-ray และ E-ray มีแอมปลิจูดไม่เท่ากันดังนั้นแสงที่ผ่านผลึกออกมาจะได้แสงโพลาไรซ์แบบวงรี

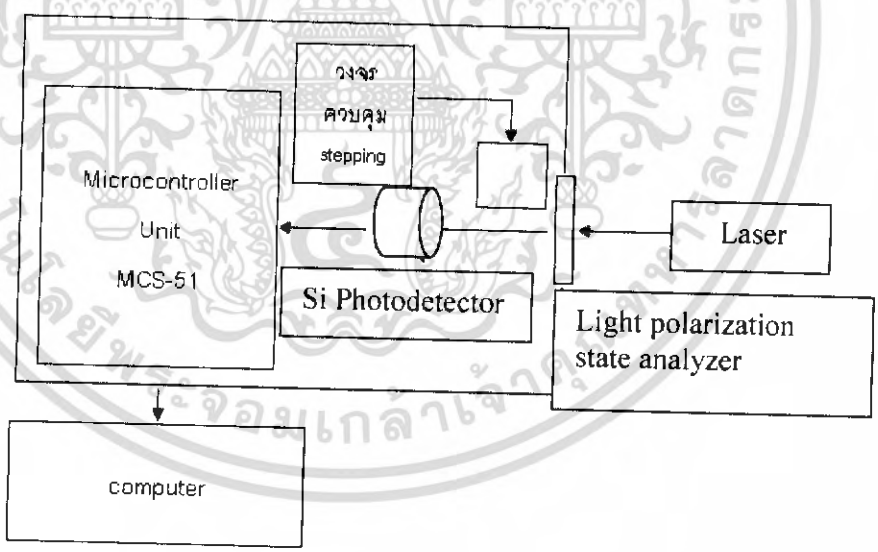
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบชุดวัดสถานะโพลาไรซ์ของสัญญาณแสง

3.1.1 ส่วนประกอบของชุดวัด

โครงงานพิเศษนี้จะศึกษาถึงสถานะโพลาไรเซชันของแสงโดยมีหลักการทำงานของเครื่องมือคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่โพลารอยด์แสงจะผ่านโพลารอยด์ที่ควบคุมด้วย stepping motor ต่อมาแสงจะผ่านไปยัง Photodetector จากนั้นอาศัยซอร์ฟแวร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุนของ stepping motor จากนั้นนำข้อมูลการทดลองที่ได้มาแปลงผลเป็นกราฟซึ่งเป็นกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับแกนหมุนของ analyzer และ polarizer โดยหลักการทำงานสามารถอธิบายดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของชุดวัดสถานะโพลาไรซ์ของแสง

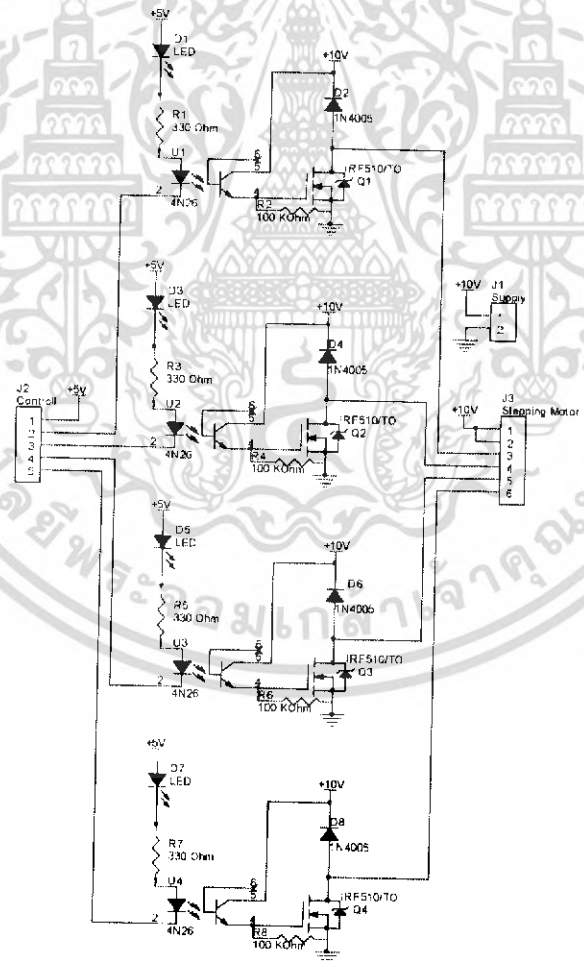
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรรับสัญญาณแสง

