

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทุนพัฒนานักวิจัยหน้าใหม่

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปี พ.ศ. 2546

การพัฒนาระบบสวิตซ์ทางแสงโดยใช้หลักการโพลาไรซ์เซชันเพื่อการสื่อสาร

Optical switching using polarization technique  
for communication

RCH  
๐๐  
๔๔  
๐๗๖๑๘

โดย

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 54636  
วัน,เดือน,ปี..... 24 ส.ค. 2548

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิษณุ เพชรภา

b. ๑๑๓๑๔๖๓๔  
i. ....

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็น โครงการพัฒนาระบบสวิตช์ทางแสงโดยใช้หลักการโพลาไรซ์เซชัน ซึ่งเป็น หลักการสำคัญในการส่งข้อมูลทางแสง โดยเทคนิคที่ใช้คือ การควบคุมสถานะโพลาไรเซชันผ่าน ผลึกด้วยสนามไฟฟ้า แสงที่ถูกเปลี่ยนสถานะโพลาไรซ์ จะเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นซึ่งมีทั้งแบบโหมด สนามไฟฟ้าสั้นตามขวาง และโหมดสนามแม่เหล็กสั้นตามขวาง ทำให้สามารถกำหนดช่องทางการ เดินทางของลำแสงได้โดยการเปลี่ยนแปลงสถานะโพลาไรซ์ได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ในการส่ง ข้อมูลแสงได้

### Abstract

This research is the optical switching development by using polarization technique. The states of polarization of light through a suitable crystal and the direction of light signal can be controlled by using applied electric field. The linear polarized light including transverse electric mode and transverse magnetic mode, can be switched to designated channel. This method i.e, the optical signal is controlled by changing polarization orientations, can be applied to optical data transmission.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I.
สารบัญ	II
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย	1
1.3 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
✓ 2.1 โพลาริเซชัน	3
2.2 ชนิดของแสงโพลาไรซ์	5
2.2.1 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น	5
2.2.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม	6
2.2.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี	11
✓ 2.3 การทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์	15
2.3.1 Polarization by Absorption	15
2.3.2 Polarization by Refraction	17
2.3.3 Polarization by Reflection	19
2.4 Kerr Effect	21
2.4.1 ความเป็นมา	21
2.4.2 ทฤษฎีและหลักการ	21
2.4.3 การควบคุมความเข้มแสง	23
2.4.4 การประยุกต์ใช้	24
2.5 Pockels Cells	25
2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	28
3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบท (LiNbO <sub>3</sub> )	28
3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) ภายใต้สนามแม่เหล็ก	29
3.2.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์	29
3.2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยหลักการหน้าต่างบริวสเตอร์	30
3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P	31
3.3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P	31
3.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์	33
3.4 การศึกษาระบบบิตของแสง	35
3.5 การสร้าง Digital-to-analog converter	36
3.5.1 Binary-weighted-input DAC	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก ลิเทียมไนโอเบท (LiNbO <sub>3</sub> )	39
4.2 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้ว ฟลินท์ (Flint glass)	41
4.2.1 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่าน แก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยหลักการหน้าต่างบริวสเตอร์	45
4.3 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P	46
4.3.1 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ ผ่านผลึก KD*P	46
4.3.2 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ ผ่านผลึก KD*P โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์	53
4.4 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ของ ไดโอดเลเซอร์ผ่าน E/O Cell โดยแยกออกเป็น 2 ช่องสัญญาณ	61
4.4.1 ผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Voltage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Packels Cell ทาง P-Polarize	61
4.4.2 ผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Voltage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Packels Cell ทาง S-Polarize	63
4.5 ผลการทดลองการศึกษาระบบบิตของแสง	65
4.5.1 ผลการทดลองการศึกษความสัมพันธ์ระหว่าง High Voltage Supply กับ Detector Voltage Output ที่ช่องสัญญาณต่างๆ	65
4.5.2 ผลการทดลองการศึกษความสัมพันธ์ระหว่าง Controlled High Voltage Supply กับ Detector Voltage Output	66
4.5.3 ผลการทดลองการศึกษความสัมพันธ์ระหว่าง Controlled High Voltage Supply กับ voltage ที่จ่ายให้	68
4.5.4 ตารางแสดงผลการส่งสัญญาณ	68
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	76
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	76
5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบต (LiNbO <sub>3</sub> )	76
5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass)	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2.1	วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์	76
5.1.2.2	วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยหลักการหน้าต่าง บรีวสเตอร์	76
5.1.3	วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซซ์ผ่านผลึก KD*P	77
5.1.3.1	วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซซ์ผ่านผลึก KD*P	77
5.1.3.2	วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซซ์ผ่านผลึก KD*P โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์	77
5.2	สรุปผลการทดลอง	77
5.3	แนวทางการพัฒนา	78
เอกสารอ้างอิง		79
ภาคผนวก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการสั้นของแสงธรรมชาติ ซึ่งมีสนามไฟฟ้า ( $\vec{E}$ ) ตั้งฉากกับ สนามแม่เหล็ก ( $\vec{H}$ )	3
รูปที่ 2.2 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบทำมุม $\theta$ กับแกนของโพลาไรซ์	4
รูปที่ 2.3 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป (ก) ตามแกน X (ข) ตามแกน Y (ค) ทำมุม $45^\circ$ กับแกน X ตามลำดับ	6
รูปที่ 2.4 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ	8
รูปที่ 2.5 แสดงการหมุนของเวกเตอร์ไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา	9
รูปที่ 2.6 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ	10
รูปที่ 2.7 แสดงการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับโพลาไรซ์ชนิดวงรี	11
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี	12
รูปที่ 2.9 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ	14
รูปที่ 2.10 แสดงการวางโพลาไรเซอร์และตัววิเคราะห์ในลักษณะที่ TA ตั้งฉากกัน	15
รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าที่ผ่านโพลาไรเซอร์และอนาไลเซอร์	16
รูปที่ 2.12 แสดงผลของตะแกรงลวดต่อไมโครเวฟ ซึ่งจะมีการดูดกลืนในแนวตั้งได้ดี ถ้าความยาวคลื่นของไมโครเวฟมีค่ามากกว่าระยะระหว่างเส้นลวดในตะแกรง	17
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของดัชนีหักเหกับความถี่ในย่านใกล้ๆ กับแถบการดูดกลืน	17
รูปที่ 2.14 แสดงการหักเหสองแนว	18
รูปที่ 2.15 แสดงปริซึมที่ทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์แบบต่างๆ	19
รูปที่ 2.16 แสดงการสะท้อนของแสงที่ผิวไดอิเล็กตริก	19

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.17 แสดงแนวแกนทัศนของ Kerr cell และแกน โพลาริซของแสงที่ผ่าน Kerr cell ขณะที่ $E = 0$	22
รูปที่ 2.18 แสดงแนวแกนทัศนของ Kerr cell และแกน โพลาริซของแสงที่ผ่าน Kerr cell ขณะที่ $E \neq 0$	23
รูปที่ 2.19 แสดงการควบคุมความเข้มแสง	23
รูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมการทดลอง Pockels cells	25
รูปที่ 2.21 แสดงวงจรขยายและเปรียบเทียบสัญญาณ	27
รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซผ่านผลึก $\text{LiNbO}_3$	28
รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซผ่านแก้วฟลินท์ โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์	29
รูปที่ 3.3 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซผ่านแก้วฟลินท์ โดยอาศัยหลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์	30
รูปที่ 3.4 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซผ่านผลึก $\text{KD}^*\text{P}$ โดยไม่ใส่ค่าสนามไฟฟ้า ( $V = 0$ )	31
รูปที่ 3.5 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซผ่านผลึก $\text{KD}^*\text{P}$ โดยใส่ค่าสนามไฟฟ้า ( $V = 2.5 \text{ kV}$ .)	32
รูปที่ 3.6 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซผ่านผลึก $\text{KD}^*\text{P}$ โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ ( $V = 0$ )	33
รูปที่ 3.7 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซผ่านผลึก $\text{KD}^*\text{P}$ โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ ( $V = 2.5 \text{ kV}$ .)	34
รูปที่ 3.8 Operational amplifier (Op-Amp)	36
รูปที่ 3.9 วงจร Binary-weighted-input DAC ขนาด 6 บิต	39
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบท ( $\text{LiNbO}_3$ )	40
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด	42
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดลองแสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุด	44
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดลองแสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุด	44
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยใช้หลักการหน้าต่างบรีดเตอร์	45
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P โดยการปรับค่าความต่างศักย์	47
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P ที่ช่องสัญญาณที่ 1	49
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P ที่ช่องสัญญาณที่ 2	51
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ	52
รูปที่ 4.11 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ	55
รูปที่ 4.12 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ	56
รูปที่ 4.13 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ	57
รูปที่ 4.14 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ	58
รูปที่ 4.15 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.16 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่าน ผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ	60
รูปที่ 4.17 แสดงการศึกษาสถานะ โพลาริซ์ของไดโอดเลเซอร์ผ่าน E/O Cell ทาง P – Polarizer	62
รูปที่ 4.18 แสดงการศึกษาสถานะ โพลาริซ์ของไดโอดเลเซอร์ผ่าน E/O Cell ทาง P – Polarizer	64
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง High Voltage กับ Detector Voltage	65
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Controlled High Voltage Supply กับ Detector Voltage Output	67
รูปที่ 4.21 แสดงการศึกษาสถานะ โพลาริซ์ของไดโอดเลเซอร์ผ่าน Electrooptic Cell โดยแยก ออกเป็น 2 ช่องสัญญาณ	69
รูปที่ 4.22 แสดงการควบคุมสถานะ pockels Cell โดยใช้ Controled High Voltage Supply	70
รูปที่ 4.23 แสดงภาพวงจรส่งสัญญาณ	71
รูปที่ 4.24 แสดงวงจรรับสัญญาณ	72
รูปที่ 4.25 แสดงการทดลองการส่งสัญญาณเพื่อทดสอบระบบบิตของแสง	73
รูปที่ 4.26 แสดงการส่งข้อมูล ครั้งที่ 1	74
รูปที่ 4.27 แสดงการส่งข้อมูล ครั้งที่ 2	74
รูปที่ 4.28 แสดงการส่งข้อมูล ครั้งที่ 3	75
รูปที่ 4.29 แสดงการส่งข้อมูล ครั้งที่ 4	75

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ Kerr ในผลึกชนิดต่างๆ	24
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าคงที่ Electro-optic (ที่อุณหภูมิห้อง และความยาวคลื่น 546.1 นาโนเมตร)	26
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบท (LiNbO <sub>3</sub> )	39
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด	41
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด	43
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยใช้หลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์	45
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD*P โดยการปรับค่าความต่างศักย์	46
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD*P ที่ช่องสัญญาณที่ 1	48
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD*P ที่ช่องสัญญาณที่ 2	50
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ โดยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	52
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD*P ภายใต้อสนามไฟฟ้า โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ เมื่อไม่ใส่ค่าสนามไฟฟ้า ( $V = 0$ )	53
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD*P ภายใต้อสนามไฟฟ้า โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ เมื่อใส่ค่าสนามไฟฟ้า ( $V = 2.5 \text{ kV.}$ )	54
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Voltage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Pockels Cell ทาง P – Polarize	61

## สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่4.12 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Voltage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Pockels cell ทาง S-Polarized	63
ตารางที่4.13 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง High Voltage Supply กับ Detector Voltage Output ที่ช่องสัญญาณต่างๆ	65
ตารางที่4.14 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างControlled High Voltage Supply กับ Detector Voltage Output	66
ตารางที่4.15 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างControlled High Voltage Supply กับ voltage ที่จ่ายให้	68
ตารางที่4.16 แสดงผลการส่งสัญญาณ	68



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

จากความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการได้ทั้งปัจจุบันและอนาคต ระบบสื่อสารด้วยแสง (Optical Communication System) ซึ่งสามารถส่งข่าวสารและข้อมูลต่างๆ ได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกัน จึงได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย อีกทั้งการรับส่งข้อมูลโดยใช้ระบบสื่อสารด้วยแสงทำให้มีความรวดเร็วในการรับส่ง เพื่อประหยัดเวลา และข้อมูลที่ได้จะแม่นยำอีกด้วย

การสื่อสาร โดยวิธีการนำแสงมาประยุกต์ใช้จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการควบคุมและกำหนดทิศทางของแสง ในการส่งข้อมูลเพื่อการสื่อสาร ซึ่งมีหลายวิธี การนำมาใช้แต่ละวิธีนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน โดยในโครงการพิเศษนี้จะเป็นการศึกษาและสร้างการสวิตช์ด้วยแสง (Optical Switching)

การศึกษาและการสร้างการสวิตช์ด้วยแสง (Optical Switching) เป็นการควบคุมและกำหนดทิศทางของแสง โดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางแสงที่มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้สามารถนำคุณสมบัติดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ และควบคุมทิศทางของแสงได้ โดยใช้เทคนิคการโพลาไรเซชัน และทำให้ลำแสงโพลาไรซ์ผ่านตัวกลางที่เป็นผลึกซึ่งควบคุมด้วยสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก ซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะทำให้สถานะโพลาไรซ์ของแสงเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดทิศทางของแสงได้โดยสนามไฟฟ้า และนำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

นอกจากนี้เทคนิคโพลาไรเซชัน ในปัจจุบันยังนำมาประยุกต์ใช้งานด้านแสงอื่นๆ ได้อีก เช่น การวัดรอยต่อของไฟเบอร์ออปติก การนำมาเป็นตัวตรวจสอบ โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง และเครื่องมือวัดทางแสงในแบบต่างๆ อีกมากมาย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาและสร้างระบบสวิตช์ทางแสง โดยใช้เทคนิคโพลาไรเซชัน เพื่อใช้เป็นระบบต้นแบบในงานวิจัยทางด้านการสื่อสารด้วยแสง

1.2.2 พัฒนางานวิจัยทางด้านแสงและการสื่อสาร เพื่อให้ใช้งานได้จริง และสอดคล้องกับหลักสูตรทางเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ของภาควิชา

### 1.3 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาการทำงานของผลึกลิเทียมไนโอเบทในสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูง
- 1.3.2 ศึกษาการทำงานของแก้วฟลูออไรด์ในสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูง
- 1.3.3 ศึกษาการทำงานของ Pockels Cell
- 1.3.4 ศึกษาการทำงานของวงจรที่ใช้เปรียบเทียบค่าความเข้มแสง
- 1.3.5 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง
- 1.3.6 ศึกษาการประยุกต์ใช้สวิตซ์เชิงแสงในงานต่างๆ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- 1.4.1 เป็นพื้นฐานการศึกษาทางด้านการสื่อสารด้วยแสง โดยเฉพาะการเทคนิคการสวิตซ์สัญญาณ
- 1.4.2 สามารถนำต้นแบบไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยขั้นสูงที่เกี่ยวข้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

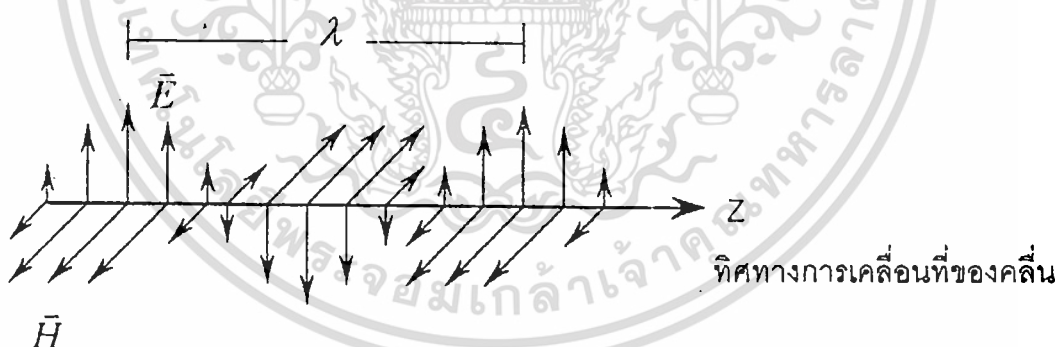
## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 โพลาริเซชัน (Polarization)

แสงที่เป็นคลื่นระนาบ และมีทิศของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงหรือสั่นแนววงที่แนวหนึ่ง เรียกว่าเป็นแสงโพลาริซ์เชิงเส้น หรือเรียกว่ามีสมบัติโพลาริซ์เชิงเส้น (Linearly polarized light) สำหรับสนามแม่เหล็กซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหรือสั่นในแนวที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับสนามไฟฟ้า กล่าวคือมีการสั่นในแนววงที่แนวหนึ่งซึ่งเป็นแนวที่ตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้าและจะได้ทิศทางของ  $\vec{E} \times \vec{B}$  เป็นทิศเดียวกับแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น อย่างไรก็ตามแสงโดยทั่วไปมักไม่มีสมบัติดังกล่าว เช่น แสงที่ได้จากการเผาไส้หลอดให้ร้อน ทิศของสนามไฟฟ้าจะไม่อยู่ในแนววงที่แนวใดแนวหนึ่ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งอย่างเป็นระเบียบใดๆ แสงเช่นนี้เป็นแสงที่ไม่โพลาริซ์ (Unpolarized light) ในบางกรณีแสงอาจมีการผสมกันระหว่างแสงโพลาริซ์และแสงไม่โพลาริซ์ กรณีนี้เรียกว่าเป็นแสงโพลาริซ์บางส่วน (Partially polarized light) ในกรณีของแสงโพลาริซ์นั้นนอกจากจะเป็นแสงโพลาริซ์เชิงเส้นแล้ว อาจเป็นแสงโพลาริซ์เชิงวงกลม หรือเชิงวงรี (Circularly or Elliptically polarized light)

ปรากฏการณ์การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนนั้นเกิดขึ้นได้กับคลื่นทุกชนิดทั้งคลื่นตามขวางเช่นแสง และคลื่นตามยาวเช่นคลื่นเสียง แต่ในกรณีของโพลาริเซชันจะเกิดเฉพาะในคลื่นตามขวางเท่านั้นไม่เกิดในคลื่นตามยาว และเป็นที่ยอมรับกันว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีทิศการสั่นของสนามไฟฟ้า ( $\vec{E}$ ) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ( $\vec{H}$ ) และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น รูปที่ 2.1 แสดงการสั่นของแสงธรรมชาติ ซึ่งมีสนามไฟฟ้า ( $\vec{E}$ ) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ( $\vec{H}$ )



พิจารณาแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 2.1 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\vec{E}(z,t) = E_{0y} \sin\left[(2\pi z/\lambda) - 2\pi\nu t + \phi_0\right] \quad (2.1)$$

เมื่อแสงเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน +z และเป็นโพลาริซ์เชิงเส้นมีทิศทางของสนามไฟฟ้าตามแกน y เมื่อ  $\nu$  เป็นความถี่ของคลื่นแสง  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น  $E_{0y}$  เป็นแอมพลิจูดสูงสุด และ  $\phi_0$  เป็นค่าคงที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

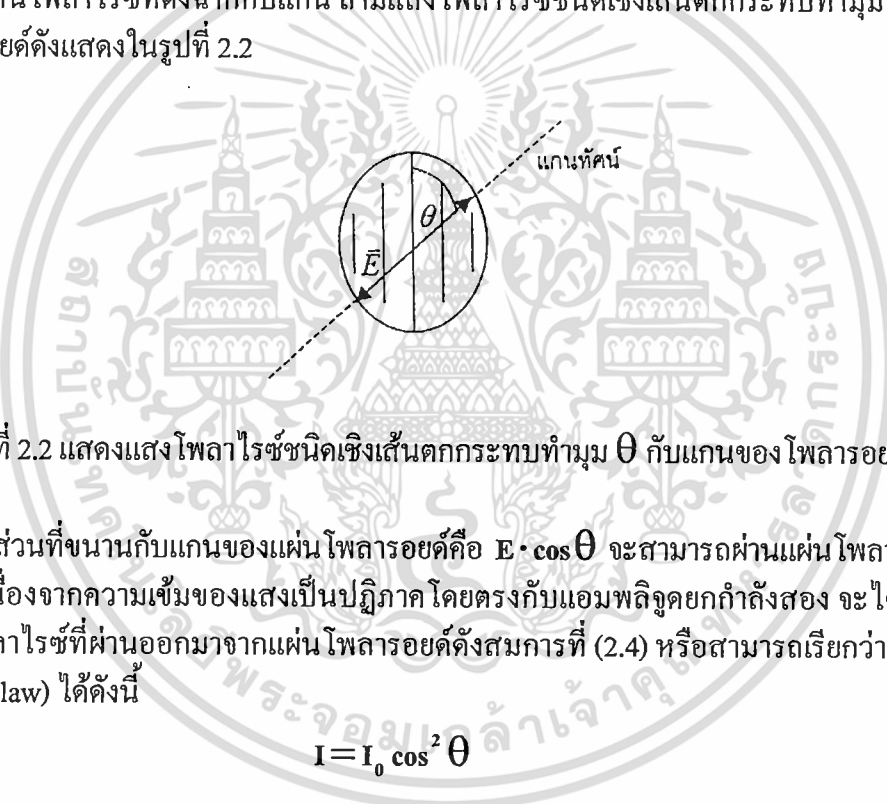
ของเฟส โดยมีความถี่เชิงมุมที่ได้คือ  $\omega = 2\pi\nu$  และมีเลขคลื่น (Wave Number)  $k = 2\pi/\lambda$  แล้วสมการที่ (2.1) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\vec{E}(z, t) = E_{0y} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \quad (2.2)$$

ในสนามแม่เหล็กของแสงจะสั้น เหมือนกับสนามไฟฟ้าแต่เวกเตอร์สนามแม่เหล็ก  $\vec{H}$  จะทำมุมตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าในทิศทางตาม X ซึ่งสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น

$$\vec{H}(z, t) = H_{0x} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \quad (2.3)$$

แสงโดยทั่วไปเป็นแสงไม่โพลาไรซ์ นั่นคือสนามไฟฟ้ามีการสั่นในหลายๆ ระนาบในเวลาเดียวกัน ถ้าแสงไม่โพลาไรซ์เคลื่อนผ่านแผ่นโพลาไรซ์ (Polaroid) โดยมีทิศทางของสนามไฟฟ้าขนานกับแกนโพลาไรซ์ และมีลักษณะพิเศษคือยอมให้โพลาไรซ์ในทิศทางที่ขนานกับแกนโพลาไรซ์ผ่าน และจะดูดกลืนโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกับแกน ถ้ามีแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบบนทำมุม  $\theta$  กับแกนของโพลาไรซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบบนทำมุม  $\theta$  กับแกนของโพลาไรซ์

สนามไฟฟ้าส่วนที่ขนานกับแกนของแผ่นโพลาไรซ์คือ  $E \cdot \cos \theta$  จะสามารถผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกมาได้ และเนื่องจากความเข้มของแสงเป็นปริมาณที่ตรงกันกับแอมพลิจูดยกกำลังสอง จะได้ความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ผ่านออกมาจากแผ่นโพลาไรซ์ดังสมการที่ (2.4) หรือสามารถเรียกว่า กฎของมาลุส (Malus' law) ได้ดังนี้

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (2.4)$$

เมื่อ  $I_0$  เป็นความเข้มแสงที่ตกกระทบบนมากที่สุดที่เข้ามายังแผ่นโพลาไรซ์

แผ่นโพลาไรซ์ใช้ทำเป็นโพลาไรเซอร์ (Polarizer) หรือตัวทำแสงโพลาไรซ์โดยทำแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้โพลาไรเซอร์อีกแผ่นหนึ่งวางซ้อนกันและทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์ (Analyzer) เพื่อทำหน้าที่ในการจัดมุมของการโพลาไรซ์ของแสงที่ผ่าน โดยถ้าวางแกนของโพลาไรเซอร์ทั้งสองแผ่นตั้งฉากกัน (90 องศา) จะไม่มีแสงส่องผ่านออกมา แต่ถ้าหมุนตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ให้ทำมุม  $\theta$  กับตัวทำแสง โพลาริซ์ โดยให้ความเข้มของแสงโพลาริซ์ที่ออกจากตัวทำแสง โพลาริซ์ไปยังตัววิเคราะห์เป็น  $I_0$  ความเข้มแสงที่ได้ออกมาจากตัววิเคราะห์จะเป็นไปตามกฎของมาลัส และถ้าหมุนตัววิเคราะห์ไปเป็นมุมต่างๆ แล้วหาค่าความเข้มสูงสุด ( $I_{\max}$ ) และความเข้มต่ำสุด ( $I_{\min}$ ) แล้ว สามารถพิจารณาในเทอมของอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงสูงสุดและความเข้มแสงต่ำสุดที่ส่งผ่าน ออกมาหรือเป็นการวัดคุณภาพของลำแสง โพลาริซ์ ER (Extinction Ratio)

$$ER = 10 \log(I_{\max} / I_{\min}) \quad (2.5)$$

ถ้าความแตกต่างระหว่าง  $I_{\max}$  และ  $I_{\min}$  มีค่ามาก จะทำให้ค่า ER มาก นั่นคือคุณภาพของลำ แสงโพลาริซ์ที่ได้จะดี

จากหลักการพื้นฐานของคลื่นแสงธรรมชาตินี้ จะพิจารณาเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการ โพลาริเซชันของแสง ซึ่งในการจำแนกชนิดของ โพลาริเซชันนั้นจะพิจารณาความสัมพันธ์ทางเฟส ( $\phi_0$ ) ของทิศทาง X และ Y และเปรียบเทียบขนาดระหว่าง  $E_x$  และ  $E_y$  ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของ แสงโพลาริเซชันได้ดังนี้คือ แสงโพลาริซ์ชนิดเชิงเส้น (Linearly Polarized Light) แสงโพลาริซ์ชนิด วงกลม (Circularly Polarized Light) และแสงโพลาริซ์ชนิดวงรี (Elliptically Polarized Light) โดยจะ กล่าวถึงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

## 2.2 ชนิดของแสงโพลาริซ์

### 2.2.1 แสงโพลาริซ์ชนิดเชิงเส้น

ในที่นี้จะพิจารณาว่าแสงเป็นส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากโพลาริเซชัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับเฉพาะคลื่นตามขวางเท่านั้น ดังนั้นจากการที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตามแกน Z จะสามารถแสงโพลาริซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน X ได้ดังนี้

$$\vec{E}_x = E_{0x} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \hat{i} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $E_{0x}$  เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า และ  $\hat{i}$  เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน X และในทำนองเดียวกันแสงโพลาริซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน Y สามารถเขียนได้ดังนี้

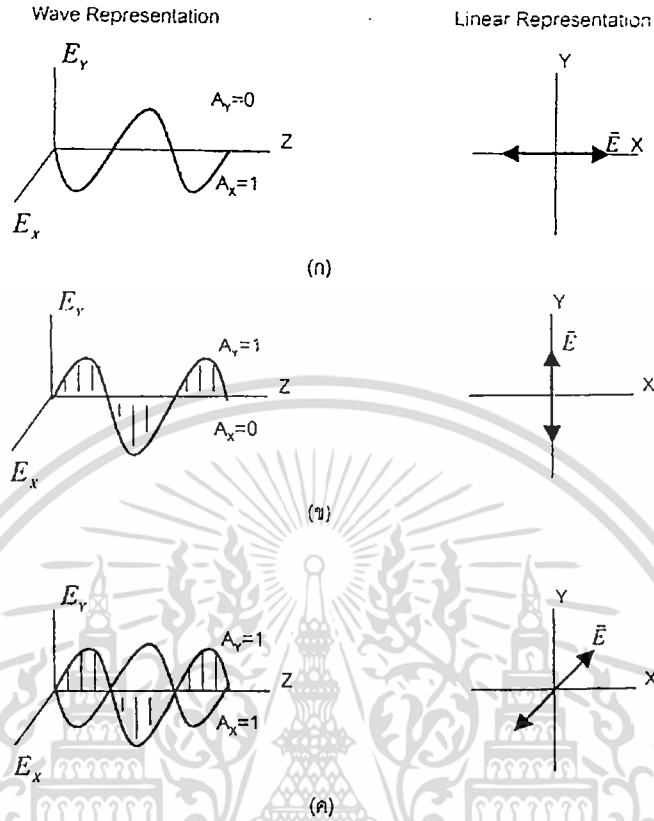
$$\vec{E}_y = E_{0y} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \hat{j} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\hat{j}$  เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน Y สนามไฟฟ้าของแสงโพลาริซ์ชนิดเชิงเส้นสามารถกระทำ ในารเคลื่อนที่และสามารถแสดงในรูปของผลรวมของเวกเตอร์  $\vec{E}_x$  และ  $\vec{E}_y$  ได้เป็น

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_x + \vec{E}_y \\ &= [E_{0x} \hat{i} + E_{0y} \hat{j}] \sin[kz - \omega t + \phi_0] \end{aligned} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีแกนโพลาไรเซชันทำมุมใดๆ กับทิศทางในระนาบ XY สามารถแสดงได้โดยส่วนประกอบทั้งสองตามแกน X และ Y ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งความสัมพันธ์ของขนาดส่วนประกอบทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดการทำมุมกับแกนโพลาไรเซชัน



รูปที่ 2.3 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป (ก) ตามแกน X (ข) ตามแกน Y (ค) ทำมุม 45° กับแกน X ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามในส่วนประกอบของทั้งสองแกนจะต้องมีค่าความถี่เชิงมุม  $\omega$  เหมือนกัน และมีค่าของเฟส  $\phi_0$  เหมือนกันหรือต่างกันเท่ากับ  $\pi$  และต่อไปจะพิจารณาผลของการต่างกันของเฟสจากส่วนประกอบทั้งสองในกรณีอื่นๆ

2.2.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม

ในกรณีที่แอมพลิจูดของคลื่นในส่วนประกอบของแกนที่ตั้งฉากกันนั้นเท่ากัน กล่าวคือ  $E_{0x} = E_{0y} = E_0$  และมีความต่างเฟส  $\Delta\phi = \pm \pi/2$  จะได้ว่า

$$\vec{E}_x(z, t) = \hat{i}E_0 \cos(kz - \omega t) \tag{2.9}$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน  $\vec{E}_y(z, t) = \hat{j}E_0 \sin(kz - \omega t)$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์(2.10) การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีสมการคลื่นรวมเป็นดังนี้

$$\vec{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) + \hat{j} \sin(kz - \omega t)] \quad (2.11)$$

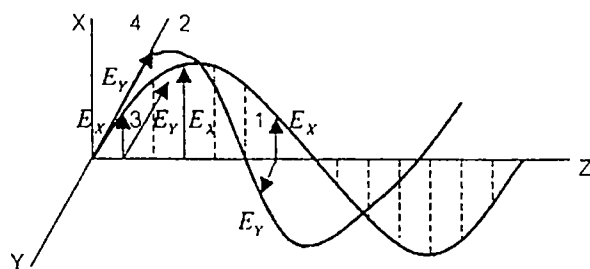
จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของ  $\vec{E}$  คือ  $(\vec{E} \cdot \vec{E})^{1/2} = E_0$  เป็นค่าคงที่ แต่ทิศของ  $\vec{E}$  เปลี่ยนไปตามเวลาโดยไม่อยู่ในระนาบหนึ่งดังเช่นในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งใดๆ  $Z_0$  บนแกน เมื่อ  $t=0$   $\vec{E}$  จะอยู่บนแกนที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นแกนอ้างอิง (Reference) ดังนั้น

$$\vec{E}_x = \hat{i} E_0 \cos(kz_0) \quad (2.12)$$

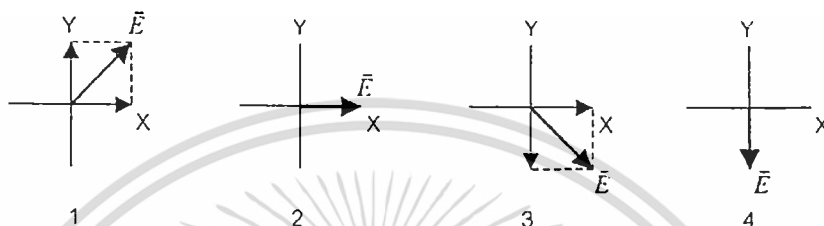
และ

$$\vec{E}_y = \hat{j} E_0 \sin(kz_0) \quad (2.13)$$

ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง  $t = kz_0 / \omega$  จะได้ว่า  $\vec{E}_x = \hat{i} E_0 \cdot \vec{E}_y = 0$  และ  $\vec{E}$  อยู่ในแกน X คลื่นรวม  $\vec{E}$  จึงหมุนตามเข็มนาฬิกาด้วยความถี่เชิงมุม  $\omega$  โดยมีทิศสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของแสงตรงไปยังตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดแสงหรืออาจกล่าวได้ว่า  $\vec{E}_y$  นำ  $\vec{E}_x$  อยู่  $\pi/2$  เรเดียน ซึ่งหมายความว่า  $\vec{E}_y$  จะมีค่าสูงสุดก่อนที่  $\vec{E}_x$  จะมีค่าสูงสุดล่วงหน้าไปก่อนถึง 1 ใน 4 ของแต่ละรอบ จึงเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าหมุนเป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกา และเวกเตอร์  $\vec{E}$  จะหมุนไปครบรอบ โดยแสงจะพุ่งไปข้างหน้าเท่ากับความเร็วหนึ่งช่วงคลื่น ซึ่งจะเรียกแสงที่มีลักษณะสถานะโพลาไรเซชันแบบนี้ว่า แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา (Right Circularly Polarization: RCP) โดยมีเฟส  $\phi = +\pi/2$



(น)



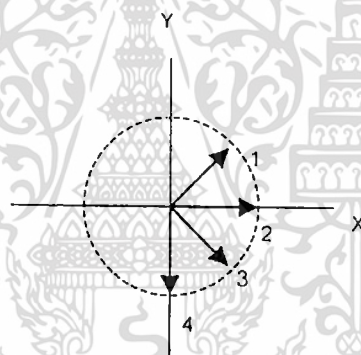
1

2

3

4

(ง)

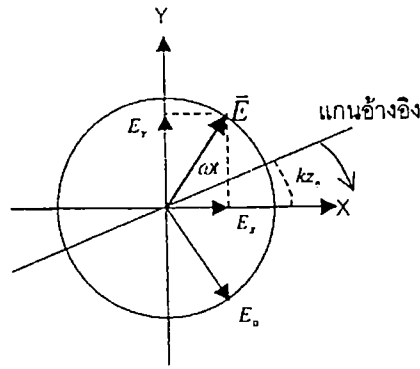


(ค)

รูปที่ 2.4 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

- (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน  $90^\circ$
- (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)
- (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการหมุนของเวกเตอร์ไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา

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

$$\vec{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t)] \quad (2.14)$$

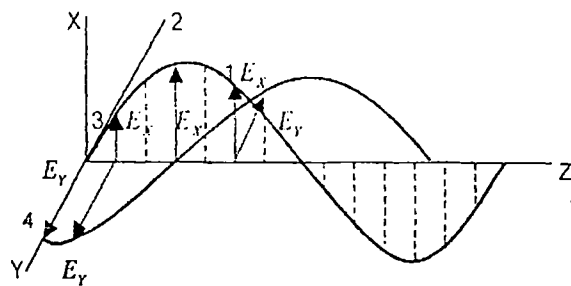
จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดไม่ได้ต่างไปจากกรณีข้างต้น แต่  $\vec{E}$  จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาจึงเรียกว่าเป็น แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามซ้าย (Left Circularly Polarization: LCP) ซึ่ง  $\vec{E}_y$  จะตามหลัง  $\vec{E}_x$  ไปเป็น 1 ใน 4 ของแต่ละรอบ ทำให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 2.6

พิจารณาโดยทั่วๆ ไป จะพบว่าสถานะโพลาไรซ์ชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้จะเป็นไปได้ เมื่อเฟส  $\phi$  มีค่าต่างๆ กันตามลำดับดังต่อไปนี้

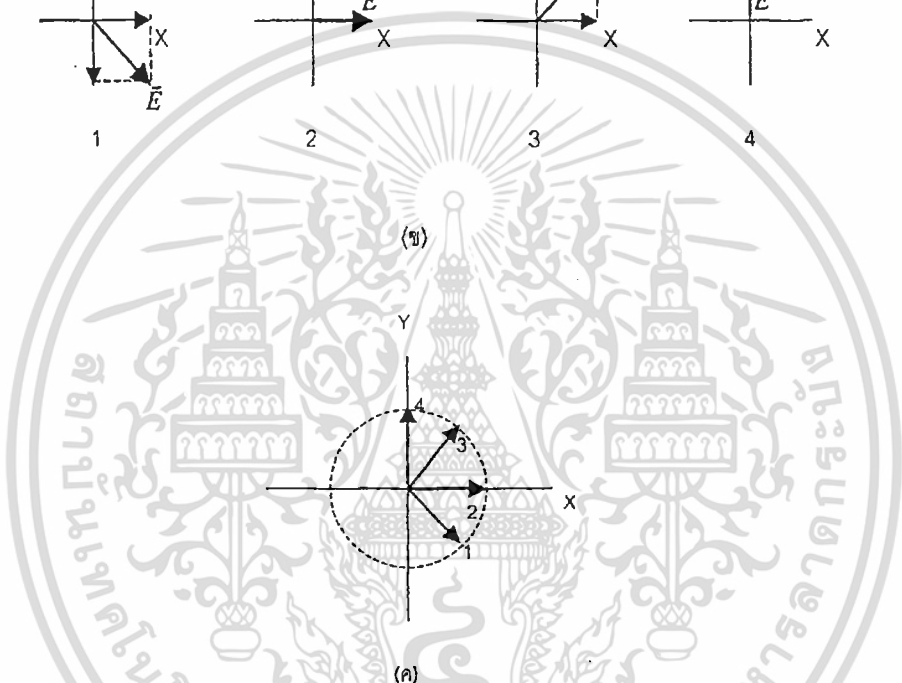
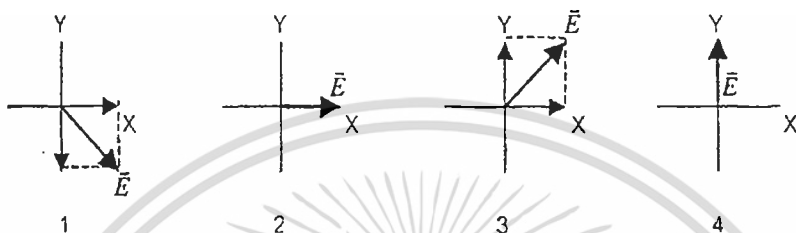
เมื่อ  $\phi = +\pi/2 + 2m\pi$  โดยที่  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  คือชนิดวงกลมตามขวา

เมื่อ  $\phi = -\pi/2 + 2m\pi$  โดยที่  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  คือชนิดวงกลมตามซ้าย

ถ้านำแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้ซึ่งมีแอมพลิจูดเท่ากันมารวมกัน ก็จะกลายเป็นโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นไป



(n)



รูปที่ 2.6 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

- (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน  $90^\circ$   
 (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)  
 (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

2.2.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

จากการพิจารณาที่ผ่านมารวมกันในส่วนประกอบของแสงโพลาไรซ์ที่มีส่วนประกอบของเฟสเหมือนกันหรือต่างกัน  $\pi$  นั้น แสงโพลาไรซ์จะเป็นชนิดเชิงเส้น ในกรณีที่เฟสต่างกัน  $\pi/2$  หรือ  $-\pi/2$  และมีแอมพลิจูดเท่ากันจะเป็นส่วนประกอบของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม แต่ถ้าส่วนประกอบในการรวมกันนั้นทำให้ไม่เท่ากันจะเป็นกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

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

$$\vec{E}_x = E_{0x} \cos(kz - \omega t) \hat{i} \tag{2.15}$$

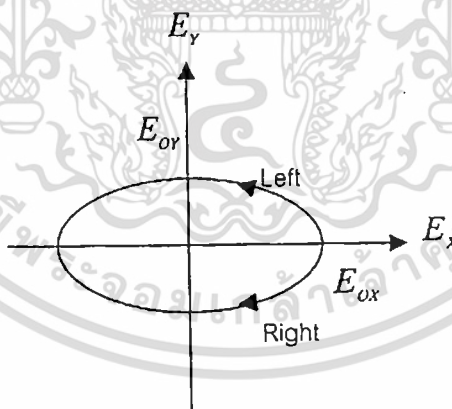
และ

$$\vec{E}_y = E_{0y} \cos(kz - \omega t + \phi) \hat{j} \tag{2.16}$$

หรือเขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = \cos^2(kz - \omega t) + \cos^2(kz - \omega t + \phi) = 1 \tag{2.17}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์นี้ คือสมการวงรีที่มีแกนหลักเป็น  $2E_{0x}$  และ  $2E_{0y}$  ตามแนวแกน X กับแนวแกน Y ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 โดยเมื่อ  $\phi = +\pi/2$  สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามขวา แต่ถ้า  $\phi = -\pi/2$  สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามซ้าย



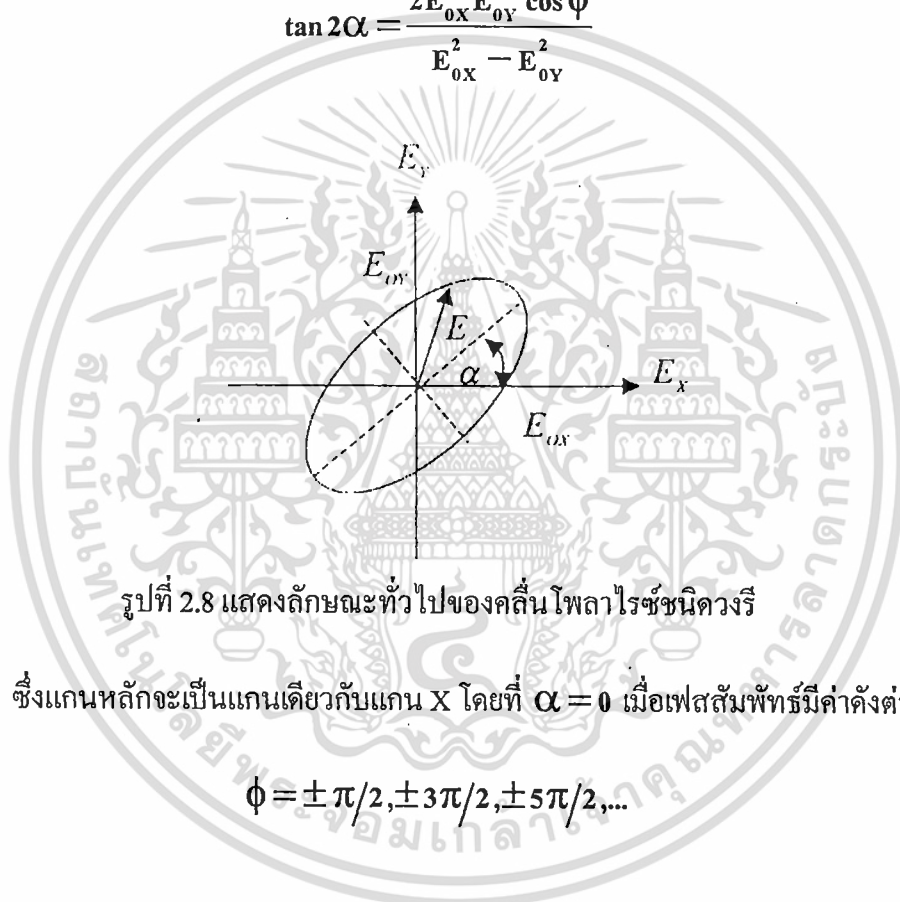
รูปที่ 2.7 แสดงการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับ โพลาไรเซชันชนิดวงรี

ในกรณีทั่วไปสมการของวงรีจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos\phi = \sin^2\phi \quad (2.18)$$

โดยที่แกนหลัก (Major Axis) จะทำมุม  $\alpha$  กับแกน X ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{0x}E_{0y}\cos\phi}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2} \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี

ซึ่งแกนหลักจะเป็นแกนเดียวกับแกน X โดยที่  $\alpha = 0$  เมื่อเฟสสัมพันธ์มีค่าดังต่อไปนี้

$$\phi = \pm\pi/2, \pm3\pi/2, \pm5\pi/2, \dots$$

และจะได้ว่า

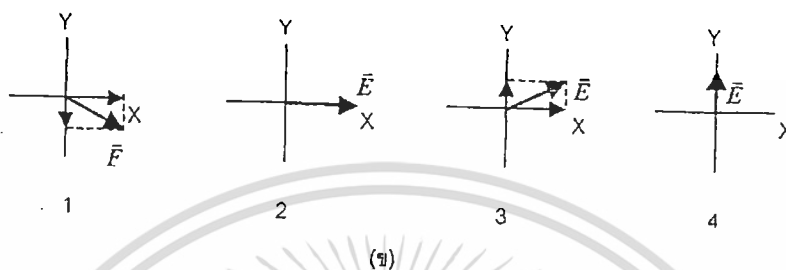
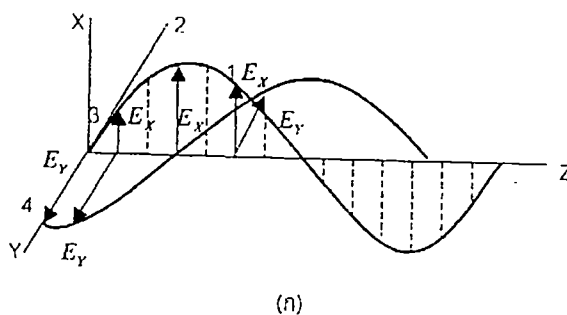
$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = 1 \quad (2.20)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าตรงกับที่ได้ทำการพิจารณาแล้วในความสัมพันธ์ ตามสมการ (2.17) และในกรณีที่  $E_{0x} = E_{0y}$  จะได้ว่า  $E_x^2 + E_y^2 = A_x^2$  เป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของโพลาริซชันนิค วงกลมนั่นเอง และถ้าเฟสสัมพันธ์ มีค่าเป็นจำนวนเท่าของ จะได้ว่าสมการ (2.18) จะกลายเป็น

$$E_y = \pm \frac{E_{0y}}{E_{0x}} E_x \quad (2.21)$$

ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของโพลาริซชันเชิงเส้นที่มีความชันเป็น  $\pm E_{0y}/E_{0x}$  และในรูปที่ 2.9 นี้จะเป็นการแสดงลักษณะของคลื่นแสงโพลาริซชันนิควงรีตามซ้าย





- รูปที่ 2.9 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ
- (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดต่างกันและเฟสต่างกัน  $90^\circ$
  - (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)
  - (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

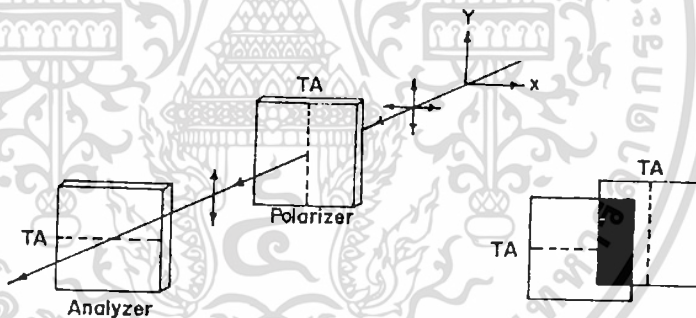
## 2.3 การทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์

อาจกล่าวได้ว่าอันตรกิริยาระหว่างแสงกับสสารที่มีสมบัติทางแสงไม่สมมาตรในแนวตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของแสง จะส่งผลให้เกิดแสงโพลาไรซ์ได้ ขบวนการที่สำคัญในการทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์ อาจแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

### 2.3.1 Polarization by Absorption

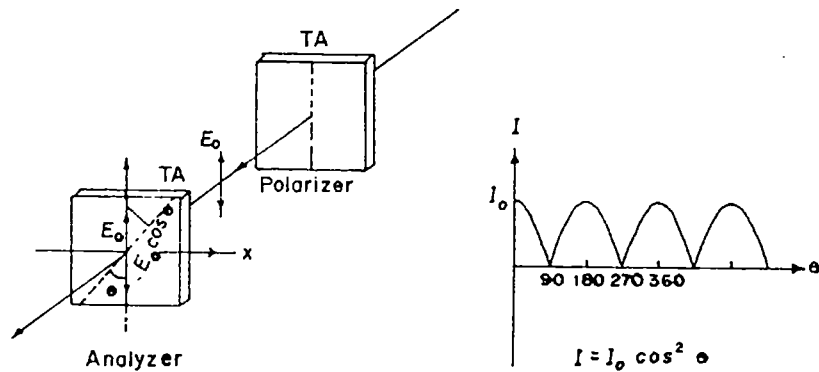
Dichroism — การทำให้เกิดโพลาไรเซชัน โดยการดูดกลืนแบบเลือก ไโคโครอิกโพลาไรเซอร์ (Dichroic polarizer) จะเลือกดูดกลืนแสงที่มีสนามไฟฟ้าในแนวตั้งแนวหนึ่ง ตามสมบัติเฉพาะของสารประเภทไโคโครอิก ดังนั้นโพลาไรเซอร์นี้จะมีเฉพาะแสงที่มีสนามไฟฟ้าในแนวตั้งตั้งฉากกับแนวที่ถูกดูดกลืนเท่านั้นที่ผ่านออกไปได้ แนวของสนามไฟฟ้าที่แสงผ่านไปได้นี้ เรียกว่า Transmission axis หรือ TA ของโพลาไรเซอร์นั่นเอง สำหรับโพลาไรเซอร์เชิงเส้นในแนวของ TA สถานะทาง (Ideal polarizer) แสงที่ผ่านไปได้จะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวของ TA สถานะทางโพลาไรเซชันของแสงนี้สามารถตรวจสอบได้ โดยการใช้ไโคโครอิกโพลาไรเซอร์อีกชิ้นหนึ่ง มาทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์ หรือ analyzer ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ถ้า TA ของตัววิเคราะห์ทำมุม  $90^\circ$  กับ TA ของโพลาไรเซอร์ จะไม่มีแสงใดๆ ผ่านตัววิเคราะห์ออกไปได้ และเราเห็นเป็นสีดำบนตัววิเคราะห์ เมื่อหมุนตัววิเคราะห์ไปจะมีแสงผ่านออกมาได้มากขึ้นตามลำดับ จนถึงค่าสูงสุดขณะที่ TA ของตัววิเคราะห์ขนานกับ TA ของโพลาไรเซอร์ ถ้าให้  $I_0$  แทน irradiance สูงสุดของแสงที่ผ่านออกมาก และถ้าให้  $\theta$  เป็นมุมระหว่าง TA ของทั้งสอง จะได้ค่า irradiance สำหรับแต่ละค่า  $\theta$  เป็นไปตาม Malus' law คือ