สำหรับการทำงานของภาครับสัญญาณแสง photodetector จะเป็นตัวรับสัญญาณแสง จากนั้นสัญญาณทางแสงที่รับมาจะแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยต่อเข้ากับ ADC เพื่อแปลงสัญญาณ analog เป็น digital เพื่อที่จะเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

3.1.3 วงจรและโปรแกรมควบคุมตำแหน่งมุมของแผ่นโพลารอยด์

ในการสร้างชุดตรวจสอบสภาวะโพลาไรซ์เซชันของแสงนี้ จะใช้วงจรควบคุมสเตปปิงมอเตอร์เป็นตัวที่ช่วยให้แผ่นโพลารอยด์หมุน สำหรับการทำงานของวงจรควบคุมสเตปปิงมอเตอร์จะเป็นดังรูปที่ 3.2 คือส่งสัญญาณลอจิก 0 เข้าไปที่ส่วน control ขาที่ 2 เพื่อให้กระแสที่ supply ไหลผ่านมาที่ R_1 เพื่อมายัง 4N26 ซึ่งเป็น IC ที่ทำงานด้วยแสงและกระแสที่ได้จะไปขับ IC เบอร์ IRF510 ทำให้เฟสแรกของ stepping motor ทำงาน ทำแบบเดิมทั้งขา 2-5 ทำให้สเตปปิงมอเตอร์หมุนได้