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$



รูปที่ 2.10 แสดงการวางโพลาไรเซอร์และตัววิเคราะห์ในลักษณะที่ TA ตั้งฉากกัน

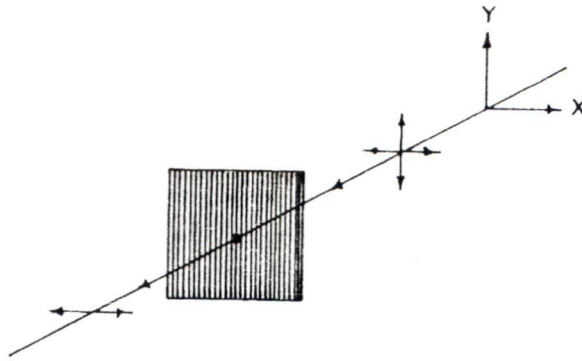
เราสามารถเข้าใจ Malus' law ได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.11 ซึ่งแสดงสนามไฟฟ้าของแสงที่ผ่านโพลาไรเซอร์และอนาไลเซอร์ ถ้า  $E_0$  เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่ผ่านโพลาไรเซอร์ จะได้ว่าแอมพลิจูดของแสงที่ผ่าน อนาไลเซอร์มีค่า  $E_0 \cos \theta$  และ irradiance จะแปรตามกำลังสองของแอมพลิจูดนี้



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าที่ผ่านโพลาไรเซอร์และอนาไลเซอร์

การอธิบายพฤติกรรมของสารไดโครอิกที่มีการดูดกลืนแสงในแนวหนึ่งและปล่อยให้แสงในแนวที่ตั้งฉากกันผ่านไปได้นี้ อาจทำได้โดยเปรียบเทียบกับกรรณการทดลองโคไซน์ไมโครเวฟดังรูปที่ 2.12 ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในย่าน 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตะแกรงลวดในแนวตั้งที่มีระยะระหว่างซี่ตะแกรงน้อยกว่าความยาวคลื่นของไมโครเวฟ จะพบว่าถ้าไมโครเวฟนี้มีสมบัติโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวตั้งหรือแนวเดียวกับเส้นลวดในตะแกรง จะไม่มีคลื่นไมโครเวฟผ่านตะแกรงออกมาได้ หรืออาจออกมาได้น้อยมาก ในทางกลับกันถ้าไมโครเวฟผ่านออกไปได้ ปรากฏการณ์นี้อธิบายได้ด้วยอันตรกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับลวดโลหะ ซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับสารไดโครอิกโพลาไรเซอร์ กล่าวคือ ในลวดโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระซึ่งจะสั่นไปมาภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าของไมโครเวฟ อิเล็กตรอนที่สั่นนี้จะทำตัวเสมือนไดโพลปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในทุกทิศทาง ยกเว้นทิศของการสั่น เมื่อรวมคลื่นที่เข้ามาและที่เกิดจากไดโพลทั้งหมด จะพบว่าเกิดการหักล้างกันหมด ไม่มีคลื่นออกไปข้างหน้าเลย ส่วนกรณีของคลื่นที่เข้ามามีทิศการสั่นในแนวราบ หรือ แนวตั้งฉากกับเส้นลวด การสั่นของอิเล็กตรอนจะให้สนามออกมาหักล้างกับสนามที่เข้ามาเพียงเล็กน้อย จึงทำให้มีคลื่นออกมาด้านหน้าได้มากกว่าในกรณีแรก

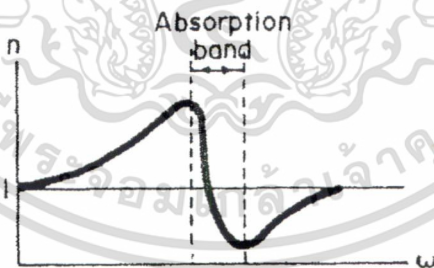
ในกรณีของคลื่นแสง ส่วนที่มีการนำไฟฟ้าที่เทียบได้กับเส้นลวดนั้น จะต้องมึระยะชิดกันกว่าในกรณีของไมโครเวฟ เนื่องจากความยาวคลื่นแสงสั้นกว่าของไมโครเวฟมาก สารไดโครอิกที่ใช้ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงในลักษณะนี้ คือ แผ่นโพลาไรซ์ชนิด H ซึ่งสร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2481 โดย E.H. Land (นักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน ค.ศ. 1909-) การสร้างแผ่นโพลาไรซ์ชนิดนี้ ทำโดยให้แผ่นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [poly(vinyl alcohol)] ร้อนแล้วยืดออก จะทำให้โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนเรียงตัวในทิศการยืด จากนั้นก็นำไอโอดีนและอะตอมมาฝังตามแนวการยืดนี้ เพื่อให้ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเส้นสวดตั้งกล่าว นอกจากนี้ยังมีสารไดโครอิกที่เกิดตามธรรมชาติด้วย เช่น แร่ทัวร์มาลีน (tourmaline) กล่าวโดยสรุป สมบัติของสารไดโครอิกที่สำคัญ คือ ในสารนี้อิเล็กตรอนมีการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าในทิศที่ตั้งฉากกัน



รูปที่ 2.12 แสดงผลของตะแกรงลวดต่อไมโครเวฟ ซึ่งจะมีการดูดกลืนในแนวตั้งได้ดี ถ้าความยาวคลื่นของไมโครเวฟมีค่ามากกว่าระยะระหว่างเส้นลวดในตะแกรง

2.3.2 Polarization by Refraction

การหักเหเชิงซ้อน — การเกิดโพลาไรเซชันด้วยดัชนีหักเหสองค่า สารประเภทหักเหสองแนว (Birefringence) เป็นสารที่ทำให้เกิดการหักเห 2 ทิศทาง กล่าวคือ ลำแสงตกกระทบลำหนึ่งจะกระทำให้เกิดลำแสงหักเห 2 ลำ อันเนื่องมาจากการที่สารพวกนี้มีดัชนีหักเห 2 ค่า จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ทราบแล้วว่า การที่แรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในสารใดโครอิกมีค่าไม่เท่ากันในทุกทิศทาง ทำให้แอมพลิจูดของคลื่นที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนเหล่านี้ภายใต้การกระตุ้นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากันในทุกทิศทางด้วย และทำให้เกิดการดูดกลืนคลื่นที่เท่ากันในทุกทิศทาง ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความถี่ของคลื่นที่มากระตุ้นจะต้องอยู่ในย่านที่เรียกว่าแถบการดูดกลืน (Absorption band) ของสารนั้น รูปที่ 2.13 แสดงแถบการดูดกลืนในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหกับความถี่ ซึ่งในแถบนี้ค่า  $dn/d\omega$  มีค่าน้อยกว่าศูนย์ หรือเรียกว่าเป็นย่านที่มีการกระจายวิปริต (Anomalous dispersion) โดยปกติแถบนี้มักจะอยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ต ในแสงที่มองเห็นได้สารพวกนี้จึงมักจะโปร่งใส ในกรณีเช่นนี้ถึงแม้ว่าจะแรงยึดเหนี่ยวที่กระทบต่ออิเล็กตรอนไม่เท่ากันในทุกทิศทาง ก็จะไม่มผล



ต่อการดูดกลืนแสงในย่านที่มองเห็นได้ นั่นคือ ไม่แสดงสมบัติไดโครอิก

รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของดัชนีหักเหกับความถี่ในย่านใกล้ๆ กับแถบการดูดกลืน

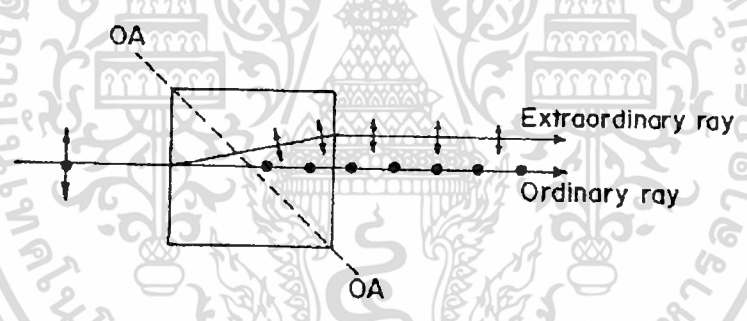
การที่แรงยึดเหนี่ยวในแนวแกน X และ Y มีค่าไม่เท่ากันนี้ ทำให้เกิดความแตกต่างของกราฟดังรูปที่ 2.13 คือจะมีกราฟสำหรับ  $n_x$  ที่สอดคล้องกับสนามไฟฟ้าในแนวแกน X และสำหรับ  $n_y$  ที่สอดคล้องกับสนามไฟฟ้าในแนวแกน Y ทั้งนี้เนื่องมาจากคลื่นในทั้งสองทิศทางจะมีความเร็ว  $\phi_x$  และ  $\phi_y$  ต่างกัน ผลที่ได้คือสารเหล่านี้จะมีสมบัติการหักเหสองแนว เราอาจกล่าวโดยสรุปว่า ในสารไดโครอิก และสารหักเหสองแนวนี้ มีสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ 2 ค่า คือ ดัชนีหักเห  $n$  และ extinction coefficient  $k$  ( $k$  นี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรตามสัมประสิทธิ์การดูดกลืน) ทั้ง 2 ค่านี้ ขึ้นกับความถี่ของแสง และ 2 ค่านี้ประกอบกันเป็นดัชนีหักเหเชิงซ้อน  $\tilde{n}$  โดยที่

$$\tilde{n} = n + ik \tag{2.22}$$

สำหรับสารไดโครอิก  $n_x = n_y$  และ  $k_x \neq k_y$  ส่วนสารหักเหสองแนว  $n_x \neq n_y$  และ  $k_x = k_y$  สมบัติทั้งสองของสารเหล่านี้ต่างก็เกี่ยวข้องกับ โครงสร้างผลึกที่ไม่เหมือนกันในทุกทิศทาง และการที่เฟสเปลี่ยนกับค่าความถี่ด้วย เช่น สารแคลไซต์ (Calcite) จะเป็นสารหักเหสองแนว ในย่านแสงที่แลเห็นได้ แต่จะเป็นสารไดโครอิกในย่านอินฟราเรด สารอื่นๆ ที่เป็นสารหักเหสองแนว ในย่านแสงที่แลเห็นได้ ได้แก่ ควอตซ์ น้ำแข็ง ไมกา และเซลโลเฟน เป็นต้น

การหักเหสองแนว ถึงแม้ว่าสนามไฟฟ้าทั้งสองของแสงจะเคลื่อนที่ผ่านผลึกออกมาด้วยเฟสที่ต่างกัน แต่ลำแสงก็ยังคงเป็นลำเดียว ถ้าเราจัดให้ Optical Axis หรือ แกนทัศน ของแท่งผลึกทำมุมใดๆ กับแนวของลำแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ลำแสงจะมีการแยกเป็น 2 แนวภายในผลึกทำให้ลำแสงที่ผ่านออกมามี 2 ลำด้วย ลำหนึ่งเรียกว่า Ordinary อีกลำหนึ่งเรียกว่า Extraordinary ลำแสงทั้งสองมีพฤติกรรมแตกต่างกันคือ ลำแสง Ordinary จะเป็นไปตามกฎของสเนลล์ ในขณะที่ลำแสง Extraordinary ไม่เป็นไปตามกฎของสเนลล์ ถ้าเรานำแท่งแคลไซต์ ไปวางทับตัวอักษรหรือจุดบนกระดาษ จะสามารถมองเห็นตัวอักษรหรือจุดเป็น 2 จุด เมื่อมองลงมาจากด้านบน และเมื่อหมุนแท่งแคลไซต์ไป ตัวอักษรหรือจุดที่เกิดจากลำแสง Extraordinary จะหมุนไปรอบตัวอักษรหรือจุดที่เกิดจากลำแสง Ordinary ที่อยู่

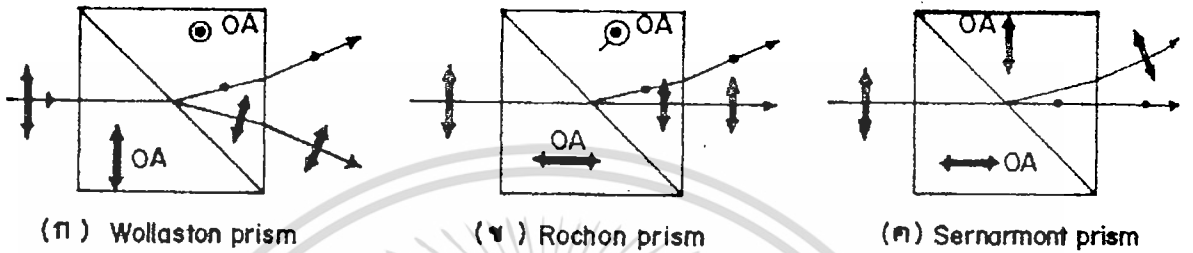


กับที่

รูปที่ 2.14 แสดงการหักเหสองแนว

ลำแสงทั้งสองลำที่ผ่านแท่งผลึกออกมานี้ต่างก็เป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในทิศที่ตั้งฉากกัน โดยลำแสง Ordinary จะมีสนามไฟฟ้าในทิศตั้งฉากกับ OA และเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว  $V_{\perp}$  ทำให้มีดัชนีหักเหเป็น  $n_o = n_{\perp} = C/V_{\perp}$  ส่วนลำแสง Extraordinary มีสนามไฟฟ้าในทิศที่ตั้งฉากกับสนามของลำแสง Ordinary ภายในผลึก ลำแสง Extraordinary มีการแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งตั้งฉากกับ OA และเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว  $V_{\perp} = C/n_{\perp}$  เช่นเดียวกับลำแสง Ordinary ส่วนที่สองขนานกับ OA และเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว  $V_{\parallel}$  และมีดัชนีหักเห  $n_e = n_{\parallel} = C/V_{\parallel}$

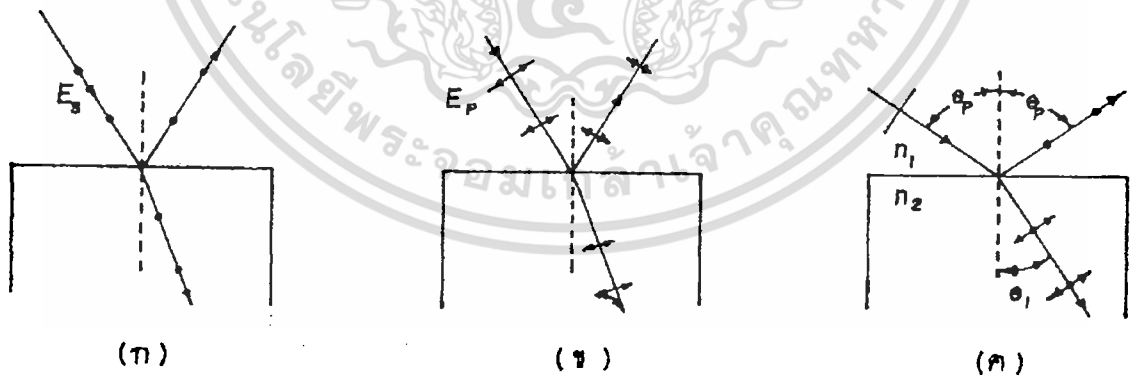
นอกจากอุปกรณ์ที่กล่าวมาแล้ว เรายังอาจสร้างอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์ได้อีกหลายแบบ รูปที่ 2.15 แสดงการนำแท่งควอตซ์มาทำเป็นโพลาไรเซอร์อีก 3 ชนิด โดยมีได้อาศัยหลักการสะท้อนกลับหมด หากแต่มีการจัดให้ OA ของปริซึมแต่ละอันวางตัวตั้งฉากกัน เป็นผลให้ลำแสงหักเหที่ผ่านออกไปทั้งสองลำแสงเป็นลำแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในทิศตั้งฉากกัน และมีแนวที่ต่างกันเราจึงสามารถเลือกใช้แต่ละแนวเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตามต้องการได้



รูปที่ 2.15 แสดงปริซึมที่ทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์แบบต่างๆ

2.3.3 Polarization by Reflection

โพลาไรเซชันจากการสะท้อนที่ผิวไดอิเล็กตริก แสงสะท้อนจะมีสมบัติทางโพลาไรเซชันอยู่เสมออย่างน้อยก็จะเป็นแสงโพลาไรซ์บางส่วน เราสามารถตรวจสอบได้โดยการสังเกตแสงสะท้อนผ่านแผ่นโพลาไรเซอร์ที่หมุนรอบแนวของแสงสะท้อน เมื่อแนวสนามไฟฟ้าของแสงตั้งฉากกับ TA ของโพลาไรเซอร์ จะมองเห็นความเข้มของแสงลดลง



รูปที่ 2.16 แสดงแสงการสะท้อนของแสงที่ผิวไดอิเล็กตริก

(ก) TE mode (ข) TM mode (ค) มุมตกกระทบมีค่าเท่ากับมุมบริวสเตอร์

เพื่อให้เข้าใจหลักการของปรากฏการณ์ข้างต้น พิจารณารูปที่ 2.16 ซึ่งแสดงถึงลำแสงตกกระทบบนผิวที่ต่าง ๆ บนไดอิเล็กทริกผิวเรียบ ถ้าแทนแสงไมโครเวฟด้วยสนามไฟฟ้า 2 สนามที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน สนามหนึ่งตั้งฉากกับระนาบแสงตกกระทบบน (รูปที่ 2.16 (ก)) อีกสนามหนึ่งขนานกับระนาบแสงตกกระทบบน (รูปที่ 2.16 (ข)) ระนาบของแสงตกกระทบบนก็คือระนาบที่ประกอบด้วยลำแสงและเส้นปกติที่ลากผ่านจุดที่แสงตกกระทบบน ในที่นี้ก็คือระนาบของกระดาศขนานนั่นเอง ถ้าเราใช้สัญลักษณ์  $E_s$  และ  $E_p$  แทนสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากและขนานกับระนาบของแสงตกกระทบบนตามลำดับ ในกรณีของ  $E_s$  นี้ อาจจะเรียกว่าเป็น Transverse Electric (TE) mode และ  $E_p$  เรียกว่า Transverse Magnetic (TM) mode

พิจารณากรณี TE mode ดังรูปที่ 2.16 (ก) บทบาทของ  $E_s$  ที่กระทำต่ออิเล็กตรอนที่อยู่ผิวไดอิเล็กทริกจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสั่นในทิศเดียวกันคือทิศที่ตั้งฉากกับกระดาศ การสั่นนี้จะทำให้เกิดแสงใน 2 ทิศทาง คือแสงสะท้อนและแสงหักเห แสงทั้งสองลำนี้จะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น ในทิศตั้งฉากกับกระดาศด้วยเช่นกัน ทิศทางของลำแสงสะท้อนและลำแสงหักเหจะเป็นทิศที่ตั้งฉากกับแนวการสั่นของอิเล็กตรอน

พิจารณากรณี TM mode ดังรูปที่ 2.16 (ข) จากทิศทางของลำแสงหักเห เราอาจสรุปได้ว่าสนามไฟฟ้าในตัวกลางมีทิศตั้งฉากกับแนวของลำแสงและเนื่องจากแนวของแสงสะท้อนจะใกล้เคียงกับแนวการสั่นของอิเล็กตรอน ทำให้การแผ่คลื่นจากการสั่นในแนวของแสงสะท้อนมีน้อย หรือกล่าวได้ว่าเราจะพบ  $E_p$  เพียงเล็กน้อยในลำแสงสะท้อน และถ้าเราพิจารณาทั้ง TE กับ TM mode พร้อมๆ กัน จะพบว่าลำแสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์บางส่วน โดยมีส่วนของ  $E_s$  เป็นส่วนใหญ่ และเนื่องจากลำแสงตกกระทบบนจะมีการแบ่งพลังงานให้แก่  $E_p$  กับ  $E_s$  เท่าๆ กัน ดังนั้นจะได้ว่าลำแสงหักเหจะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มี  $E_p$  เป็นส่วนใหญ่

## 2.4 Kerr Effect

### 2.4.1 ความเป็นมา

ในปี ค.ศ. 1875 John Kerr ได้ค้นพบวัสดุที่กลายเป็น Birefringence เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูง ปรากฏการณ์นี้จึงมีชื่อเรียกว่า Kerr Electro-optic effect ปรากฏการณ์นี้ถูกจำกัดว่าต้องอยู่ในค่าสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงหรือเป็นวัสดุที่เป็นแบบเฉพาะของปรากฏการณ์นี้ ในความจริงแล้วปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเพราะว่า สนามไฟฟ้ามีผลกระทบต่อการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของวัสดุให้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวแบบกลับปัดกลับมาได้ ในปรากฏการณ์ Kerr effect จะเกิดขึ้นกับวัสดุไม่ว่าจะอยู่ในสถานะก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ในการที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงได้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุ (Kerr coefficient) และในปัจจุบันได้มีการนำปรากฏการณ์นี้ มาศึกษาวิจัยและประยุกต์เพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เนื่องจากปรากฏการณ์นี้มีค่าการตอบสนองที่เร็วมาก

### 2.4.2 ทฤษฎีและหลักการ

ลักษณะของ Birefringence คือวัสดุที่มีการหักเหสองแนว โดยที่มีลำแสงเข้ามาตกกระทบเพียงลำแสงเดียว แสงที่ออกมากำหนดให้เป็นลำแสง Ordinary ray (O-ray) และ Extraordinary ray (E-ray) โดยที่ลำแสงของ O-ray จะมีการหักเหเป็นไปตามกฎของ Snell แต่ E-ray จะมีการหักเหไม่เป็นไปตามกฎของ Snell โดยที่ลำแสง O-ray จะมีแนวการสั่นของสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับแนวการสั่นของสนามไฟฟ้าของลำแสง E-ray และทั้งสองแนวตั้งฉากกับทิศทางของแสง และใน Birefringence crystal สามารถแยกออกเป็นสองแบบคือ แบบแกนเดียวและแบบสองแกน โดยรูปร่างของผลึกแบบแกนเดียวจะมีโครงสร้างขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางของแกนทัศน (optical axis) ถ้าในการวัดเจาะจงการจัดเรียงตัวของผลึกจะมีค่าคงที่ตามแนวของแกนทัศน ทั้งนี้มีความหมายว่า ผลึกแกนเดียวจะมีการเปลี่ยนแปลงแนวของแกนทัศน เพราะฉะนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแกนทัศน ก็จะทำให้โครงสร้างของผลึกมีการหมุนตามแนวของแกนทัศนทำให้แสงเกิดการหมุนตามการทดลอง

การตอบสนองของ Birefringence เป็นธรรมชาติของผลึก ซึ่งจะนำไปสู่ทฤษฎีของการโพลาไรซ์อยู่ในผลึกจำพวกนี้อยู่แล้ว คือ O-ray และ E-ray ผลึกจำพวก Birefringence จะมีค่าดัชนีหักเหอยู่สองค่า คือ  $n_o$  และ  $n_e$  ค่าดัชนีทั้งสองจะทำให้เกิดการหักเหของ O-ray และ E-ray ที่ต่างกัน ซึ่งจะทำให้การสั่นของ E-ray กับลำแสง O-ray เกิดความต่างเฟส  $\phi$  ระหว่างแสงสองลำ

$$\text{ความต่างเฟส} \quad \phi = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_o - n_e) \quad (2.23)$$

เมื่อ  $d$  คือระยะทางเดินแสงในผลึกและ  $\lambda$  คือความยาวคลื่นแสงที่อยู่ในผลึก

ค่าสัมประสิทธิ์ของ Kerr หรือ Kerr coefficient ของวัสดุแต่ละชนิดมีผลต่อความแตกต่างของค่าดัชนีหักเห ( $\Delta n$ ) โดยในผลึก Birefringence สามารถที่จะบอกได้ในเทอมของความแตกต่างของ

ค่าดัชนีหักเห ของ O-ray และ E-ray ซึ่งหาได้ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta n = K\lambda E^2 \quad (2.24)$$