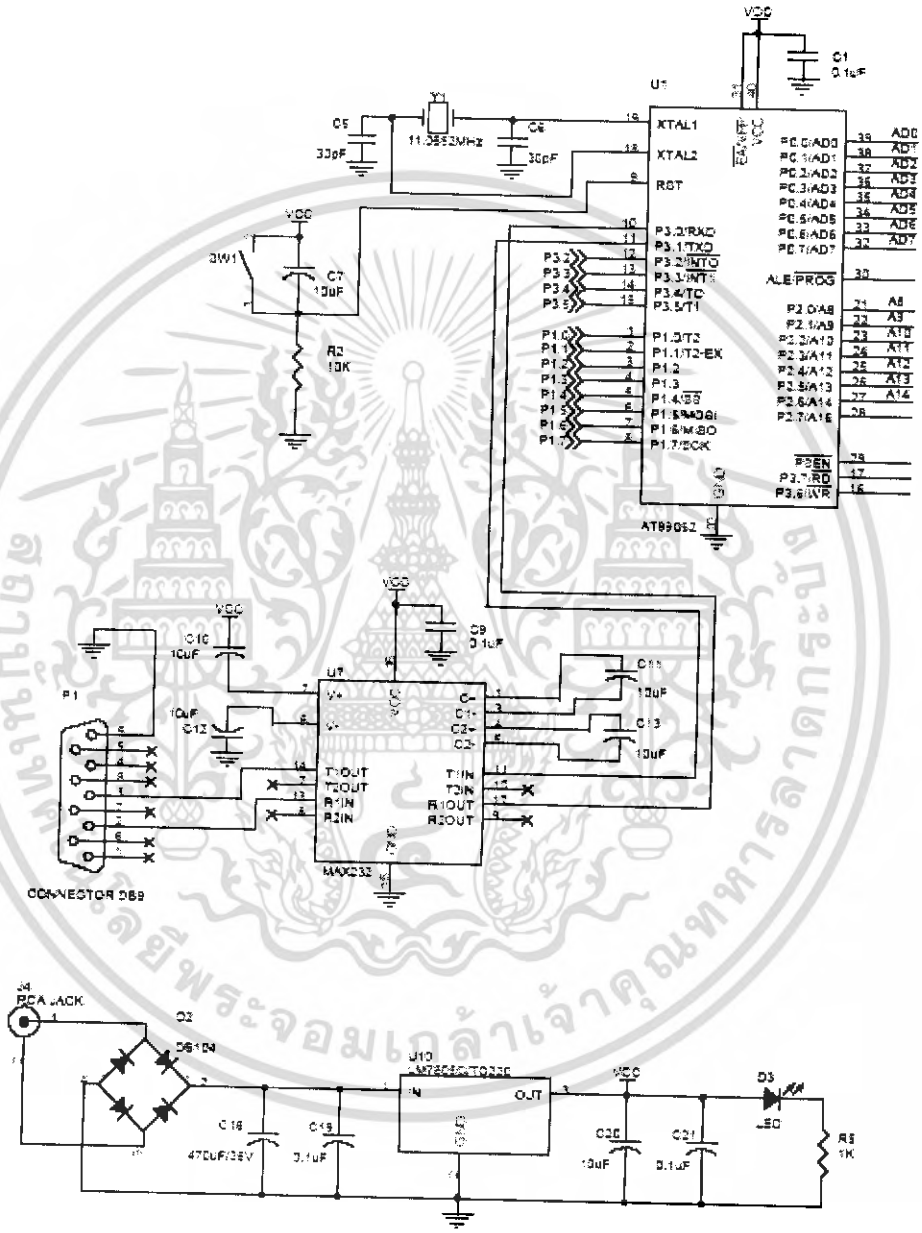


รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมstepping motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 หลักการทำงานของส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนแสดงผล

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้ไอซีเบอร์ AT89S52 หรือไมโครคอนโทรลเอร์ตระกูล MCS-51 มาเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดสภาวะโพลาไรซ์ของแสงนี้ การคำนวณใช้ภาษาC ในการควบคุม motor และการแปลงสัญญาณที่รับมาจาก photodetector

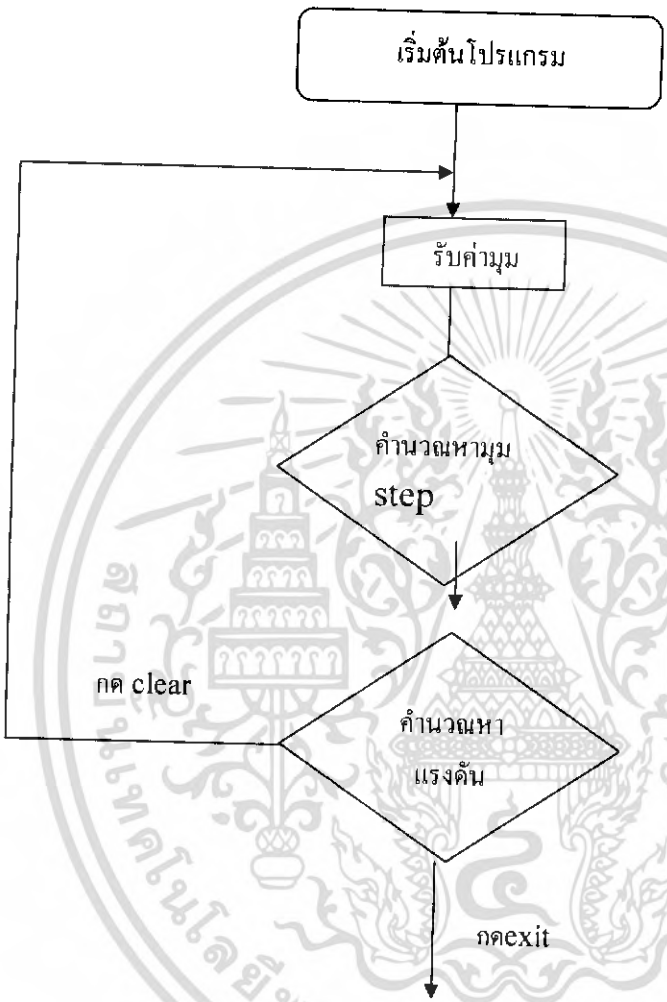


รูปที่ 3.3 แสดงส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบและประมวลผลสัญญาณ

3.2.1 โครงสร้างโปรแกรมรับและประมวลผลสัญญาณ



รูปที่ 3.4 โครงสร้างโปรแกรมรับและประมวลผลสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดการทำงานของเครื่องมือวัด จะเขียนด้วยภาษาซีซึ่งเป็นภาษาชั้นสูงและง่ายต่อการเขียนคำสั่ง โดยส่วนของโปรแกรมของเครื่องมือจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

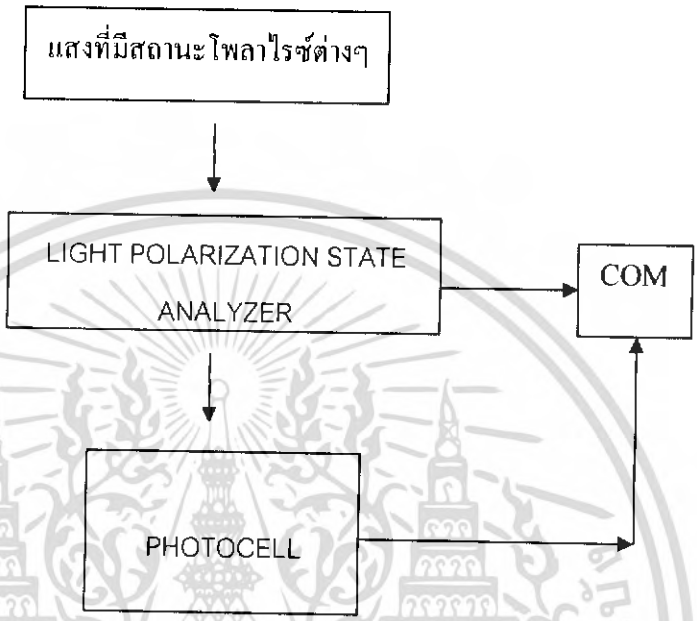
3.2.3 ส่วนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมควบคุม stepping motor และการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแสงที่เข้ามายัง photodetector เพื่อเข้าไปที่ส่วนแสดงผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบระบบและการทดลอง

3.3.1.การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.5 แสดงวิธีจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

วิธีการทดลอง

1.จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.5

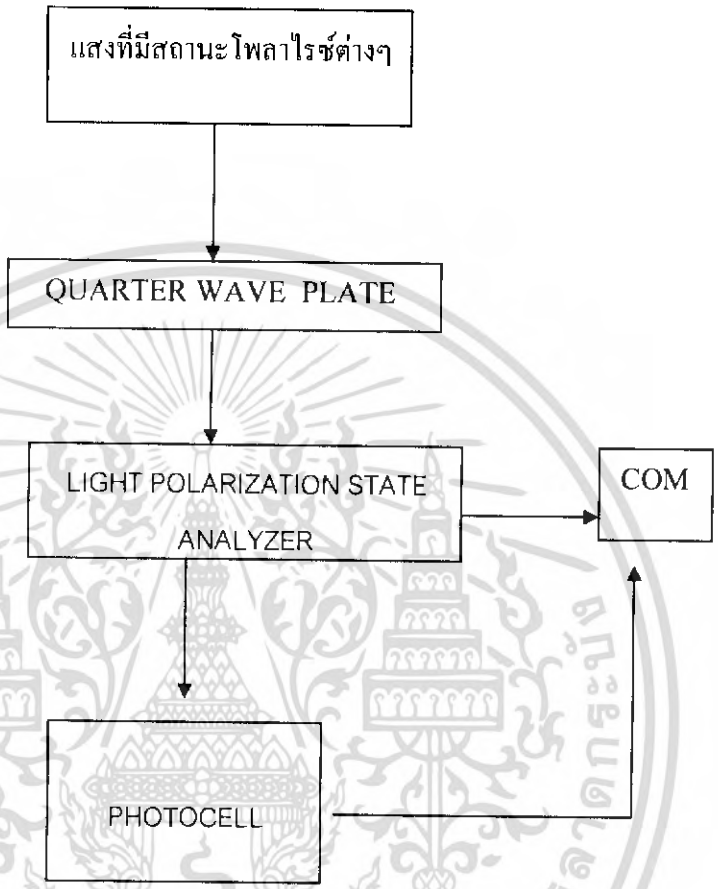
1.ใส่ analyzer แล้วหมุน analyzer ไปจนกว่าจะไม่มีแสงออกมาหรือออกมาน้อยที่สุด

2.หมุนแผ่น analyzer โดให้สเตปปิงมอเตอร์หมุนไปครั้งละ 1 องศา

3.ดูผลที่ได้จากกราฟซึ่งเป็นกราฟระหว่างแรงดันกับมุมแกนของ analyzer และ polarizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแสงเมื่อผ่านอุปกรณ์ทางแสง



รูปที่ 3.6 แสดงวิธีจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแสงเมื่อผ่านอุปกรณ์ทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1.จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.6

2.จัด analyzer ให้ตั้งฉากกับ polarizer อีกครั้ง

3.ใส่ quarter wave plate จากนั้นปรับ quarter wave plate ไปในตำแหน่งที่ทำให้ได้แสงหรือแรงดันเอาท์พุตออกมาเป็นศูนย์เช่นเดิม