เมื่อ  $E$  เป็นค่าสนามไฟฟ้าในเทอมของการเปลี่ยนเฟส

$$\phi = 2LK\pi V^2 / d^2 \quad (2.25)$$

เมื่อ  $K$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของ Kerr

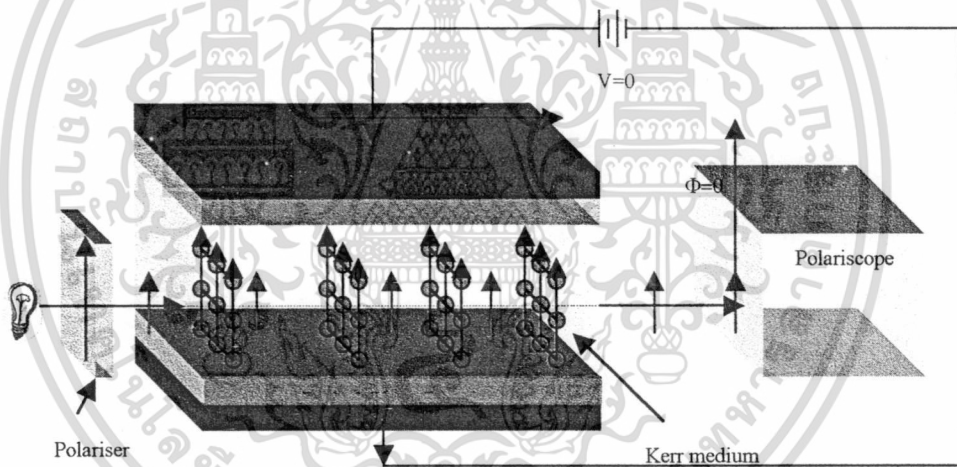
$L$  คือความยาวของขั้วไฟฟ้า

$V$  คือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว

$d$  คือระยะทางเดินแสงในผลึก

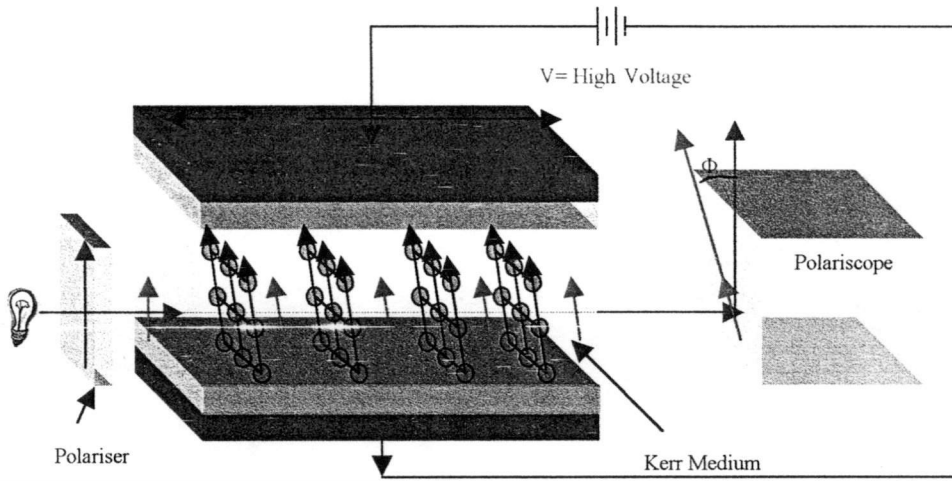
$\phi$  คือค่าเฟสที่เปลี่ยนไป

เราสามารถวัดการเปลี่ยนเฟสได้โดยใช้ Polariscope ดังรูป และนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Kerr ได้



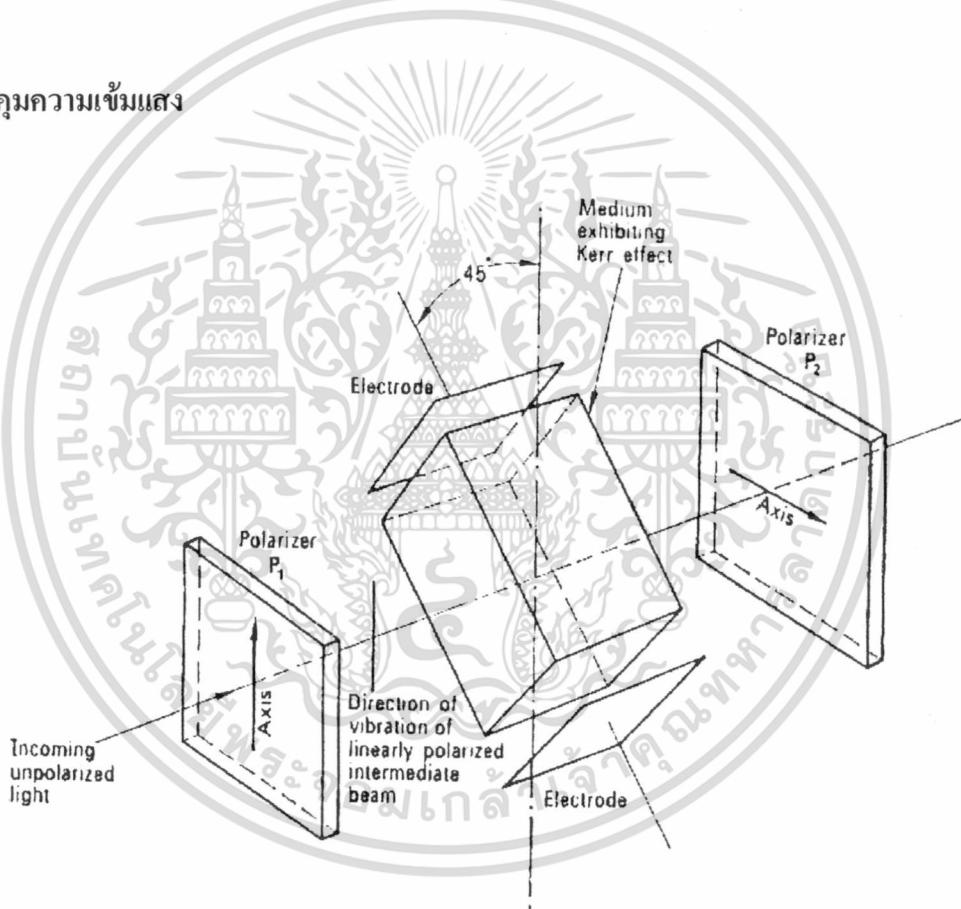
รูปที่ 2.17 แสดงแนวแกนที่สั้นของ Kerr cell และแกน โพลาไรซ์ของแสงที่ผ่าน Kerr cell ขณะที่  $E = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงแนวแกนทัศนของ Kerr cell และแกนโพลาไรซ์ของแสงที่ผ่าน Kerr cell ขณะที่มี  $E \neq 0$

2.4.3 การควบคุมความเข้มแสง



รูปที่ 2.19 แสดงการควบคุมความเข้มแสง

จากรูปถ้าตั้งค่า  $P_2$  ทำมุม  $45^\circ$  กับสนามไฟฟ้าที่ให้กับ Kerr cell ดังนั้นค่าการส่งผ่าน (T) ของ การโพลาไรซ์เชิงเส้น  $P_1$  กับสนามไฟฟ้าทำมุม  $45^\circ$  ดังรูปจะได้ สูตรการทะลุผ่านคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = \sin^2 \Delta\phi / 2 \quad (2.26)$$

ปรากฏการณ์ Kerr Electro-optic effect มีการใช้ควบคุมความเข้มของแสง ได้โดยใช้ ผลึก Birefringence แสดงให้เห็นปรากฏการณ์ Kerr effect ที่ส่งผ่านแสงโพลาไรซ์ในระนาบที่ทำมุมต่างๆ โดยควบคุมความเข้มของสนามไฟฟ้า

#### 2.4.4 การประยุกต์ใช้

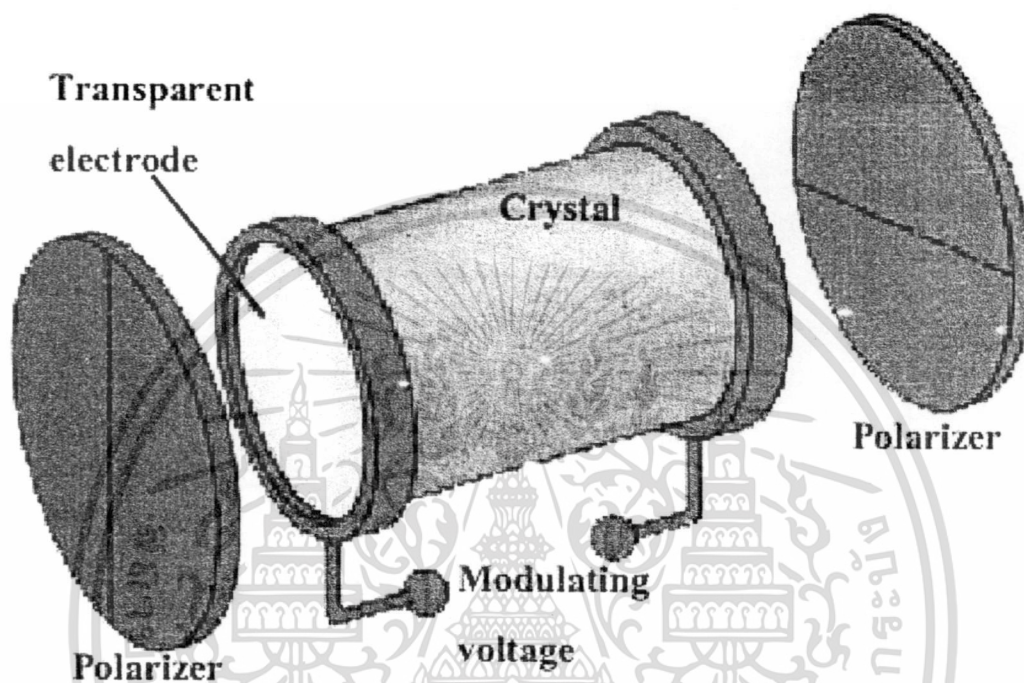
เนื่องจากปรากฏการณ์ Kerr effect เป็นปรากฏการณ์ที่มีค่าการตอบสนองที่มีความรวดเร็วมาก ในระดับ Femto seconds ( $10^{-15}$  sec) ซึ่งสามารถนำข้อดีในจุดนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานหลายๆ เช่น การนำไปเป็น Ultra fast optical shutter เพื่อใช้ในการถ่ายภาพที่มีความไวสูงมากๆ หรือการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการสื่อสาร โดยการประยุกต์ optical shutter ในการสร้าง pulse ของแสง โดยใช้วิธีการส่งข้อมูลเป็น pulse ของแสงจะทำให้มีการเพิ่ม band width ในการส่งข้อมูลให้มีการส่งข้อมูลที่มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น และสามารถใช้ปรากฏการณ์นี้สร้างอุปกรณ์ในการวัดค่าความเร็วของแสง

Substance		K (in units of $10^{-7}$ cm statvolt <sup>-2</sup> )
Benzene	$C_6H_6$	0.6
Carbon disulfide	$CS_2$	3.2
Chloroform	$CHCl_3$	-3.5
Water	$H_2O$	4.7
Nitrotoluene	$C_5H_7NO_2$	123
Nitrobenzene	$C_6H_5NO_2$	220

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ Kerr ในผลึกชนิดต่างๆ

## 2.5 Pockels Cells

ปรากฏการณ์ Pockels จะคล้ายกับปรากฏการณ์ Kerr แตกต่างกันที่ค่าดัชนีหักเหที่เปลี่ยนไปจะเป็นปฏิกิริยาเชิงเส้นกับสนามไฟฟ้า สารตัวอย่าง เช่น KDP (Potassium Dihydrogen Phosphate), KD\*P (Deuterated Potassium Dihydrogen Phosphate) และ LiNbO<sub>3</sub> (Lithium Niobate) ป้อนหาของ Pockels cells คือ เป็นผลึกที่มีราคาสูง และมีขนาดใหญ่



รูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมการทดลอง Pockels cells

โดยทั่วไปผลึก Uniaxial ใช้ c-axis จัดวางขนานกับลำแสง ทำให้ลำแสงขนานกับ Optical axis และตั้งฉากกับส่วนของวงกลม โดยมีค่าดัชนีหักเหเป็น  $n_0$  เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าที่ยังไม่ใส่ค่าสนามผลึกจะเป็น Isotropic แต่เมื่อให้ค่าสนามไฟฟ้า ผลึกจะเป็น Anisotropic

เมื่อไม่มีค่าสนามไฟฟ้า

ค่าสัมประสิทธิ์  $\eta_{ij}$

$$\eta_{ij} = \begin{bmatrix} \eta_1^0 & 0 & 0 \\ 0 & \eta_2^0 & 0 \\ 0 & 0 & \eta_3^0 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ค่าสนามไฟฟ้า

ค่าสัมประสิทธิ์  $\eta_{ij}$  เป็น

$$\eta_{ij} = \begin{bmatrix} \eta_1^0 + \Delta\eta_{11} & \Delta\eta_{12} & \Delta\eta_{13} \\ \Delta\eta_{21} & \eta_2^0 + \Delta\eta_{22} & \Delta\eta_{23} \\ \Delta\eta_{31} & \Delta\eta_{32} & \eta_3^0 + \Delta\eta_{33} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

เมื่อ  $n = 1/\sqrt{\eta}$  และ  $\Delta\eta_{ij} = r_{ijk} E_k$  ผลจากการให้ค่าสนามไฟฟ้าจะทำให้ค่าดัชนีหักเหคำนวณได้ดังนี้

กรณี  $n_1$

$$n_1' = n_1 + \Delta n_1 \quad (2.29)$$

หรือแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{1}{(n_1')^2} &= \left( \frac{1}{n_1^2} + \Delta\eta_{11} \right) \\ &= \frac{1}{n_1^2} \left( 1 + n_1^2 \Delta\eta_{11} \right) \\ n_1' &= n_1 \left( 1 + n_1^2 \Delta\eta_{11} \right)^{-1/2} \end{aligned} \quad (2.30)$$

ให้ค่า  $n_1$  มีค่าน้อย ดังนั้นสมการในวงเล็บเป็น

$$n_1' = n_1 \left( 1 - \frac{1}{2} n_1^2 \Delta\eta_{11} \right) \quad (2.31)$$

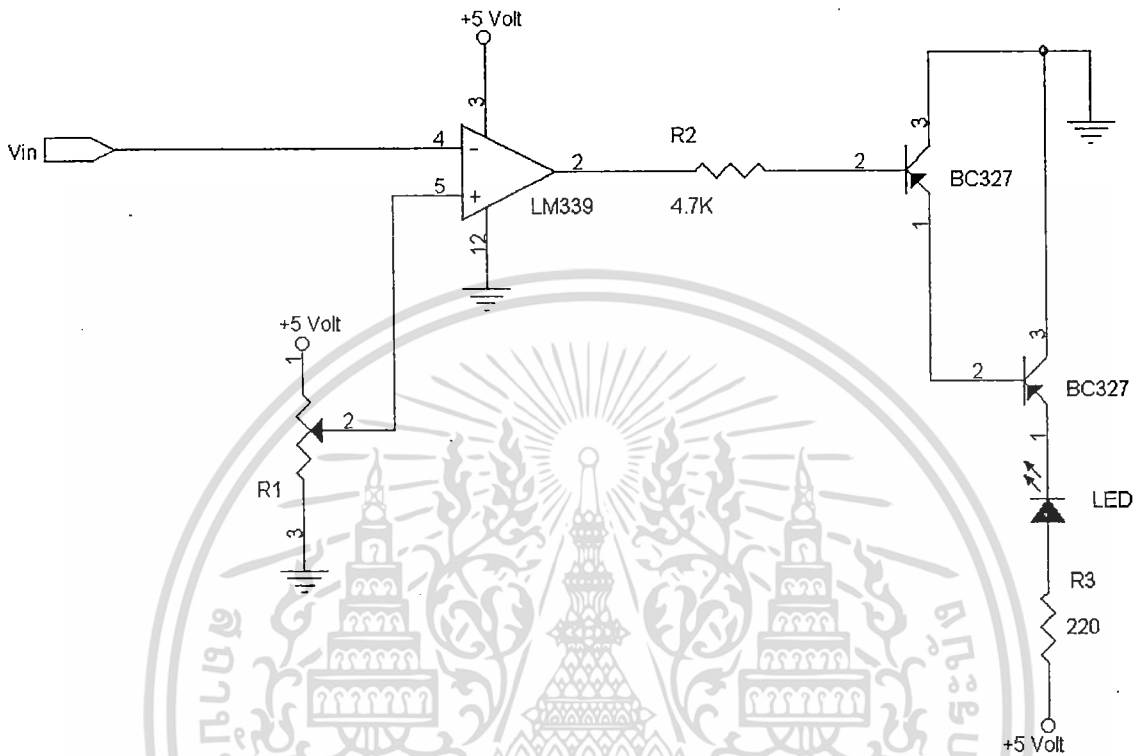
Material	$r_{63}$ (units of $10^{-12}$ m/V)	$n_o$ (approx.)	$V_{\lambda/2}$ (in kV.)
ADP ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ )	8.5	1.52	9.2
KDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	10.6	1.51	7.6
KDA ( $\text{KH}_2\text{AsO}_4$ )	~13.0	1.57	~6.2
KD*P ( $\text{KD}_2\text{PO}_4$ )	~23.3	1.52	~3.4

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าคงที่ Electro-optic (ที่อุณหภูมิห้อง และความยาวคลื่น 546.1 นาโนเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

ค่าความเข้มแสงที่ได้จากตัวตรวจจับ (Detector) ระหว่างค่าปิดสนามไฟฟ้ากับเปิดสนามไฟฟ้าจะมีค่าแตกต่างกัน จากนั้นจะนำสัญญาณไปทำการเปรียบเทียบสัญญาณซึ่งสามารถปรับค่าได้จาก  $R_1$  เพื่อแสดงผล ON-OFF ที่ LED โดยในการทดลองนี้จะต้องทำวงจรเปรียบเทียบ 2 วงจรเพื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ 2 ช่องสัญญาณ



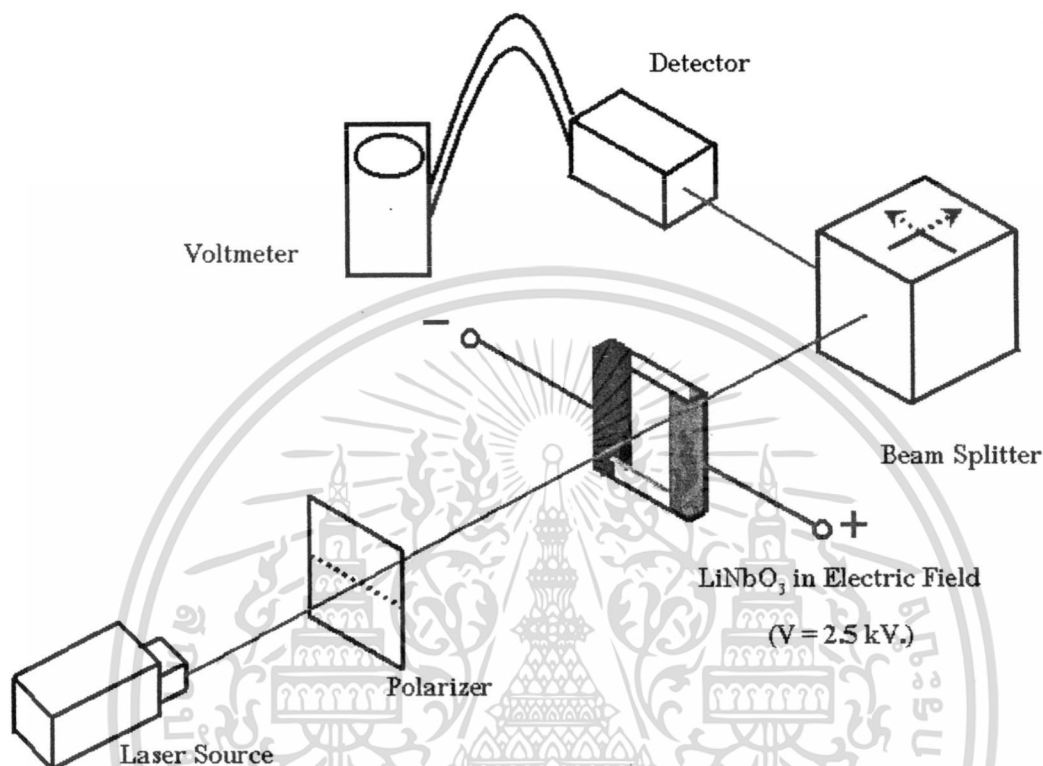
รูปที่ 2.21 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ  
(ดูภาพขยายในภาคผนวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบต (LiNbO<sub>3</sub>)



รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก LiNbO<sub>3</sub> ที่อยู่ในสนามไฟฟ้า ( $V = 2.5 \text{ kV}$ )

#### ส่วนประกอบของการศึกษา

1. แหล่งกำเนิดแสง (Laser Source) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยในระบบการทดลองใช้เลเซอร์แบบฮีเลียม-นีออน ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
2. บีมสปลิตเตอร์ (Beam Splitter) เพื่อแบ่งลำแสงออกเป็น 2 ลำ โดยที่ทั้งสองลำแสงจะมีความแตกต่างกันคือ ลำแสงข้างหนึ่งจะมีแสงออกมาน้อย และอีกลำหนึ่งจะมีแสงออกมามาก
3. ผลึกลิเทียมไนโอเบต (LiNbO<sub>3</sub>) เป็นผลึกที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสนามไฟฟ้า และนำไปเคลือบทองทั้ง 2 ด้านโดยการทำขั้วประกบด้านข้าง แล้วต่อขั้วใช้กับสนามไฟฟ้า
4. แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า ในการทดลองนี้ต้องจ่ายแรงดันค่าประมาณ 2500 Volt ให้กับผลึก เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าและนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองต่อไป
5. โพลาไรเซอร์ (Polarizer) เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง
6. ตัวตรวจจับ (Detector) ทำหน้าที่รับแสงที่ออกมาจากผลึกและวัดค่าความเข้มแสงที่ได้รับ จากนั้นจะแสดงค่าออกมาเป็นค่าแรงดัน
7. โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ต่อเข้ากับตัวตรวจจับเพื่อแสดงค่าแรงดันที่ตัวตรวจจับรับ

#### แสงได้จากผลึก

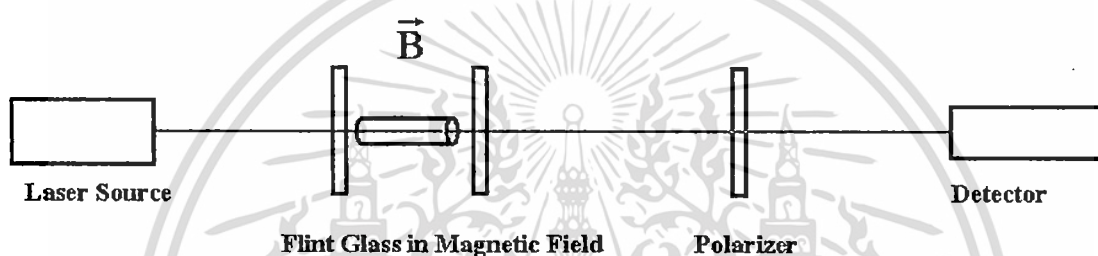
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการทดลอง

1. ให้แสงเลเซอร์ผ่านโพลาไรเซอร์เพื่อตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง
2. แสงที่ผ่านโพลาไรเซอร์แล้วจะผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบทขณะที่ยังไม่ใส่ค่าสนามไฟฟ้า
3. ให้แสงที่ผ่านผลึกแล้วเข้าไปในบีมสปลิตเตอร์โดยจัดวางให้ลำแสงด้านที่มีความเข้มแสงมากเข้าไปในตัวตรวจจับ สังเกตผลการทดลองจากโวลต์มิเตอร์
4. ทำการใส่ค่าสนามไฟฟ้า 2.5 kV. และจัดการทดลองเหมือนเดิม สังเกตผลการทดลองจากโวลต์มิเตอร์

## 3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass)

### 3.2.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์



รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์

#### ส่วนประกอบของการศึกษา

1. แหล่งกำเนิดแสง (Laser Source) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยในระบบการทดลองใช้เลเซอร์แบบฮีเลียม-นีออน ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
2. แก้วฟลินท์ (Flint glass) เป็นแก้วที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก
3. แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก ในการทดลองนี้ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าค่าประมาณ 0-4 แอมแปร์ ให้กับขดลวด เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กและนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองต่อไป
4. โพลาไรเซอร์ (Polarizer) เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง
5. ตัวตรวจจับ (Detector) ทำหน้าที่รับแสงที่ออกมาจากผลึกและวัดค่าความเข้มแสงที่ได้รับ จากนั้นจะแสดงค่าออกมาเป็นค่าแรงดัน
6. โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ต่อเข้ากับตัวตรวจจับเพื่อแสดงค่าแรงดันที่ตัวตรวจจับรับแสงได้จากผลึก