4.ดูผลจากกราฟระหว่างแรงดันเทียบกับมุมของแกน analyzer ที่เปลี่ยนไป

3.3.3 การทดลองเพื่อหาสถานะโพลาไรซ์ของแสงแบบวงกลมและวงรี

วิธีการทดลอง

1จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.6

2.ใส่ quarter wave plate จากนั้นปรับหมุน quarter wave plate ไป 45 $^{\circ}$ ซึ่งผลที่ได้ออกมาจะเป็นแสงโพลาไรซ์แบบวงกลม

3.ดูผลจากกราฟระหว่างแรงดันเทียบกับมุมของแกน analyzer ที่เปลี่ยนไป

4.ปรับ quarter wave plate กลับไป 15°ในขณะนี้แสงโพลาไรซ์ที่ผ่าน quarter wave plate ออกมาจะอยู่ในสถานะวงรี

5. ดูผลจากกราฟระหว่างแรงดันเทียบกับมุมของแกน analyzer ที่เปลี่ยนไป

6.นำ quarter wave plate ที่เตรียมไว้อีกแผ่นเพิ่มเข้าไปผลที่ได้จะเป็น quarter wave plate ซึ่งจะทำให้โพลาไรเซชันของแสงที่ผ่านออกมากลายเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น

7. ดูผลจากกราฟระหว่างแรงดันเทียบกับมุมของแกน analyzer ที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาโครงงานพิเศษเรื่องเครื่องวัดสภาวะโพลาไรซ์เซชันของแสงได้ประดิษฐ์เครื่องวัดสภาวะโพลาไรซ์เซชันของแสงขึ้นเพื่อใช้ในการวัดสภาวะโพลาไรซ์เซชันของแสงแบบต่างๆซึ่งเครื่องมือดังกล่าวนี้จะสะดวกในการใช้งานมากเพราะไม่ต้องปรับหมุน analyzer เองโดยเครื่องมือนี้จะสามารถหมุนได้โดยอัตโนมัติซึ่งสามารถกำหนดองศาในการหมุนได้และจะหมุนทีละ step ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าของ analyzer ได้โดยสะดวกและรวดเร็วซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะนำมาแปลงเป็นกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้าเทียบกับมุมของ analyzer ที่เปลี่ยนไปซึ่งกราฟที่ได้สามารถบอกได้ว่าเป็นโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น,โพลาไรซ์แบบวงรีและโพลาไรซ์แบบวงกลมได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. แผ่นโพลารอยด์ที่ติดกับตัวสเตปปิงมอเตอร์มีลักษณะมัวจึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดแสงโพลาไรซ์ซึ่งสามารถแก้ปัญหาโดยเปลี่ยนแผ่นโพลารอยด์แผ่นใหม่ที่ไม่มัว