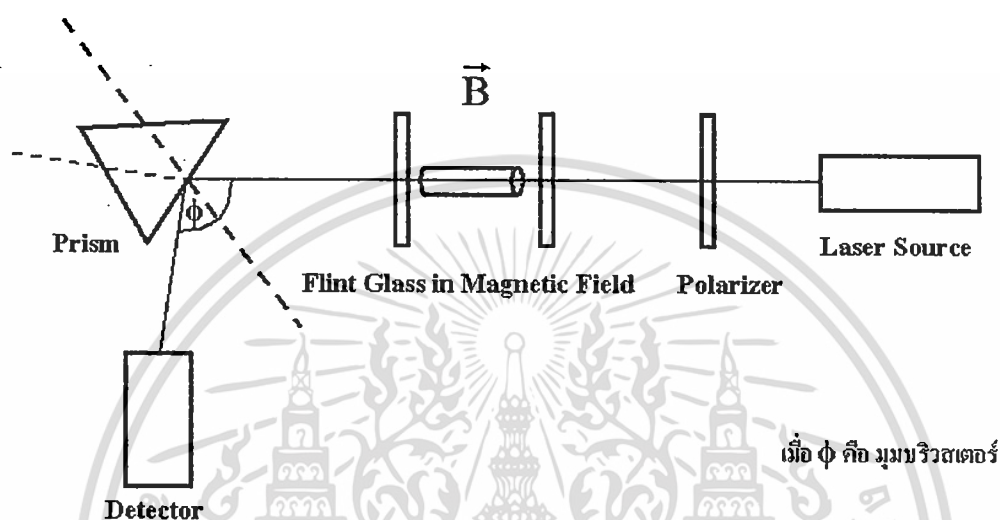
#### วิธีการทดลอง

1. ให้เลเซอร์ผ่านเข้าแก้วฟลินท์โดยยังไม่ใส่ค่ากระแสไฟฟ้า
2. แสงที่ผ่านแก้วฟลินท์จะผ่านเข้าสู่โพลาไรเซอร์ที่ให้ค่าความเข้มแสงต่ำสุดเพื่อตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน
3. แสงจะผ่านเข้าตัวตรวจจับ สังเกตผลการทดลองจากโวลต์มิเตอร์ที่ต่อกับตัวตรวจจับ

4. ให้ค่ากระแสไฟฟ้า 0—4 แอมแปร์ เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก ทำการทดลองเช่นเดิม และสังเกตผลการทดลอง

5. เปลี่ยนมุมโพลาไรเซอร์ไปยังแสงที่มีค่าความเข้มแสงสูงสุดเพื่อตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน และทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง สังเกตผลการทดลอง

### 3.2.2 การศึกษาความเป็นไปได้อันเนื่องจากการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint



glass) โดยใช้หลักการหน้าต่างบริวสเตอร์

รูปที่ 3.3 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้อันเนื่องจากการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ โดยให้แสงที่ออกมาตกกระทบบนที่ปริซึมทำมุมบริวสเตอร์

ส่วนประกอบของการศึกษา

1. แหล่งกำเนิดแสง (Laser Source) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยในระบบการทดลองใช้เลเซอร์แบบฮีเลียม-นีออน ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

2. แก้วฟลินท์ (Flint glass) เป็นแก้วที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก

3. แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก ในการทดลองนี้ต้องจ่ายกระแสค่าประมาณ 0-4 แอมแปร์ให้กับขดลวด เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กและนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองต่อไป

4. ปริซึม (Prism) แสงที่ผ่านแก้วฟลินท์จะตกกระทบบนที่ปริซึมโดยทำมุมบริวสเตอร์

5. โพลาไรเซอร์ (Polarizer) เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง

6. ตัวตรวจจับ (Detector) ทำหน้าที่รับแสงที่ออกมาจากผลึกและวัดค่าความเข้มแสงที่ได้รับ จากนั้นจะแสดงค่าออกมาเป็นค่าแรงดัน

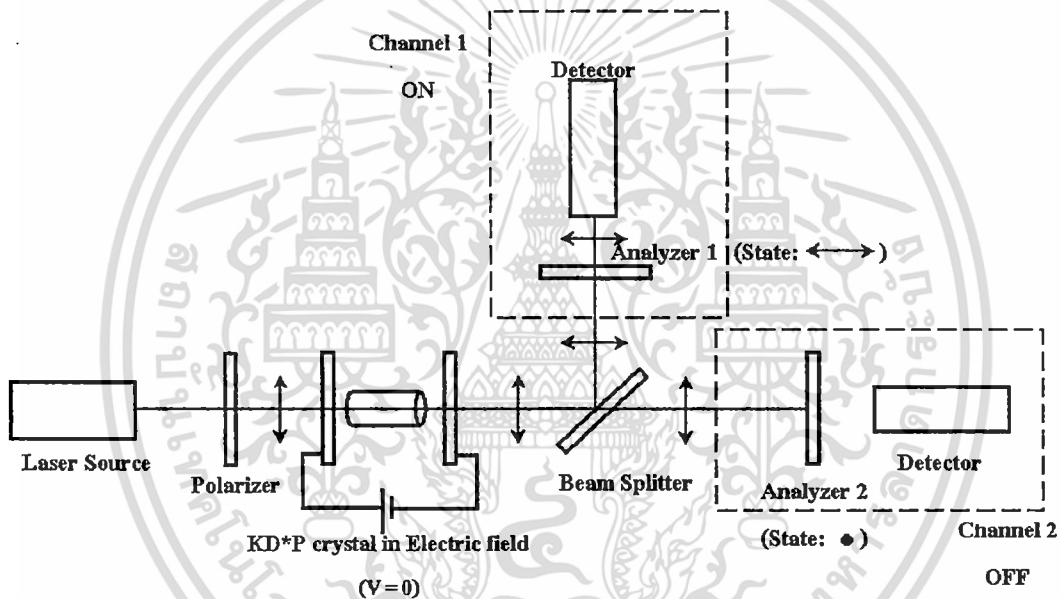
7. โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ต่อเข้ากับตัวตรวจจับเพื่อแสดงค่าแรงดันที่ตัวตรวจจับรับแสงได้จากผลึก

### วิธีการทดลอง

1. ให้เลเซอร์ผ่านโพลาไรเซอร์เพื่อตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง
2. แสงที่ผ่านออกมาจะผ่านเข้าสู่ตัวแก้วฟลินท์ที่ไม่ให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ชัดเจน
3. แสงที่ผ่านออกมาจะทำมุมตกกระทบที่ปริซึม โดยทำมุมปริวิตเตอร์ เพื่อให้เฉพาะแสง TM Mode สะท้อนออกมาเข้าตัวตรวจจับและสังเกตผลการทดลองจากโวลต์มิเตอร์
4. ให้ค่ากระแสไฟฟ้าแก่ขดลวด 0 – 4 แอมแปร์ เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก ทำการทดลองเช่นเดิม และสังเกตผลการทดลองจากโวลต์มิเตอร์

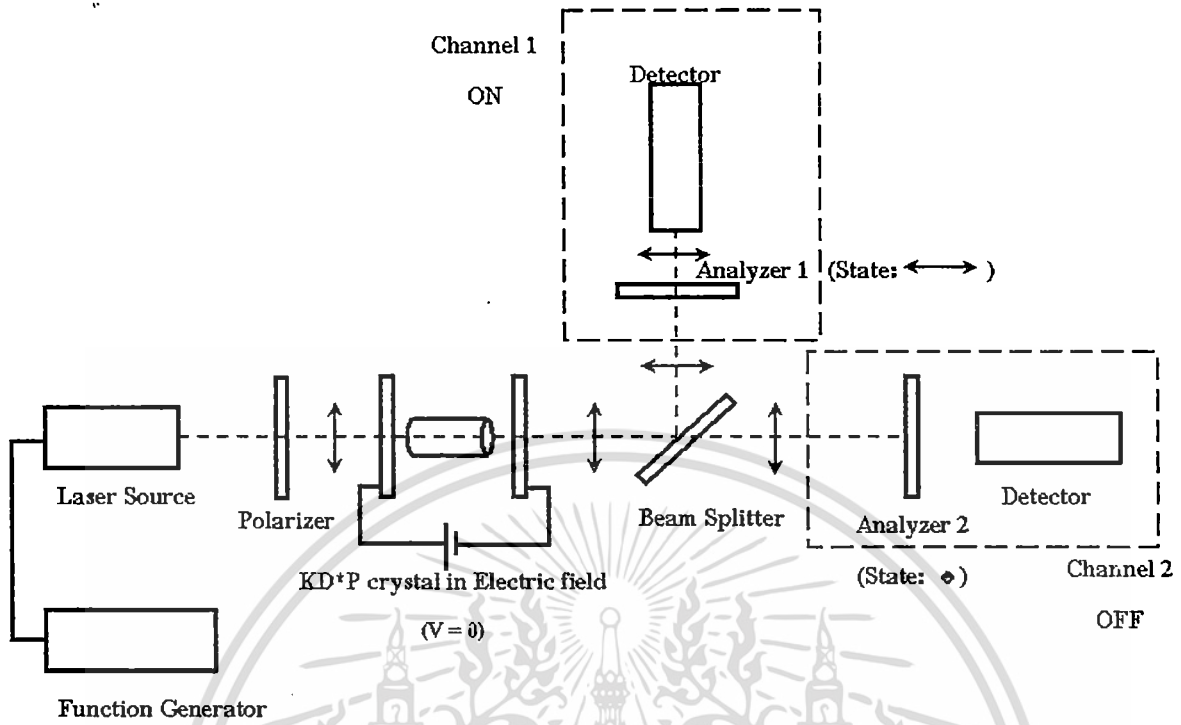
### 3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P

#### 3.3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P



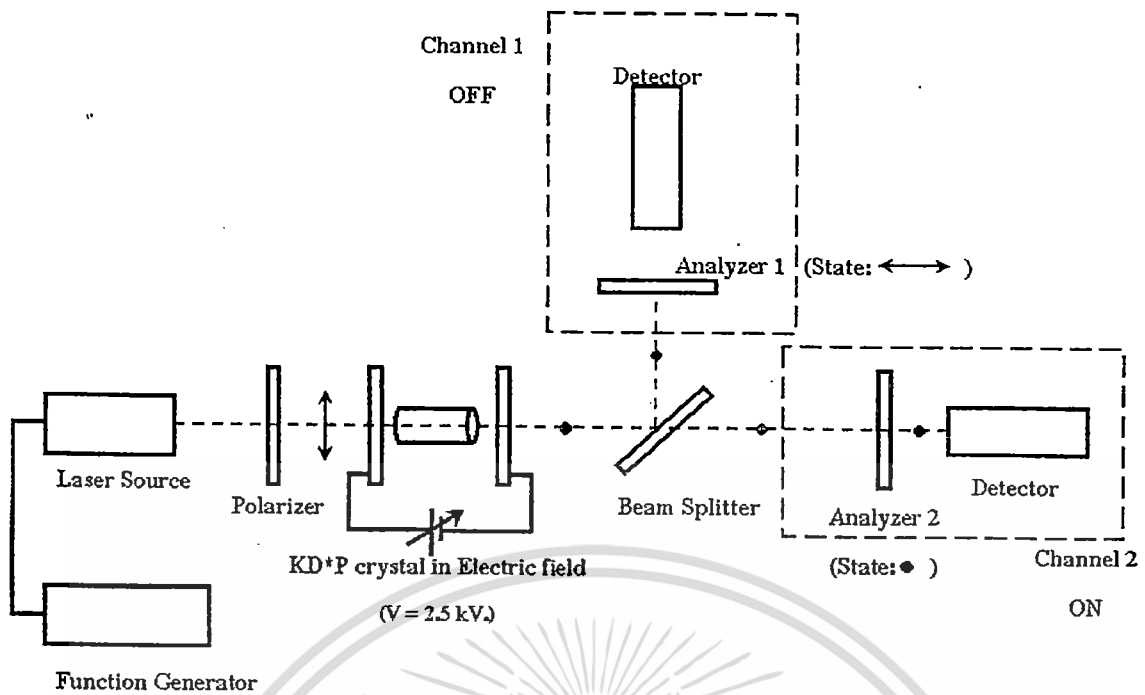
รูปที่ 3.4 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P โดยไม่ใส่ค่าสนามไฟฟ้า ( $V=0$ )

3.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์



รูปที่ 3.6 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ ( $V=0$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงไดอะแกรมศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ ( $V = 2.5 \text{ kV}$ .)

ส่วนประกอบของการศึกษา

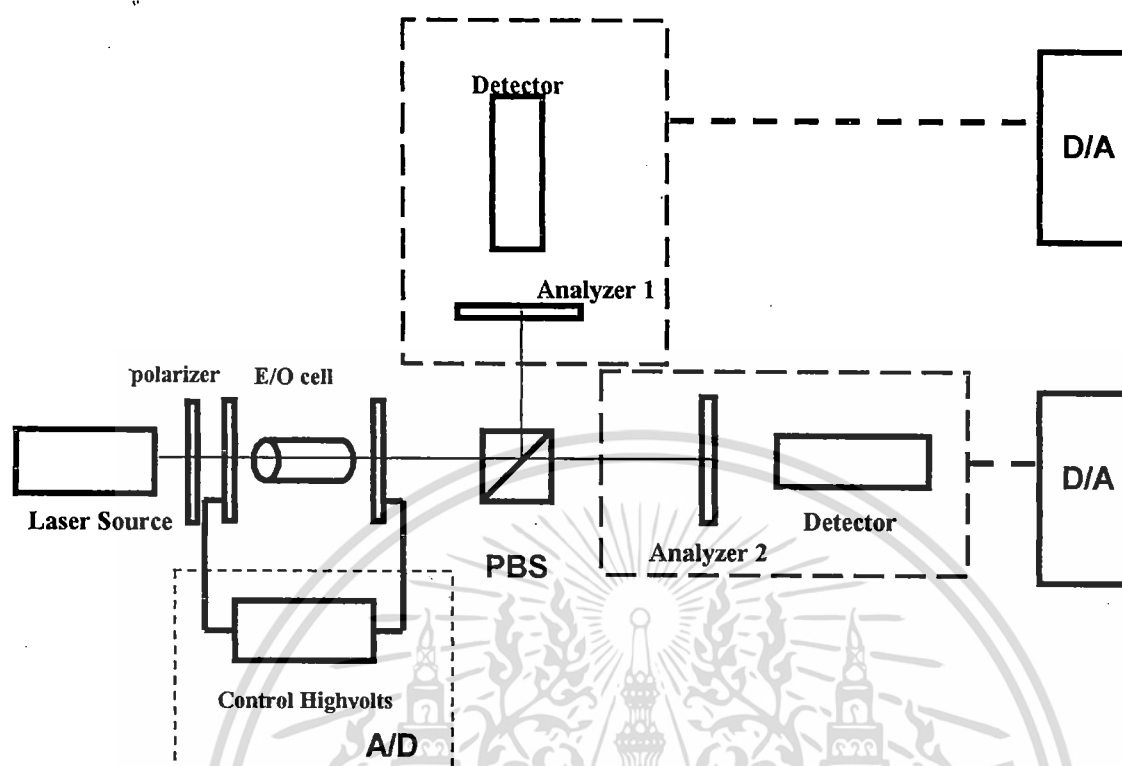
1. แหล่งกำเนิดแสง (Laser Source) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยในระบบการทดลองใช้เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
2. KD\*P Crystal เป็นผลึกที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสนามไฟฟ้า
3. แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า ในการทดลองนี้ต้องจ่ายแรงดันค่าสูง เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้า และนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองต่อไป
4. แหล่งกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้เลเซอร์ออกมาเป็นพัลส์
5. ตัวตรวจจับ (Detector) ทำหน้าที่รับแสงที่ออกมาจากผลึกและวัดค่าความเข้มแสงที่ได้รับ จากนั้นจะแสดงค่าออกมาเป็นค่าแรงดัน
6. โพลาไรเซอร์ (Polarizer) เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง
7. อนาลิเซอร์ (Analyzer) เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง
8. โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ต้องเข้ากับตัวตรวจจับเพื่อแสดงค่าแรงดันที่ตัวตรวจจับรับแสงได้จากผลึก

วิธีการทดลอง

1. ให้แสงเลเซอร์ที่ส่งสัญญาณเป็นพัลส์ผ่านโพลาไรเซอร์เพื่อตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสง
2. แสงที่ผ่านโพลาไรเซอร์ออกมาจะเข้าสู่ผลึก KD\*P โดยยังไม่ให้ค่าสนามไฟฟ้า
3. แสงที่ผ่านผลึกจะเข้าสู่บีมสปลิตเตอร์เพื่อแยกลำแสงออกเป็น 2 ลำแสง จะได้แสง 2 ช่องสัญญาณ
4. โดยแสงทั้ง 2 ลำจะผ่านเข้าสู่อนาลิเซอร์ทั้ง 2 ช่องสัญญาณ แล้วเข้าตัวตรวจจับสัญญาณ สังเกตผลการทดลองจากโวลต์มิเตอร์
5. ให้ค่าสนามไฟฟ้า 2.5 kV. และทำการทดลองเช่นเดิม สังเกตผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 การศึกษาระบบบิตของแสง



## ส่วนประกอบของการศึกษา

1. แหล่งกำเนิดแสง (laser source) ทำหน้าที่เป็นกำเนิดแสง โดยระบบการทดลองใช้เลเซอร์ที่มีความยาวในย่านสีแดง
2. pockels cell เป็นผลึกที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสนามไฟฟ้า
3. แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า ในการทดลองต้องให้แรงดันค่าสูงเพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้า
4. ตัวตรวจวัดแสง (Detector) ทำหน้าที่วัดค่าความเข้มแสงที่ได้รับ
5. โพลาริเซอร์ (Polarizer) เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะ โพลาริซ์ทางแสง
6. อนาไลเซอร์ (Analyzer) เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะ โพลาริซ์ทางแสง

## วิธีทดลอง

1. ให้แสงเลเซอร์ผ่านโพลาริเซอร์เพื่อตรวจสอบสถานะ โพลาริซ์ของแสง
2. แสงที่ผ่าน โพลาริเซอร์เข้าสู่ E/O cell
3. แสงที่ผ่าน pockels cell เข้าสู่โพลาริซ์บีมสปลิตเตอร์เพื่อแยกแสงออกเป็น 2 ช่อง

## สัญญาณ

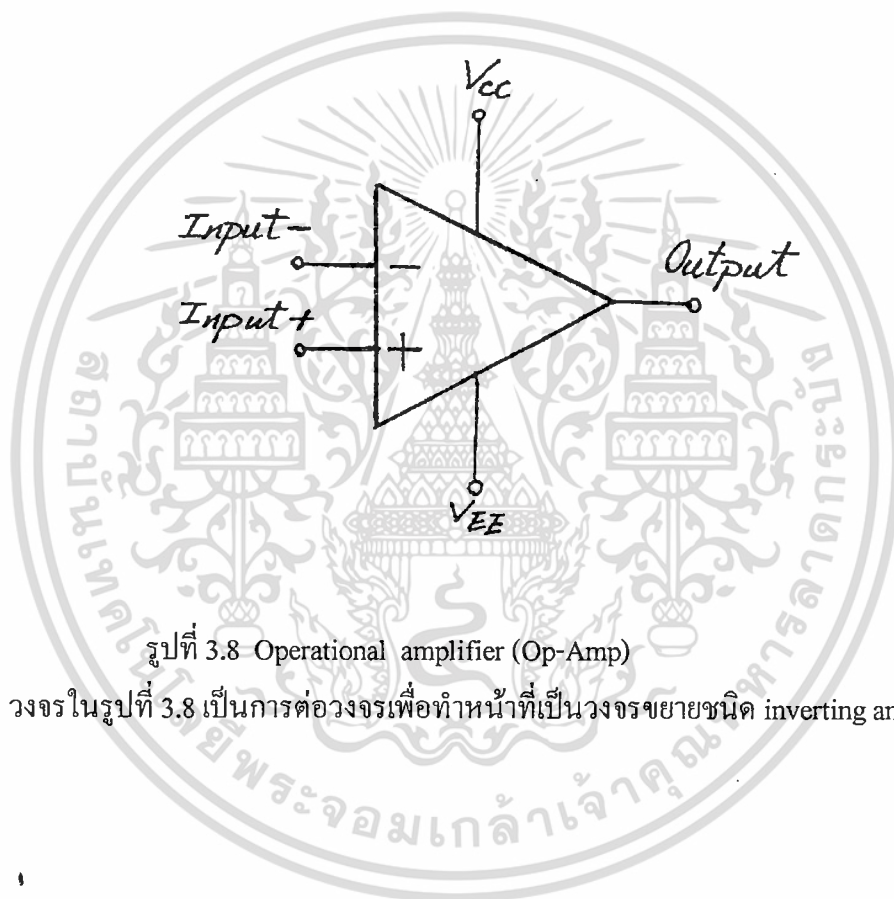
4. โดยที่ลำที่ 1 ผ่านเข้าโพลาริเซอร์และอนาไลเซอร์ตามลำดับ
5. ลำที่ 2 เข้าสู่ผ่านเข้าโพลาริเซอร์และอนาไลเซอร์ตามลำดับ
6. โดยจะทำการแสดงผลที่ Digital to Analog ทั้ง 2 ลำ โดยใช้ชุดควบคุม High volts(A/D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การสร้าง Digital-to-analog converter

วงจร digital-to-analog converter (D/A converter หรือ DAC) และ analog-to-digital converter (A/D converter หรือ ADC) มักประกอบด้วย Operational amplifier (Op-Amp) ซึ่งเป็นวงจรขยายเชิงเส้น (Linear amplifier) มี 2 อินพุต เรียกว่า noninverting input แทนด้วยเครื่องหมาย + และ inverting input แทนด้วยเครื่องหมาย - และมี 1 เอาท์พุท ดังแสดงในรูปที่ 1 Op-amp มีลักษณะพิเศษคือ

- very high open loop gain
- very high input impedance
- very low output impedance

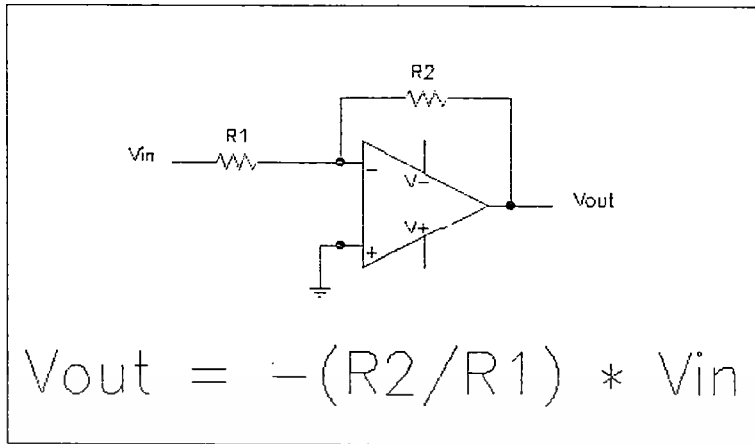


รูปที่ 3.8 Operational amplifier (Op-Amp)

วงจรในรูปที่ 3.8 เป็นการต่อวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรขยายชนิด inverting amplifier วง

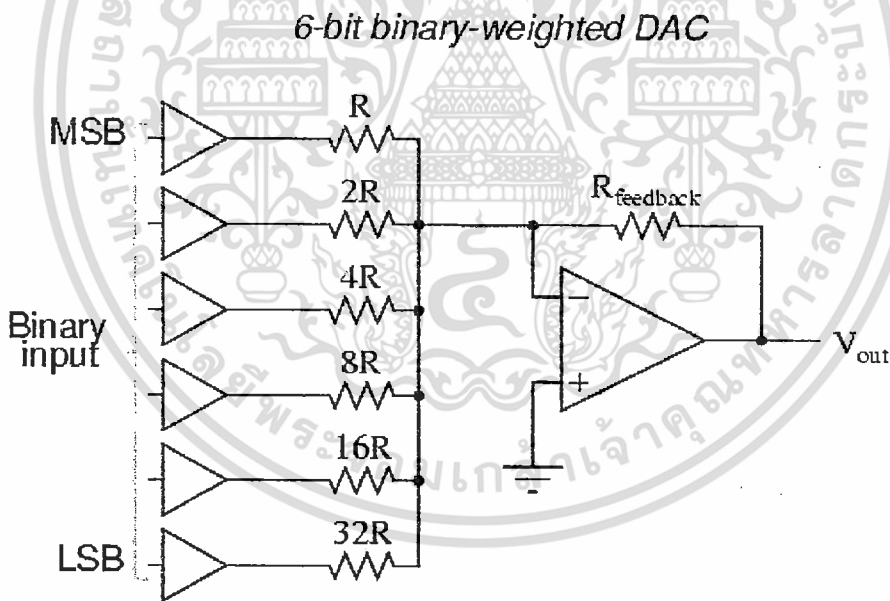
จรนี้

จะมีอัตราขยายโวลเตจ (voltage gain,  $A_v$ ) ดังนี้



### 3.5.1 Binary-weighted-input DAC

วงจร DAC แบบนี้ประกอบด้วย Op-Amp ต่อในลักษณะ summing amplifier ดังรูปที่ 3.9 มีอินพุตเท่ากับจำนวนบิตของรหัสดิจิทัล รหัสดิจิทัลแต่ละบิตจะถูกป้อนเข้ากับแต่ละอินพุตของวงจรจะได้ว่า