2.ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตที่ถูกส่งมาจากดีเทคเตอร์มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำมากๆทำให้เกิดสัญญาณรบกวนและมีการแกว่งของเอาท์พุตทำให้เอาท์พุตไม่เสถียร การแก้ไขทำได้โดยใช้สัญญาณที่มีการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กิจจา สุริยะนากาศ,ณรงค์ เอื้อนสุภา.**การพัฒนาระบบเลื่อนกราด 2 มิติ ด้วยกระจกแบบโพลิกอน.** ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.2549**ฟิสิกส์เบื้องต้น.**เอกสารประกอบการศึกษาฟิสิกส์เบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาษาซีสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

```
#include<reg52.h>
#include<stdio.h>
//*********************************************************************
unsigned int a,count,z,count_step;
unsigned int value_data = 0;
unsigned char new[]={0x0D,0x0A,0x00};
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
unsigned int i=0;
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
void serinit(void)
{
        TMOD = 0x20;       // Timer1 Mode2(8 bit auto reload) for serial port
        SCON = 0x50;       // Setup for 8 bit data
        TH1  = 0xFD;    // Set 9600 bps Timer1 default
        TF1  = 0;          // Clear bit over flag Timer1
        TI   = 0;      // Clear bit over flag TX
        TR1  = 1;       // Start Timer1
}
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
void send_serial(unsigned char *s)
{
        while(*s != 0x00)
        {
                SBUF=*s;
                while(!TI);
                TI = 0;
                s++;
        }
}
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
void getkey(void)
{
        while(!RI);
        RI=0;
        z=SBUF;
}
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
//delay millisecond unit for X-tal 11.0592MHz (Copyright www.xcitemicro.com)
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
void  delay(unsigned int x)
{
        unsigned int  i,j;
        for (i=0;i<x;i++)
        {
                for (j=0;j<115;j++) { }
        }
}
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
// Step Motor //
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//*************************************************************************************
*
void step_motor(unsigned int step)
{
        unsigned int i;
        for(i=0 ; i< step ; i++)
        {
                P2 = P2 & 0xF0;
                P2 = ((~(P2 | a))|0xF0);  // Active Low
*********************************
                count_step++;
                if(count_step==360)
                count_step = 0;
//              printf("\r\nPolarizer Degree = %d",count_step);
                a = a << 1;
                delay(50);
                if(a == 0x10)                           // 0001 0000 = over flow
                        a = 0x01;                       // 0000 0001 = reload
        }
}

//*************************************************************************************
*
// menu //
//*************************************************************************************
*
void menu(void)
{
        unsigned int men3,men2,men1,men0,num3,num2,num1=0;
        send_serial(new);
        send_serial("!!!       Enter Degree       !!!");
        send_serial(new);
        send_serial("!!!    3 Digit + Space bar    !!!");
        send_serial(new);
        send_serial("!!!   Span of degree = 0 - 359  !!!");
        send_serial(new);
  getkey();
        men3 = z;
        getkey();
        men2 = z;
        getkey();
        men1 = z;
        getkey();
        men0 = z;                       // Space Bar
        send_serial(new);
        send_serial(new);
        if(men0 == 0x20)   // Space Bar
        {
                                        if(
((men3>=48)&&(men3<=57))&&((men2>=48)&&(men2<=57))&&((men3>=48)&&(men3<=57
))) // Check Number
                                        {
                                                if( men3 == '1')
                                                        num3 =  100;
                                                if( men3 == '2')
                                                        num3 =  200;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if( men3 == '3')
            num3 =  300;
if( men3 == '4')
            num3 =  400;
if( men3 == '5')
            num3 =  500;
if( men3 == '6')
            num3 =  600;
if( men3 == '7')
            num3 =  700;
if( men3 == '8')
            num3 =  800;
if( men3 == '9')
            num3 =  900;
if( men3 == '0')
            num3 =  0;
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
if( men2 == '1')
            num2 =  10;
if( men2 == '2')
            num2 =  20;
if( men2 == '3')
            num2 =  30;
if( men2 == '4')
            num2 =  40;
if( men2 == '5')
            num2 =  50;
if( men2 == '6')
            num2 =  60;
if( men2 == '7')
            num2 =  70;
if( men2 == '8')
            num2 =  80;
if( men2 == '9')
            num2 =  90;
if( men2 == '0')
            num2 =  0;

//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

if( men1 == '1')
            num1 =  1;
if( men1 == '2')
            num1 =  2;
if( men1 == '3')
            num1 =  3;
if( men1 == '4')
            num1 =  4;
if( men1 == '5')
            num1 =  5;
if( men1 == '6')
            num1 =  6;
if( men1 == '7')
            num1 =  7;
if( men1 == '8')
            num1 =  8;
if( men1 == '9')
            num1 =  9;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                                    if( men1 == '0')
                                                          num1 =   0;
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
x
                                                    value_data = num3+num2+num1;
                                                    if(value_data <= 359)
//check degree value
                                                    {

      send_serial("!!!        OK Pass          !!!");

      send_serial(new);

      step_motor(value_data);

      send_serial("!!!     xxxxxxxxxxxxxxxxx      !!!");

      send_serial(new);
                                                                 value_data =
0 ;
                                                    }
                                                    if(value_data >= 360)
                                                    {

      send_serial("!!!      Bad Command         !!!");

      send_serial(new);

      send_serial("!!! cos span of degree = 359 - 0 !!!");

      send_serial(new);
                                                                 value_data =
0 ;
                                                    }
                                    }
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
xxx
                                    else
                                    {
                                                   send_serial("!!!        Bad
Command        !!!");
                                                   send_serial(new);
                                                   send_serial("!!!      Plz enter
Number      !!!");
                                                   send_serial(new);
                                    }
//*************************************************************************
**********
        }
        else        // Check space bar
        {
                        send_serial("!!!    Bad Command       !!!");
                        send_serial(new);
                        send_serial("!!!  Plz press Space Bar  !!!");
                        send_serial(new);
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
}
void main(void)
{
        serinit();
        count_step = 0x00;
        a = 0x01;
        P2 = 0xff;
        while(1)
        {
                menu();
        }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้