รูปที่ 3.9 วงจร Binary-weighted-input DAC ขนาด 6 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทาน  $R$  ที่ใช้ในวงจรจะแปรผกผันกับ binary weight เช่น ค่าความต้านทานต่ำสุด คือ  $R$  จะสมนัยกับ highest binary-weight ( $2^3$ ) และค่า  $R$  จะมีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า สำหรับทุกบิตที่มีนัยสำคัญต่ำลง คือ  $2R$ ,  $4R$  และ  $8R$  สำหรับ binary-weight  $2^2, 2^1, 2^0$  ตามลำดับ

เอาต์พุตของวงจรเป็นแปรผัน โดยตรงกับ กระแส  $I_f$  ซึ่งเป็นผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานทางอินพุต แต่กระแสที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวเป็นสัดส่วน โดยตรงกับ binary-weight (บิตที่มีนัยสำคัญสูงกว่าจะต่อผ่านตัวต้านทานค่าน้อยกว่าจึงมีกระแสไหลมากกว่า) ดังนั้น เอาต์พุตของวงจรจึงเป็นสัดส่วน โดยตรงกับรหัสดิจิตอลที่ป้อนเข้าทางอินพุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

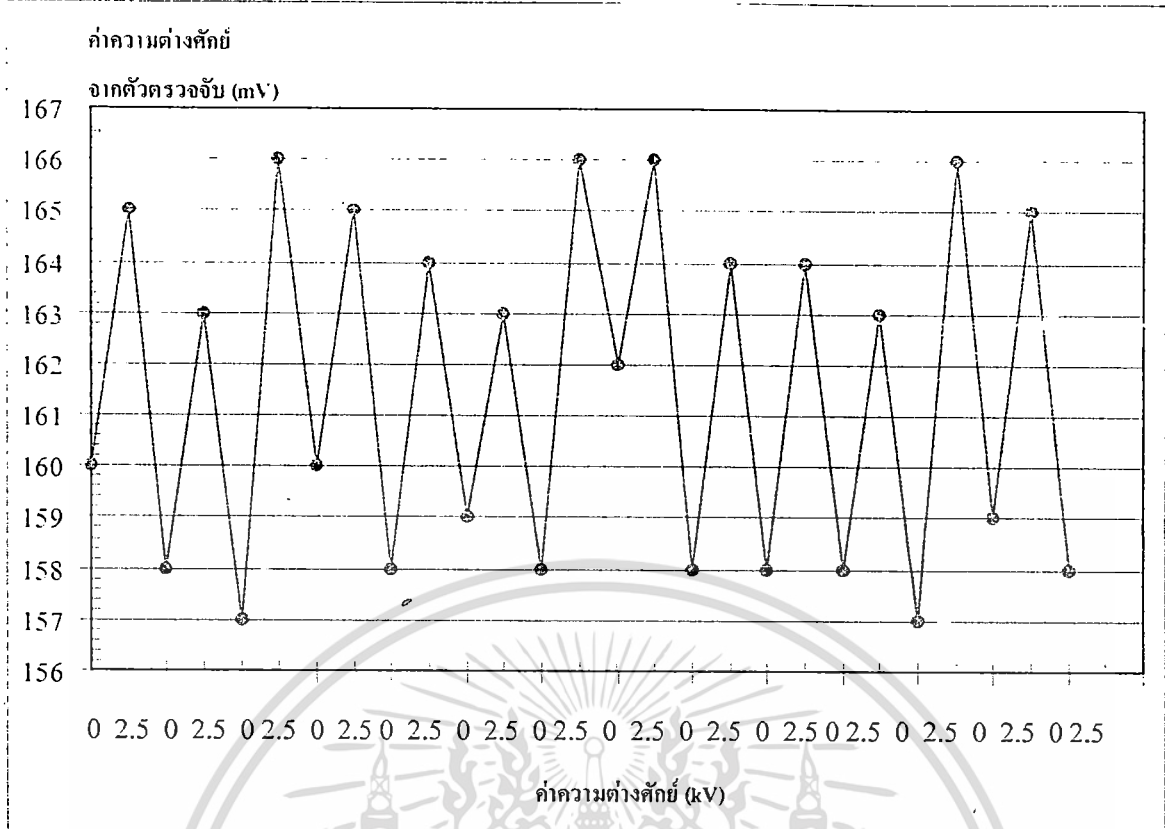
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบท (LiNbO<sub>3</sub>)

ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.) เมื่อไม่ใส่สนามไฟฟ้า	ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.) เมื่อใส่สนามไฟฟ้า
165	160
164	158
163	158
166	162
165	160
164	158
163	159
166	163
166	162
164	158
163	158
166	162
165	159
164	158

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบท (LiNbO<sub>3</sub>)



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบท ( $\text{LiNbO}_3$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

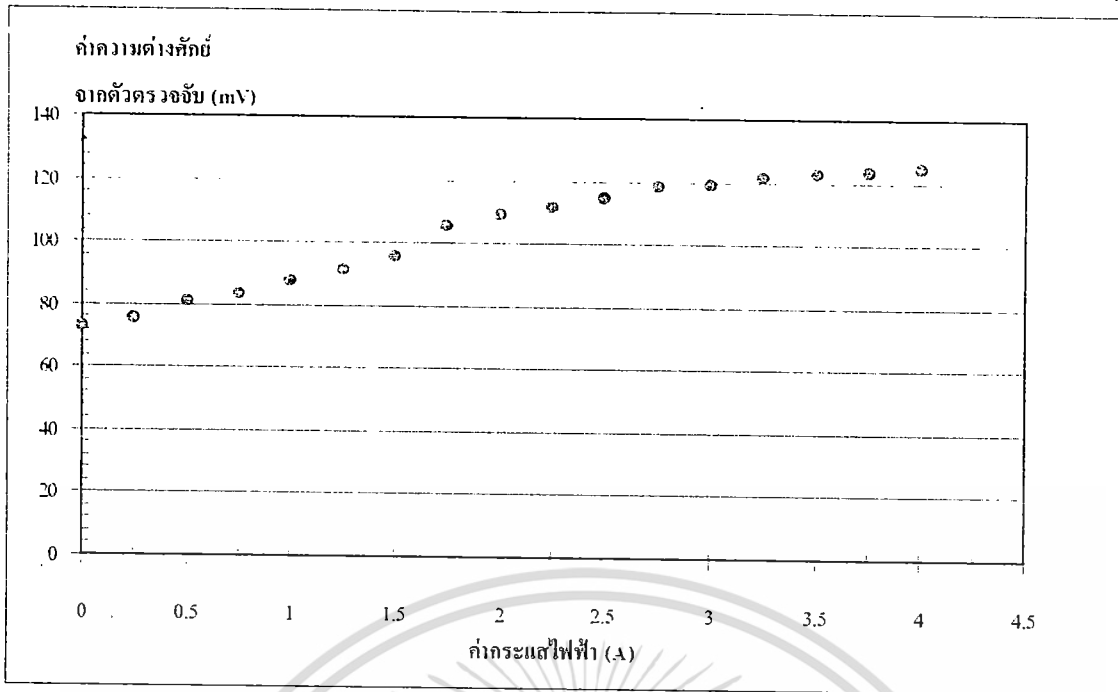
#### 4.2 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass)

##### 4.2.1 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์

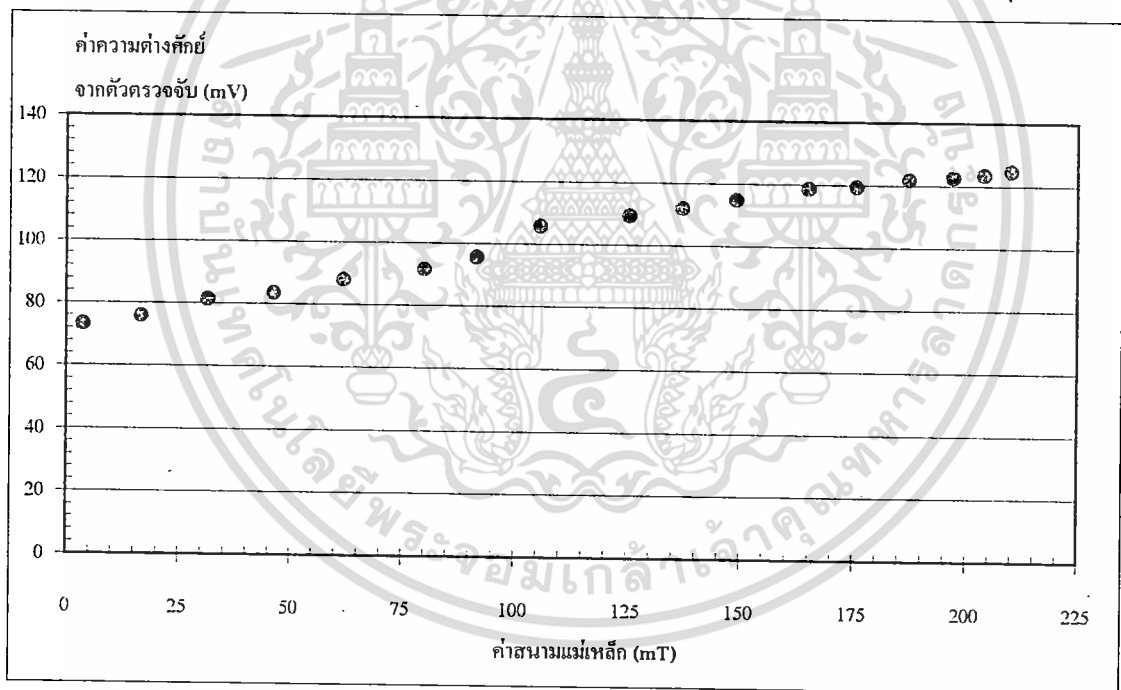
- ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด

ค่ากระแสไฟฟ้า (A.)	ค่าสนามแม่เหล็ก (mT.)	ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.)
0	3.8	73.2
0.25	16.7	75.8
0.50	31.5	81.3
0.75	46.2	83.5
1.00	61.9	88.0
1.25	80.0	91.6
1.50	91.6	95.6
1.75	105.7	105.7
2.00	125.5	109.3
2.25	137.2	112.0
2.50	149.1	114.7
2.75	165.0	118.6
3.00	175.7	119.3
3.25	187.3	121.8
3.50	197.1	122.6
3.75	204.0	123.4
4.00	210.0	124.6

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด



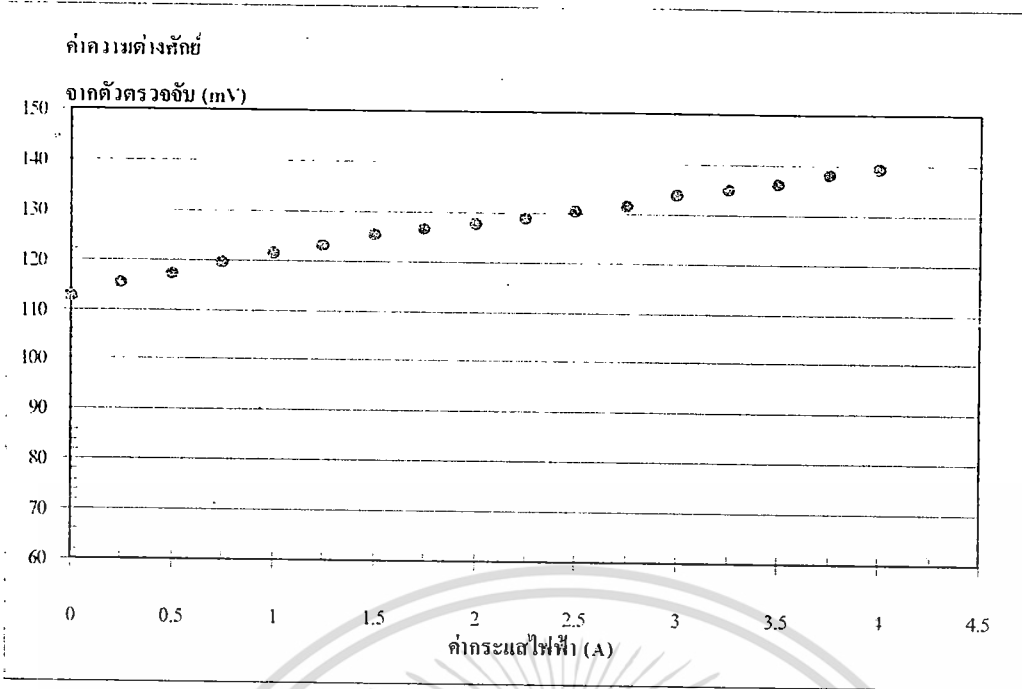
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด

- ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุด

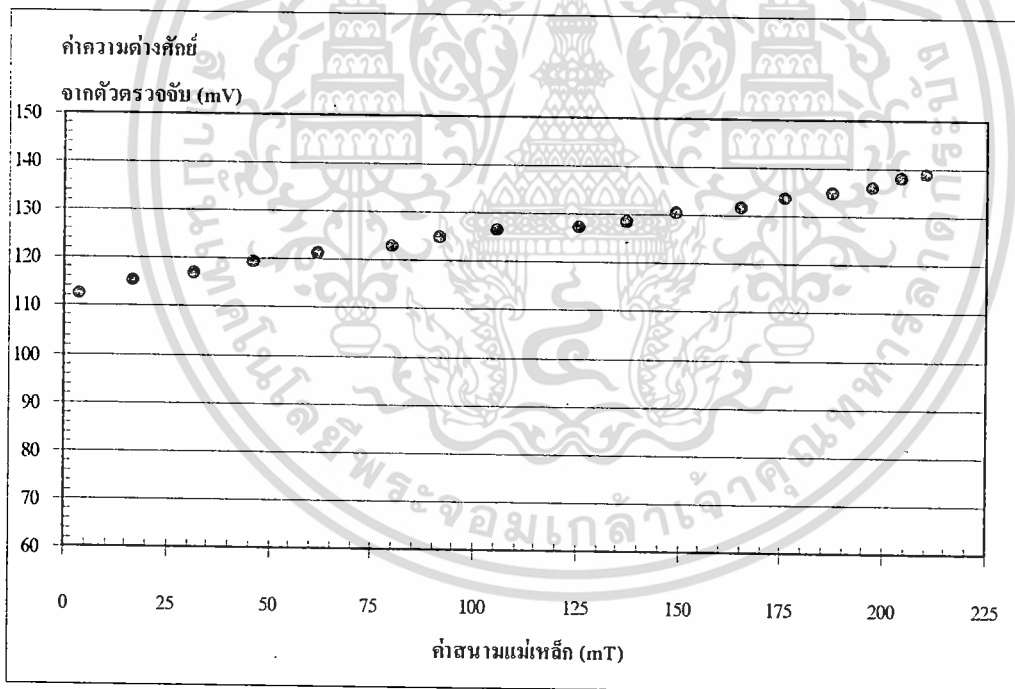
ค่ากระแสไฟฟ้า (A.)	ค่าสนามแม่เหล็ก (mT.)	ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.)
0	3.8	112.4
0.25	16.7	115.4
0.50	31.5	117.1
0.75	46.2	119.4
1.00	61.9	121.3
1.25	80.0	123.1
1.50	91.6	125.1
1.75	105.7	126.6
2.00	125.5	127.5
2.25	137.2	128.6
2.50	149.1	130.4
2.75	165.0	131.6
3.00	175.7	133.6
3.25	187.3	134.8
3.50	197.1	136.2
3.75	204.0	138.1
4.00	210.0	139.0

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่าน  
แก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดลองแสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุด



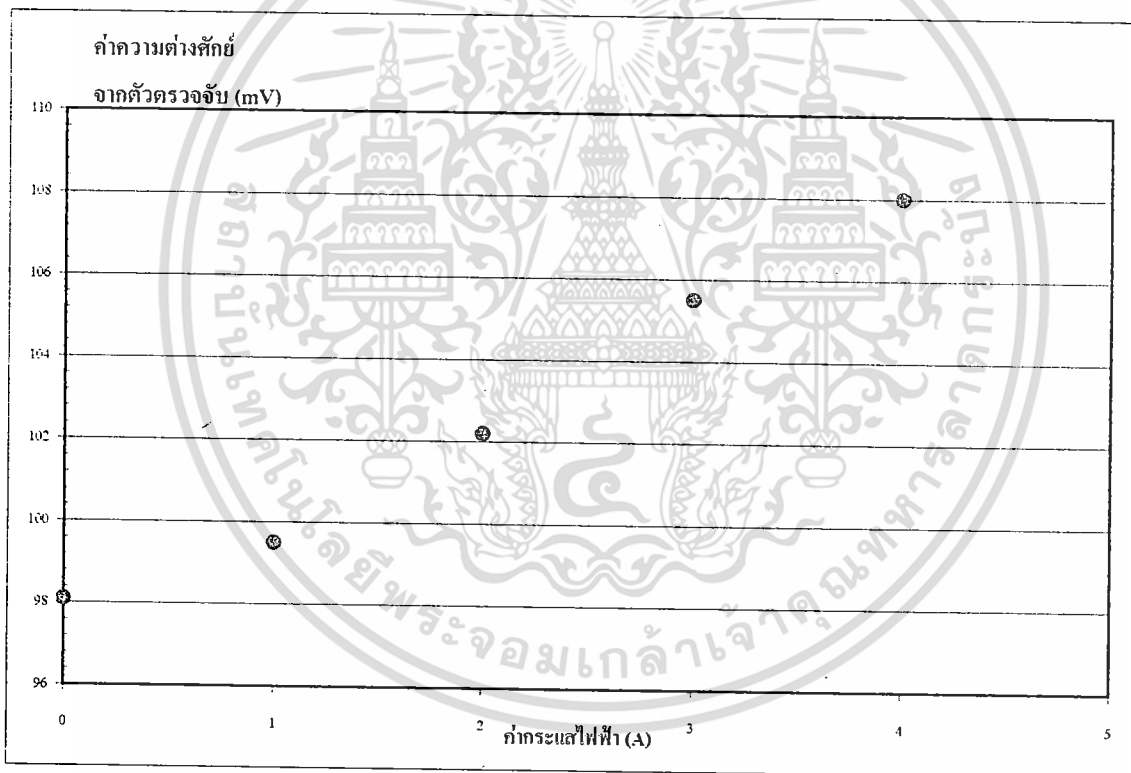
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดลองแสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์ ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยใช้หลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์

ค่ากระแสไฟฟ้า (A.)	ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.)
0	98.1
1	99.5
2	102.2
3	105.5
4	108.0

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยใช้หลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยใช้หลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์

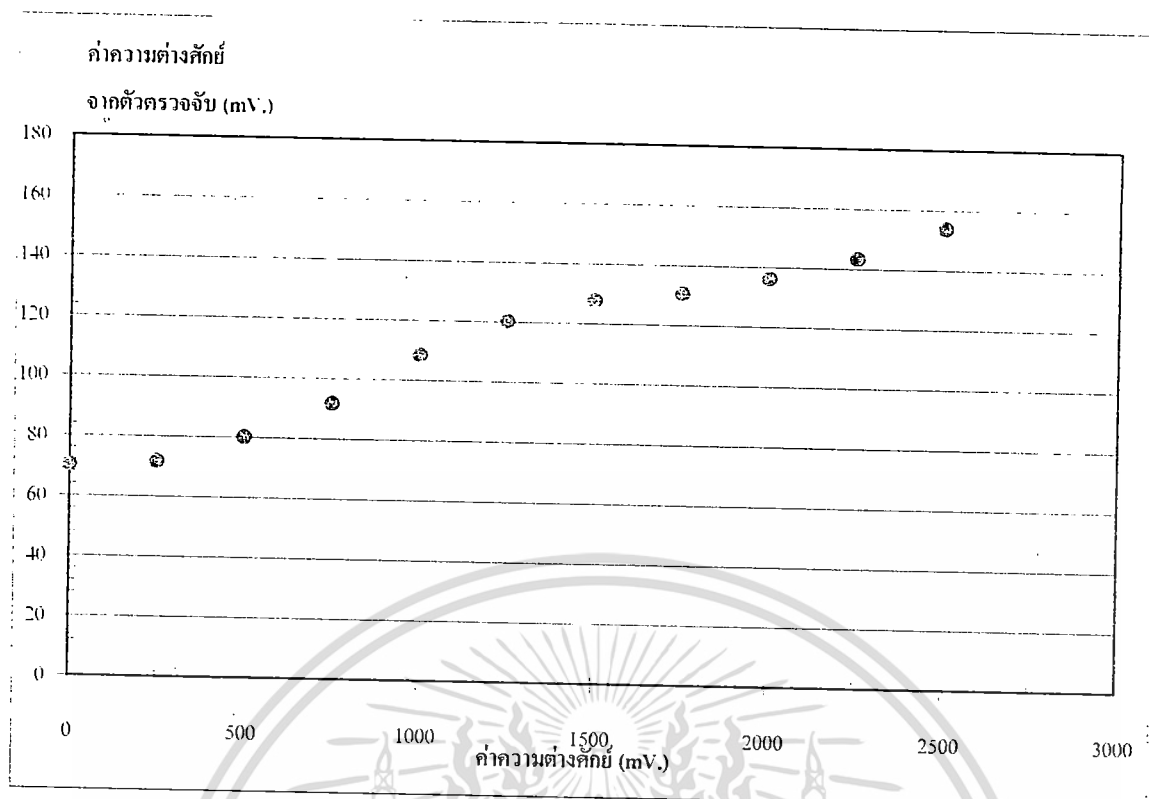
### 4.3 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่านผลึก KD\*P

#### 4.3.1 ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่านผลึก KD\*P

- ปรับค่าความต่างศักย์

ค่าความต่างศักย์ (V.)	ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจذب (mV.)
0	70.2
250	71.6
500	80.1
750	91.8
1000	108.6
1250	120.5
1500	127.8
1750	130.6
2000	136.3
2250	143.4
2500	153.9

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่านผลึก KD\*P โดยการปรับค่าความต่างศักย์



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่าน  
ผลึก KD\*P โดยการปรับค่าความต่างศักย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## - ช่องสัญญาณที่ 1

ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.) เมื่อไม่ใส่สนามไฟฟ้า (OFF)	ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.) เมื่อใส่สนามไฟฟ้า (ON)
120.3	88.9
120.3	88.9
120.2	88.5
120.0	88.6
120.0	88.2
119.9	87.9
119.8	87.9
119.6	87.3
119.4	87.2
119.6	87.0

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่าน  
ผลึก KD\*P ที่ช่องสัญญาณที่ 1

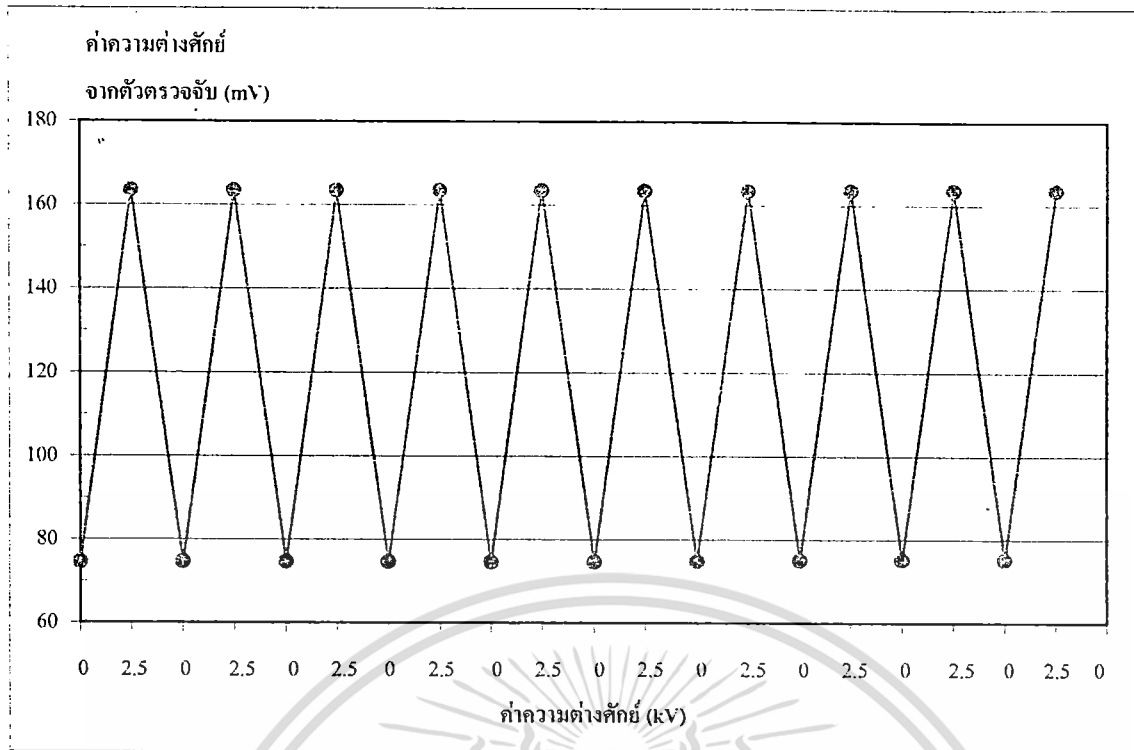
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## - ช่องสัญญาณที่ 2

ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.) เมื่อไม่ใส่สนามไฟฟ้า (OFF)	ค่าความต่างศักย์จากตัวตรวจจับ (mV.) เมื่อใส่สนามไฟฟ้า (ON)
74.5	163.5
74.6	163.5
74.6	163.5
74.6	163.5
74.5	163.5
74.7	163.5
74.8	163.5
75.0	163.6
75.2	163.6
75.2	163.6

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่าน  
ผลึก KD\*P ที่ช่องสัญญาณที่ 2



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่าน  
ผลึก KD\*P ที่ช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่านผลึก KD\*P ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์

- ไม่ใส่ค่าสนามไฟฟ้า (OFF)

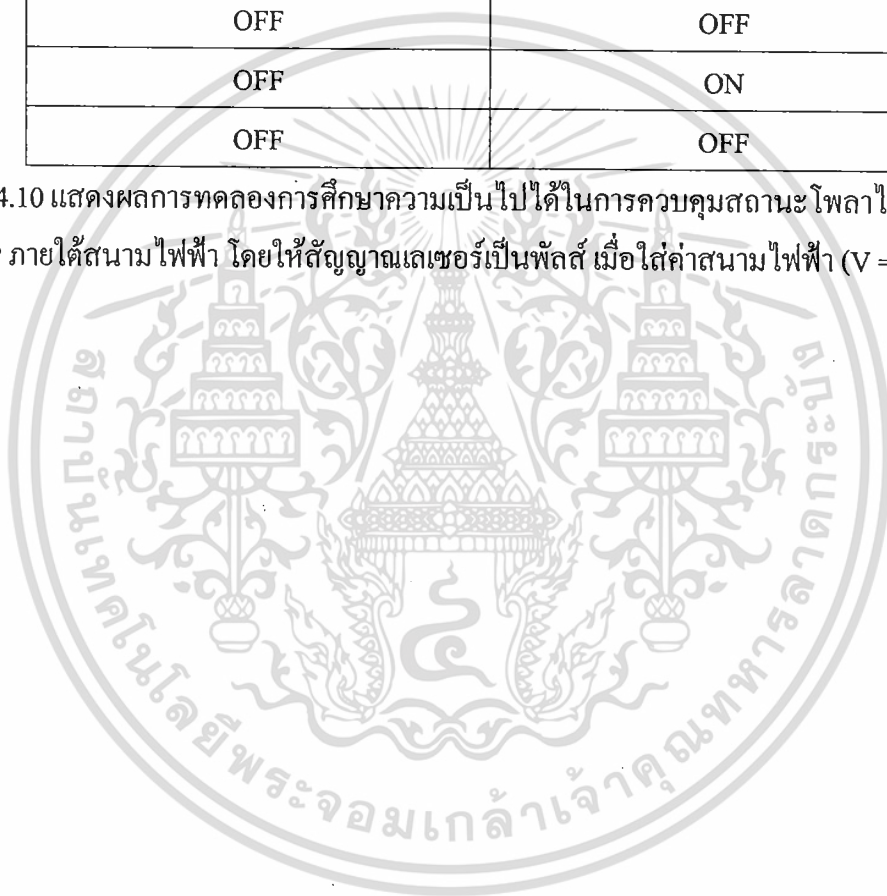
วงจรเปรียบเทียบช่องสัญญาณที่ 1 (LED Channel 1)	วงจรเปรียบเทียบช่องสัญญาณที่ 2 (LED Channel 2)
ON	OFF
OFF	OFF
ON	OFF
OFF	OFF
ON	OFF
OFF	OFF
ON	OFF
OFF	OFF

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD\*P ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ เมื่อไม่ใส่ค่าสนามไฟฟ้า ( $V = 0$ )

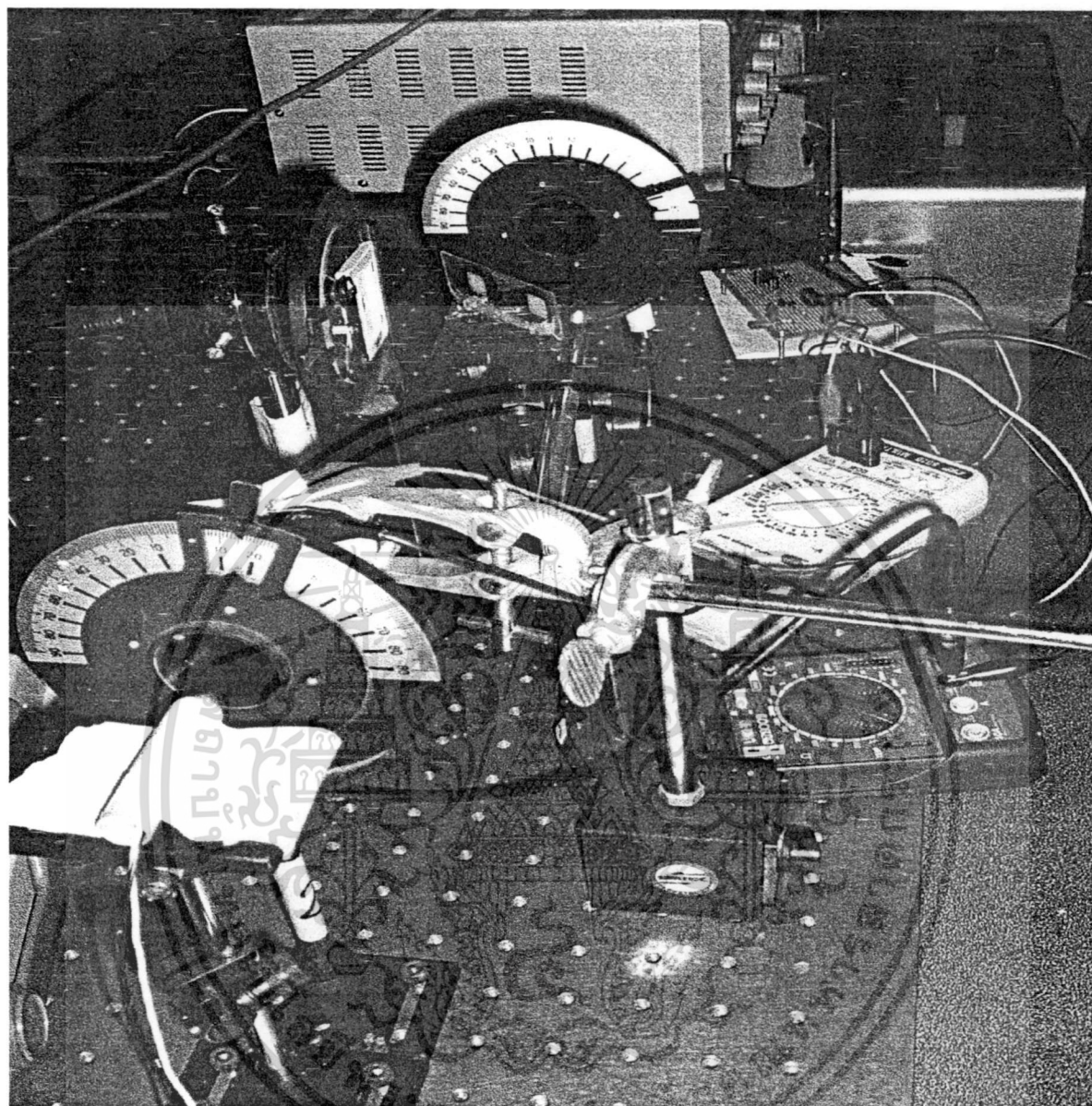
- ไล่ค่าสนามไฟฟ้า (ON)

วงจรเปรียบเทียบช่องสัญญาณที่ 1 (LED Channel 1)	วงจรเปรียบเทียบช่องสัญญาณที่ 2 (LED Channel 2)
OFF	ON
OFF	OFF
OFF	ON
OFF	OFF
OFF	ON
OFF	OFF
OFF	ON
OFF	OFF

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองการศึกษาคือความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่านผลึก KD\*P ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์ เมื่อไล่ค่าสนามไฟฟ้า ( $V = 2.5 \text{ kV}$ .)

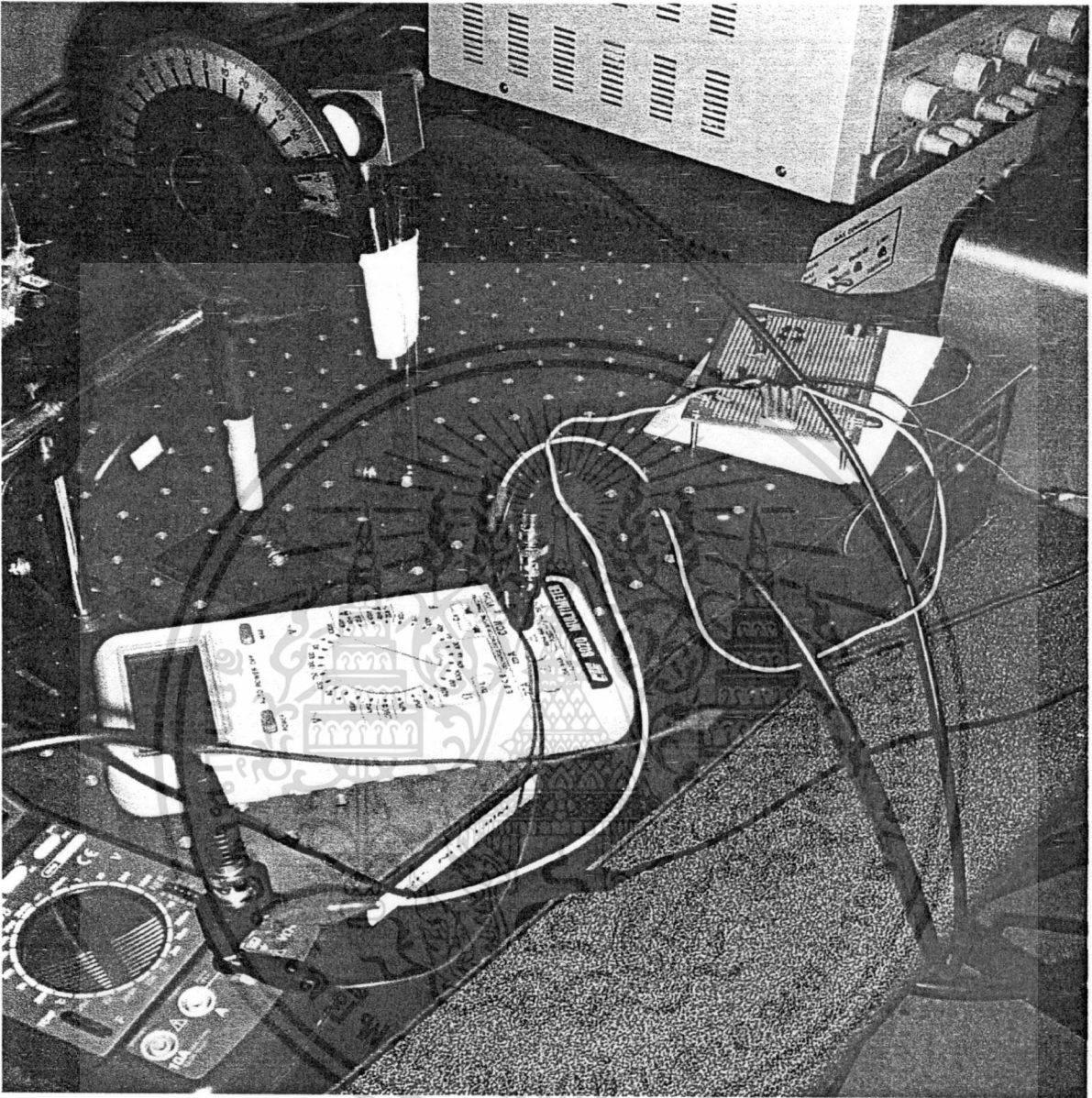


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่าน  
ผลึก KD\*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ

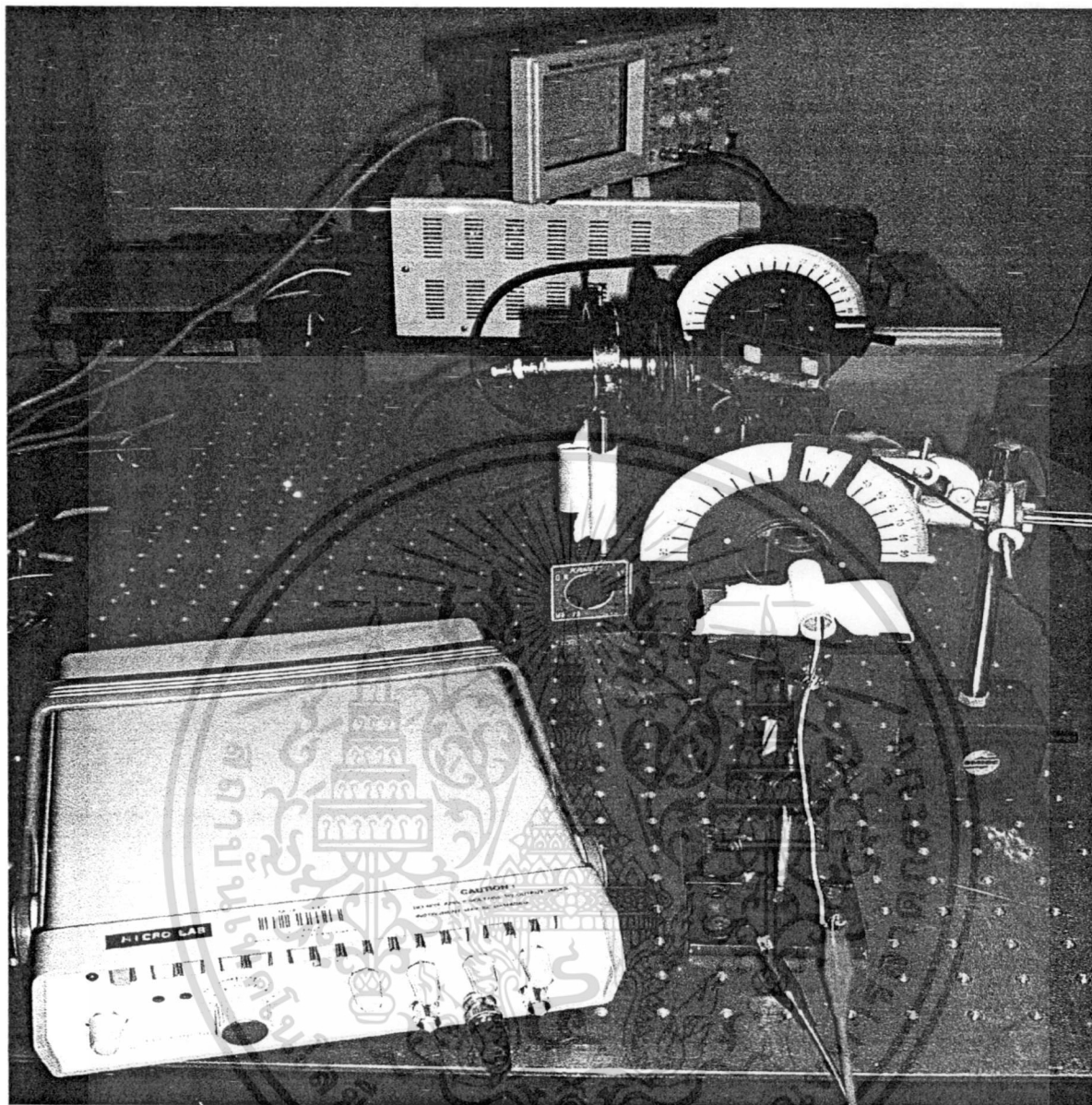
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โฟลตาไรซ์ผ่าน

ผลึก KD\*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ

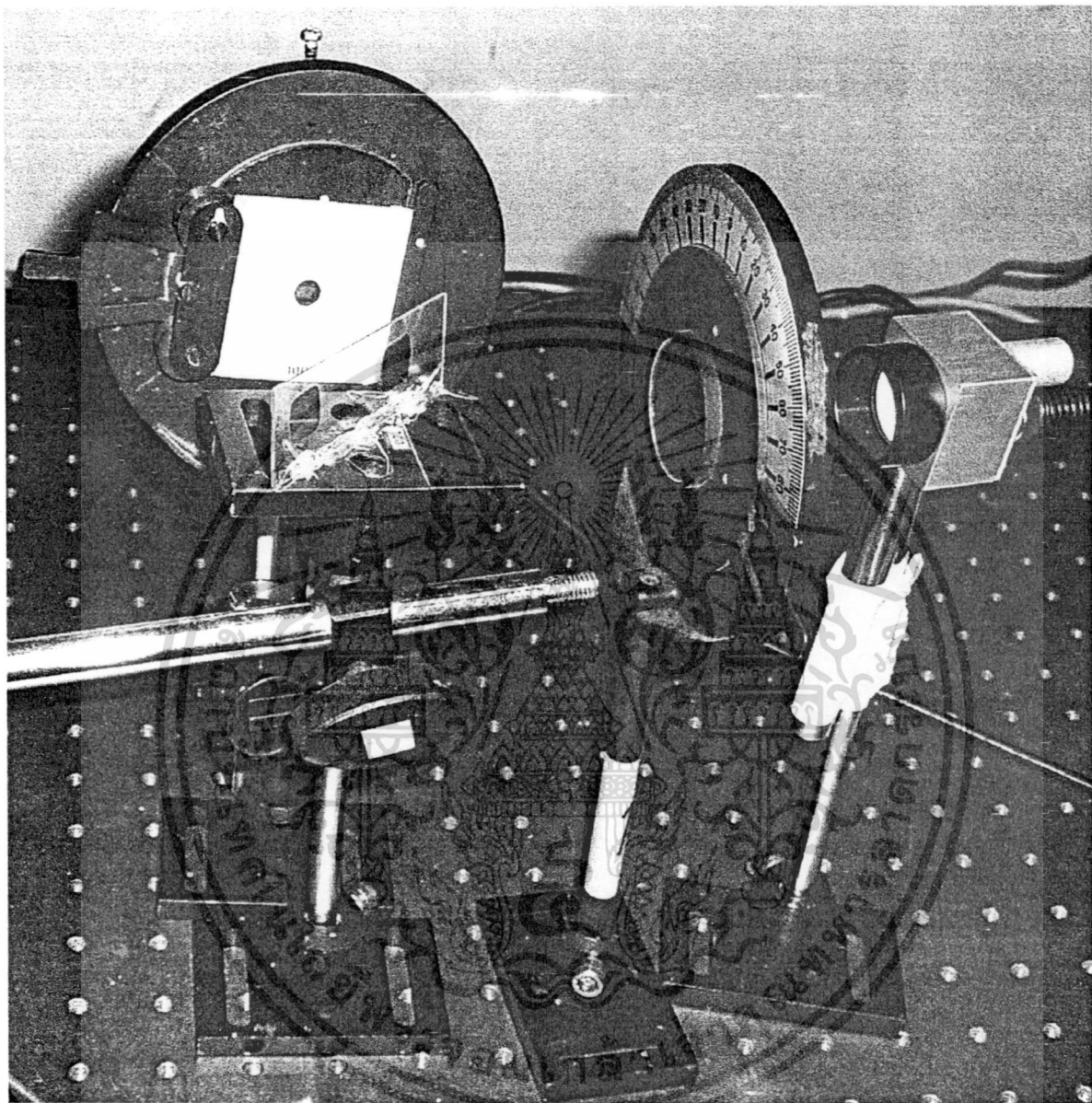
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่าน

ผลึก KD\*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ

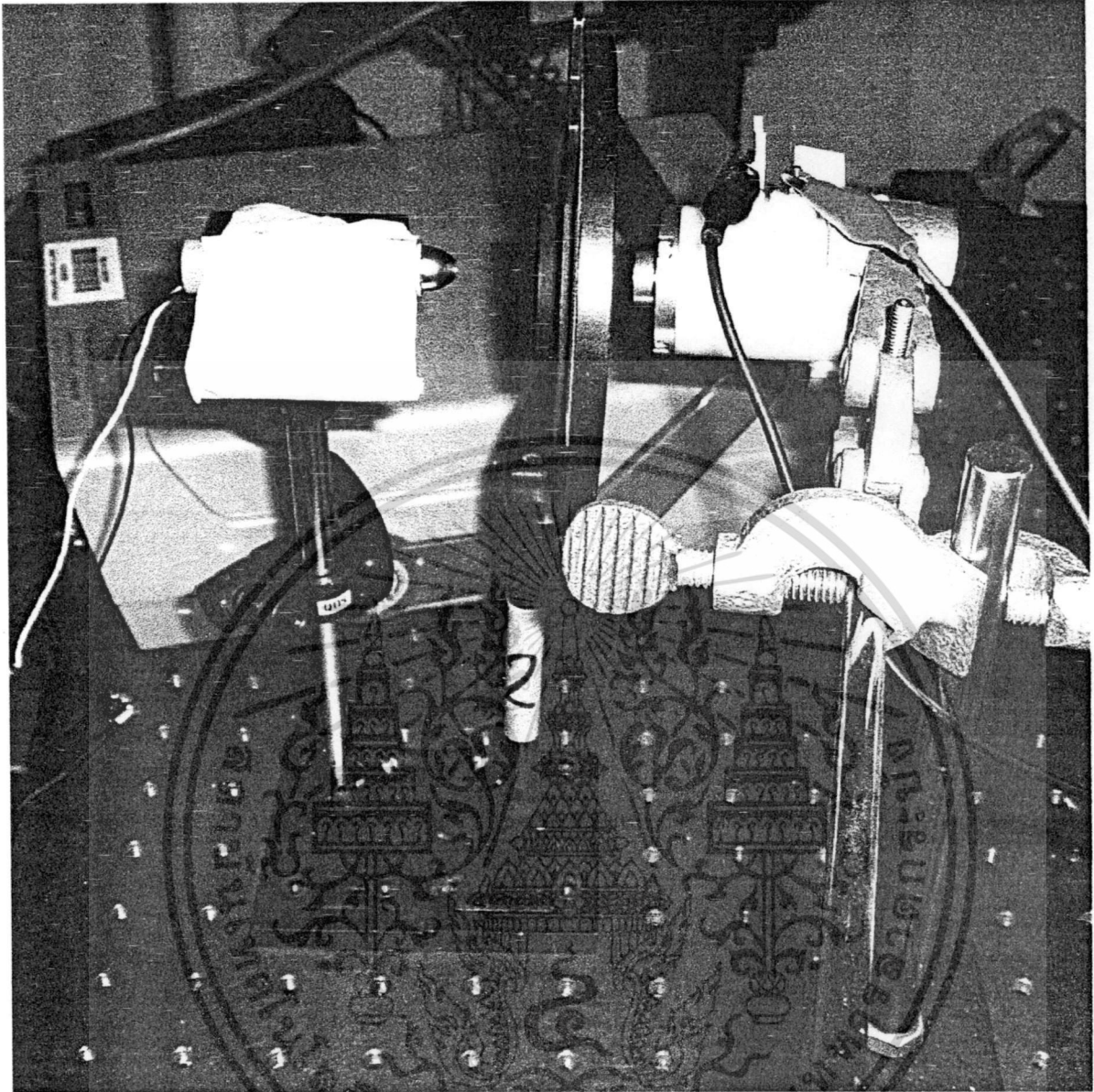
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซ์ผ่าน

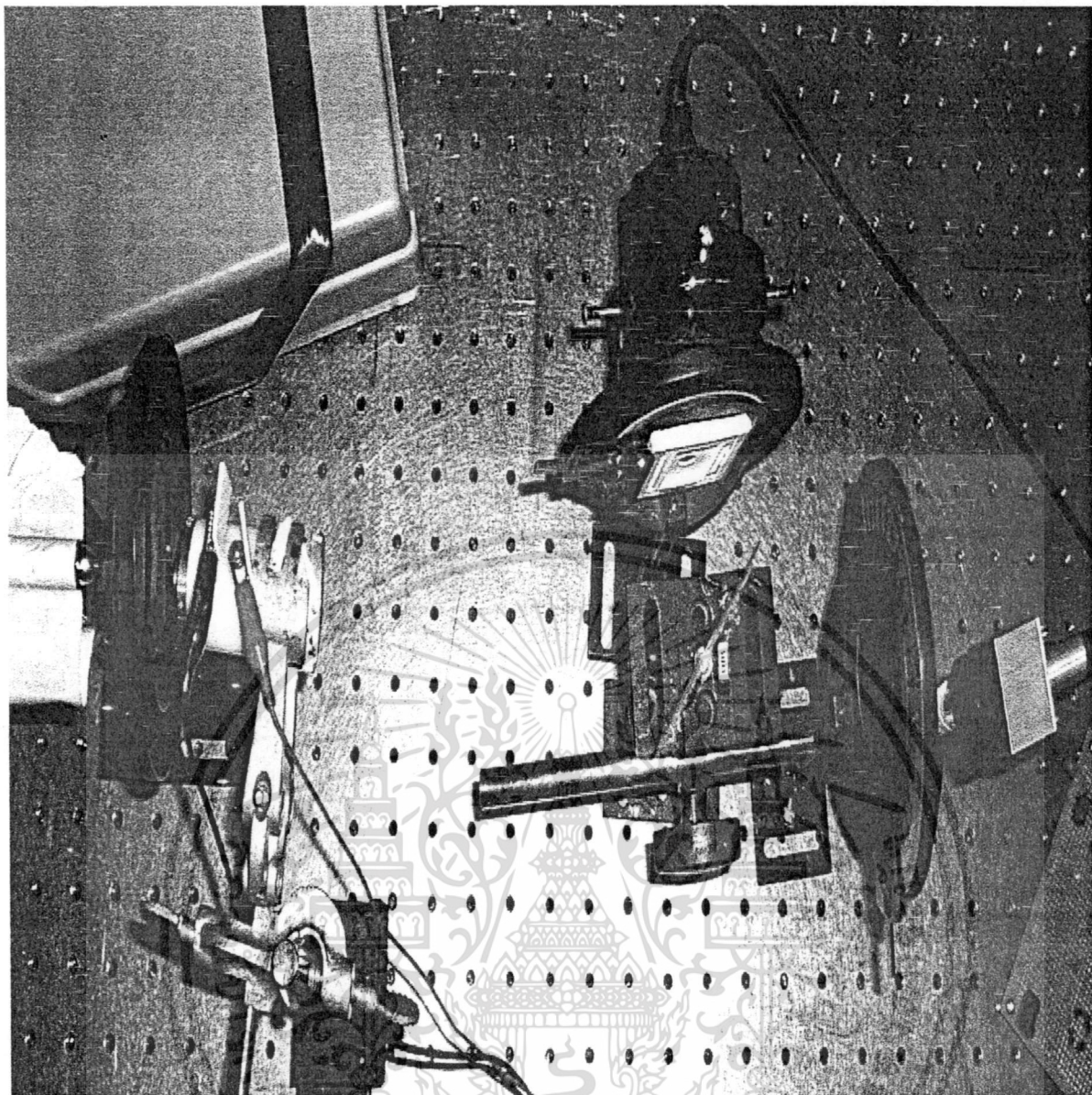
ผลึก KD\*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะ โพลาริซ์ผ่าน  
ผลิตภัณฑ์ KD\*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงภาพการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่าน

ผลึก KD\*P เปรียบเทียบ 2 ช่องสัญญาณ

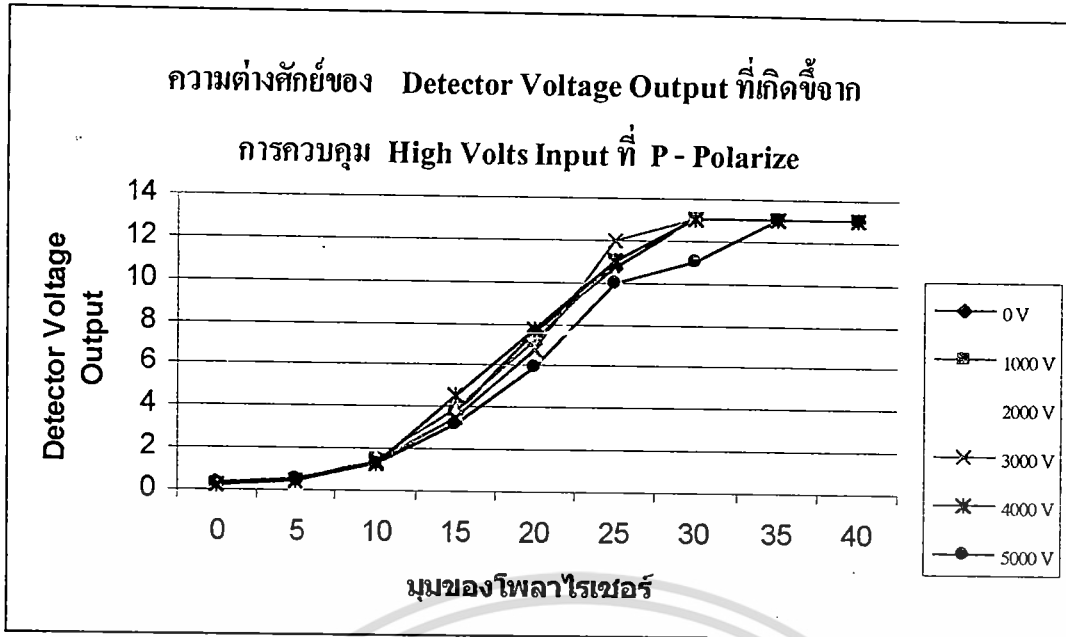
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการทดลองการศึกษาศถานะโพลาไรซ์ของไดโอดเลเซอร์ผ่าน E/O Cell โดยแยกออกเป็น 2 ช่องสัญญาณ

4.4.1 ผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Volatage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Pockels Cell ทาง P – Polarize

มุม(องศา)	ปรับความต่างศักย์ของ Pockels Cell					
	0 V	1000 V	2000 V	3000 V	4000 V	5000 V
0	0.24	0.22	0.19	0.19	0.19	0.3
5	0.45	0.47	0.31	0.44	0.39	0.48
10	1.45	1.47	1.456	1.38	1.31	1.29
15	3.66	3.88	3.74	3.46	4.51	3.18
20	7.65	7.23	6.53	6.77	7.73	5.98
25	10.69	11.05	10.33	11.98	11.06	10
30	13.01	13.03	13	13.02	13.03	11
35	13.05	13.05	13.05	13.05	13.06	13.01
40	13.07	13.07	13.07	13.06	13.07	13.05
45	13.09	13.08	13.08	13.08	13.08	13.07
50	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09
55	13.09	13.09	13.09	13.09	13.1	13.1
60	13.1	13.09	13.1	13.1	13.1	13.1
65	13.11	13.1	13.1	13.11	13.11	13.11
70	13.11	13.1	13.1	13.11	13.11	13.11
75	13.11	13.11	13.11	13.11	13.12	13.12
80	13.11	13.11	13.12	13.12	13.12	13.12
85	13.12	13.12	13.12	13.12	13.12	13.12
90	13.12	13.12	13.12	13.12	13.12	13.12

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Volatage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Pockels Cell ทาง P – Polarize



รูปที่ 4.17 แสดงการศึกษาสถานะโพลาไรซ์ของไดโอดเลเซอร์ผ่าน E/O Cell ทาง P - Polarizer

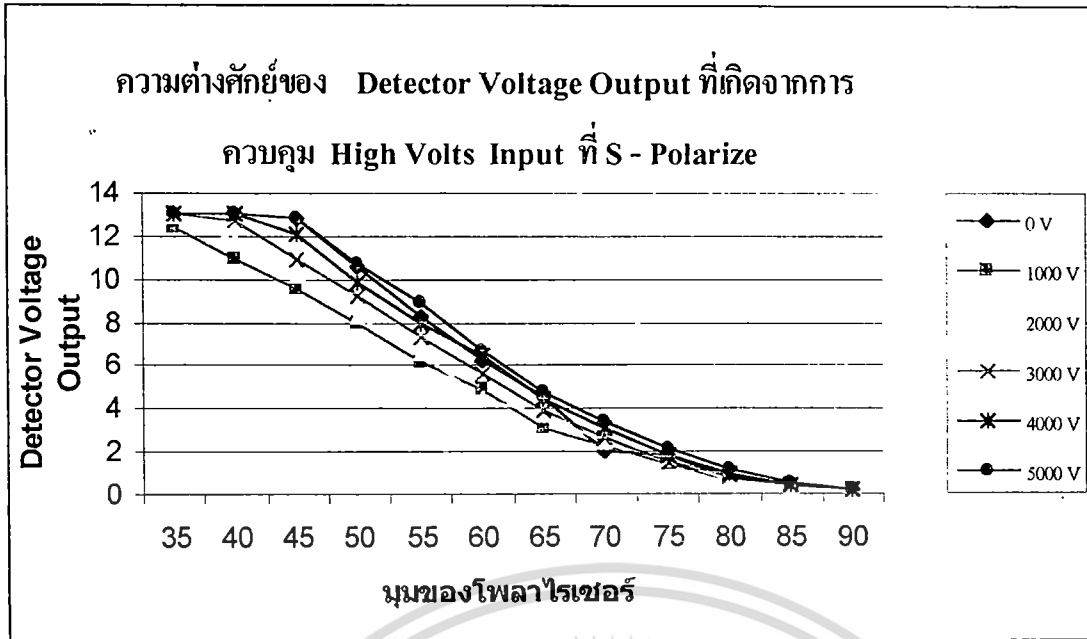
จากกราฟจะแสดงการควบคุมสถานะของแสงโพลาไรซ์ที่ผ่าน pockels cell และ PBS ทางด้าน p - polarize เมื่อควบคุม โวลต์ที่ให้กับ pockels cell เมื่อให้ high voltage สูงจะทำให้สถานะทางโพลาไรซ์เปลี่ยนไปสูงด้วยเช่นกันและเราสามารถเห็นความแตกต่างของ โวลต์เตจ ได้ชัดเจนที่สุดที่มุม -30 องศา และเนื่องจากมุมที่อยู่ในช่วง 40 - 90 องศาที่อ่านได้มีค่าคงที่เกิดจากการอิมพัลส์ของดีเทคเตอร์

4.4.2 ผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Voltage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Pockels cell ทาง S-Polarized

มุม(องศา)	ปรับค่าความต่างศักย์ของ Pockels cell					
	0 V	1000 V	2000 V	3000 V	4000 V	5000 V
0	13.08	13.06	13.06	13.07	13.07	13.08
5	13.08	13.06	13.06	13.07	13.08	13.08
10	13.08	13.05	13.06	13.07	13.08	13.08
15	13.07	13.05	13.06	13.06	13.07	13.08
20	13.07	13.04	13.05	13.06	13.07	13.07
25	13.06	13.03	13.04	13.05	13.06	13.07
30	13.05	13.01	13.03	13.04	13.05	13.06
35	13.02	12.37	12.98	13.02	13.04	13.05
40	13.02	10.93	11.72	12.68	13	13.03
45	12.79	9.53	10.13	10.92	12.06	12.8
50	10.62	7.94	8.28	9.21	9.89	10.72
55	8.31	6.12	6.61	7.31	7.91	8.94
60	6.31	4.9	4.49	5.61	6.43	6.64
65	4.56	3.11	3.71	3.94	4.45	4.73
70	2	2.26	2.43	2.61	3.11	3.42
75	1.76	1.36	1.54	1.49	1.77	2.1
80	0.79	0.62	0.67	0.84	0.99	1.16
85	0.32	0.29	0.36	0.39	0.47	0.48
90	0.23	0.2	0.19	0.19	0.2	0.19

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความต่างศักย์ของ Detector Voltage Output ที่เกิดจากการควบคุมค่าความต่างศักย์ของ Pockels cell ทาง S-Polarized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงการศึกษาสถานะโพลาไรซ์ของไดโอดเลเซอร์ผ่าน E/O Cell ทาง P - Polarizer

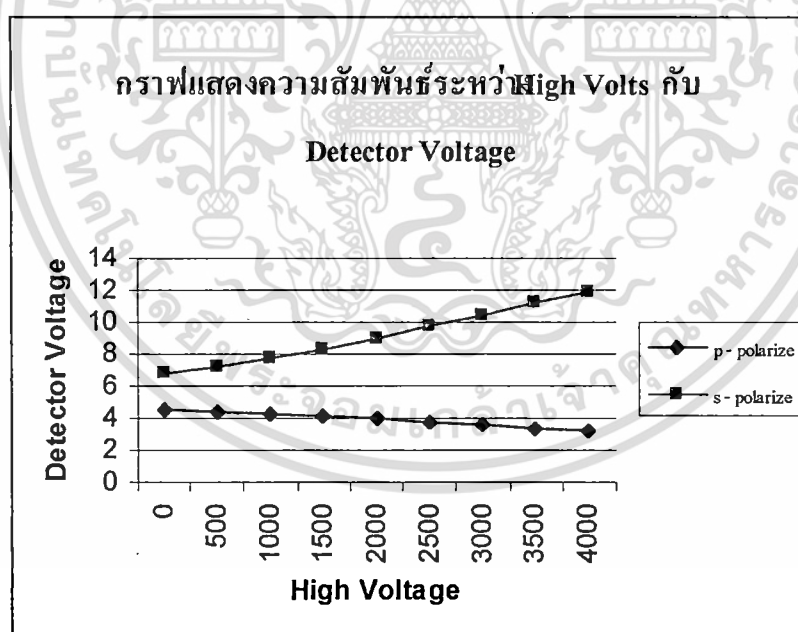
จากกราฟจะแสดงการควบคุมสถานะของแสงโพลาไรซ์ที่ผ่าน pockels cell และ PBS ทางด้าน s - polarize เมื่อควบคุม โวลต์ที่ให้กับ pockels cell เมื่อให้ high voltage สูงจะทำให้สถานะทางโพลาไรซ์เปลี่ยนไปสูงด้วยเช่นกัน แต่ทางด้านนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของสถานะทางโพลาไรซ์สูงกว่าทางด้าน p - polarize และเราสามารถเห็นความแตกต่างของโวลต์ตรงได้ชัดเจนที่สุดที่มุม 45 องศา และเนื่องจากที่มุมระหว่าง 0 - 30 องศาที่ได้จาก ดีเทคเตอร์มีค่าคงที่เกิดจากการอิมพัลส์ของดีเทคเตอร์

#### 4.5 ผลการทดลองการศึกษาระบบบิตของแสง

4.5.1 ผลการทดลองการศึกษความสัมพันธ์ระหว่าง High Voltage Supply กับ Detector Voltage Output ที่ช่องสัญญาณต่างๆ

High Voltage	p – polarize (25 องศา)	s – polarize(55 องศา)
0	4.54	6.78
500	4.44	7.23
1000	4.32	7.76
1500	4.19	8.25
2000	4.02	8.91
2500	3.8	9.67
3000	3.6	10.45
3500	3.35	11.22
4000	3.22	11.89

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองการศึกษความสัมพันธ์ระหว่าง High Voltage Supply กับ Detector Voltage Output ที่ช่องสัญญาณต่างๆ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง High Voltage กับ Detector Voltage

จากกราฟจะสรุปได้ว่าทางด้าน s – polarize จะมีการเปลี่ยนแปลงของสถานะทางโพลาไรซ์มากกว่าทางด้าน p - polarize

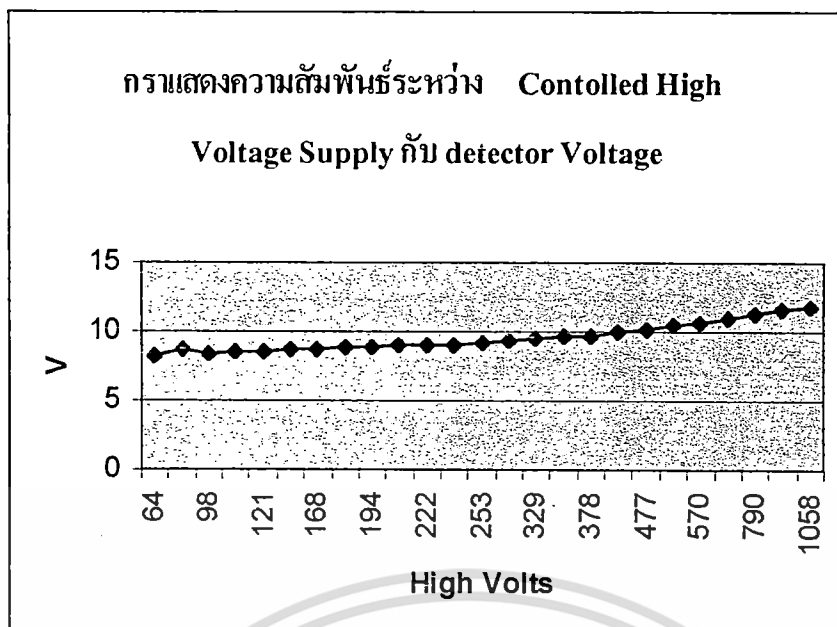
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการทดลองการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Controlled High Voltage Supply กับ  
Detector Voltage Output

High Voltage supply(V)	V(V)
64	8.27
87	8.79
98	8.46
109	8.51
121	8.57
144	8.72
168	8.79
181	8.83
194	8.91
208	8.96
222	9.03
237	9.1
253	9.18
307	9.42
329	9.5
352	9.61
378	9.73
440	9.99
477	10.16
520	10.41
570	10.61
704	11.03
790	11.32
914	11.58
1058	11.85

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Controlled High Voltage  
Supply กับ Detector Voltage Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Controlled High Voltage Supply กับ Detector Voltage

Output

จากกราฟจะสามารถสรุปได้ว่าระหว่าง Controlled High Voltage Supply กับ voltage detector Output ให้มีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นดังนั้นจึงสามารถจะควบคุมสถานะโพลาไรซ์ของแสงได้โดยควบคุมผ่าน Pockel cell ที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าศักย์สูงได้

4.5.3 ผลการทดลองการศึกษความสัมพันธ์ระหว่างControlled High Voltage Supply กับ voltage ที่จ่ายให้

Voltage ที่จ่ายให้ (V)	High Voltage supply(V)
0.09	1058
0.35	894
0.6	743
0.8	615
0.98	504
1.13	408
1.27	322
1.39	248
1.5	280
1.6	120
1.68	65

ตารางที่4.15 แสดงผลการทดลองการศึกษความสัมพันธ์ระหว่างControlled High Voltage Supply กับ voltage ที่จ่ายให้

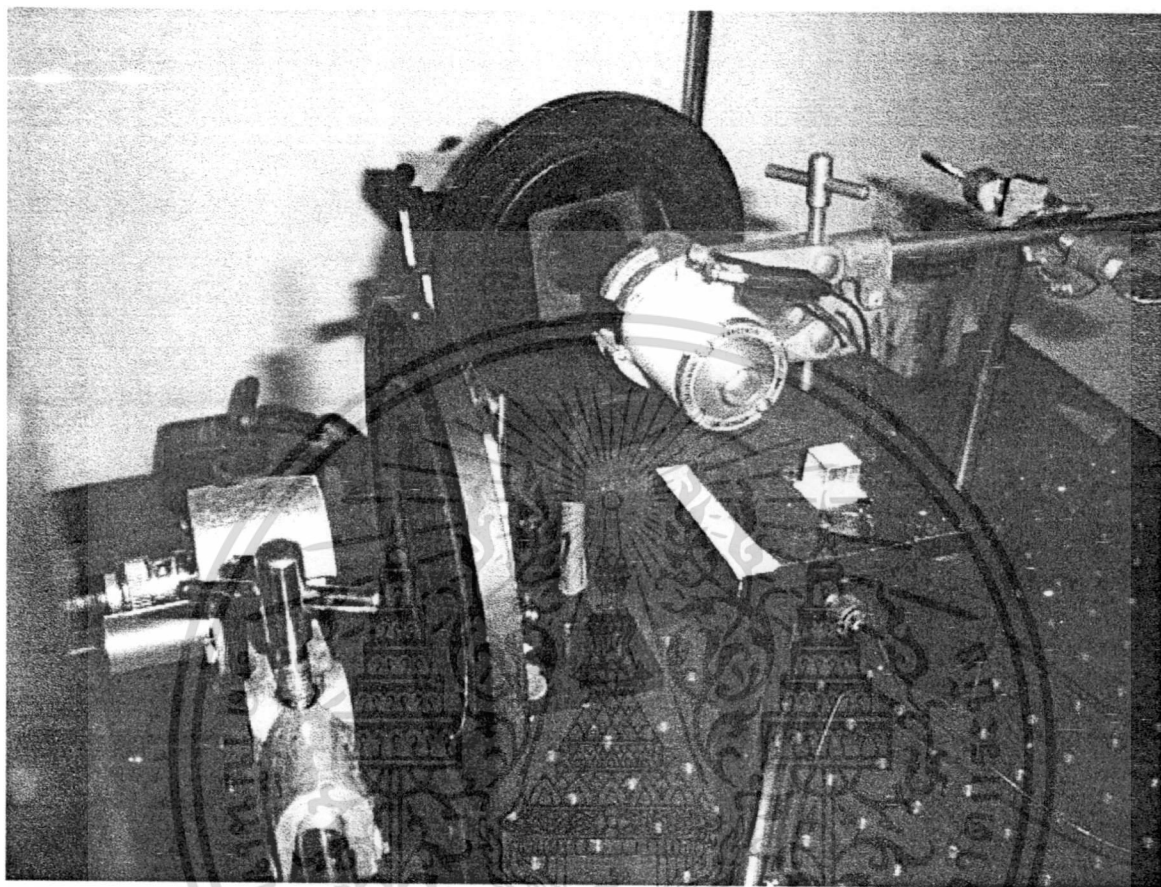
จากการทดลองนี้ข้อมูลจะถูกนำไปเขียน โปรแกรมเพื่อกำหนดสถานะของข้อมูล

4.5.4 ตารางแสดงผลการส่งสัญญาณ

วงจรส่งสัญญาณ	Detector Voltage (V)	วงจรรับสัญญาณ(display)
1	11 – 12	1
2	10 – 11	2
3	9 – 10	3
4	8 – 9	4

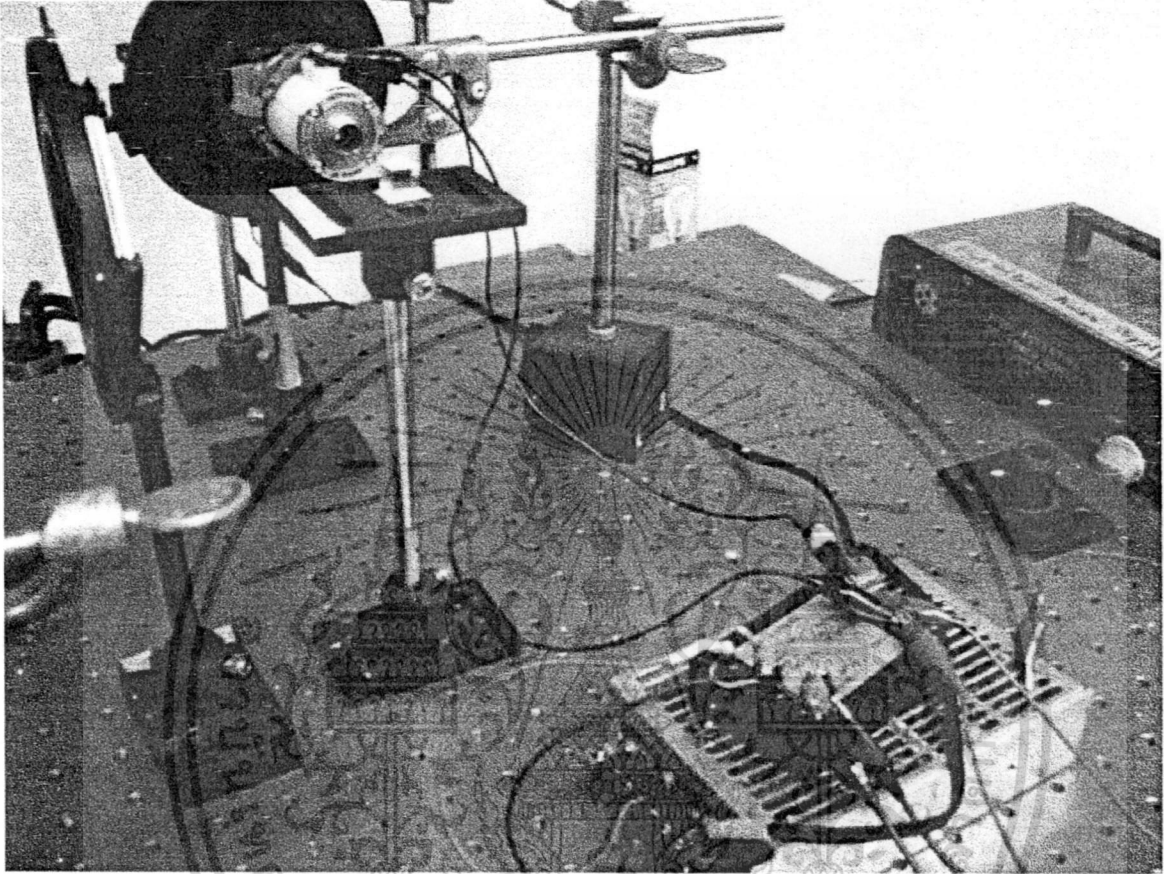
ตารางที่4.16 แสดงผลการส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



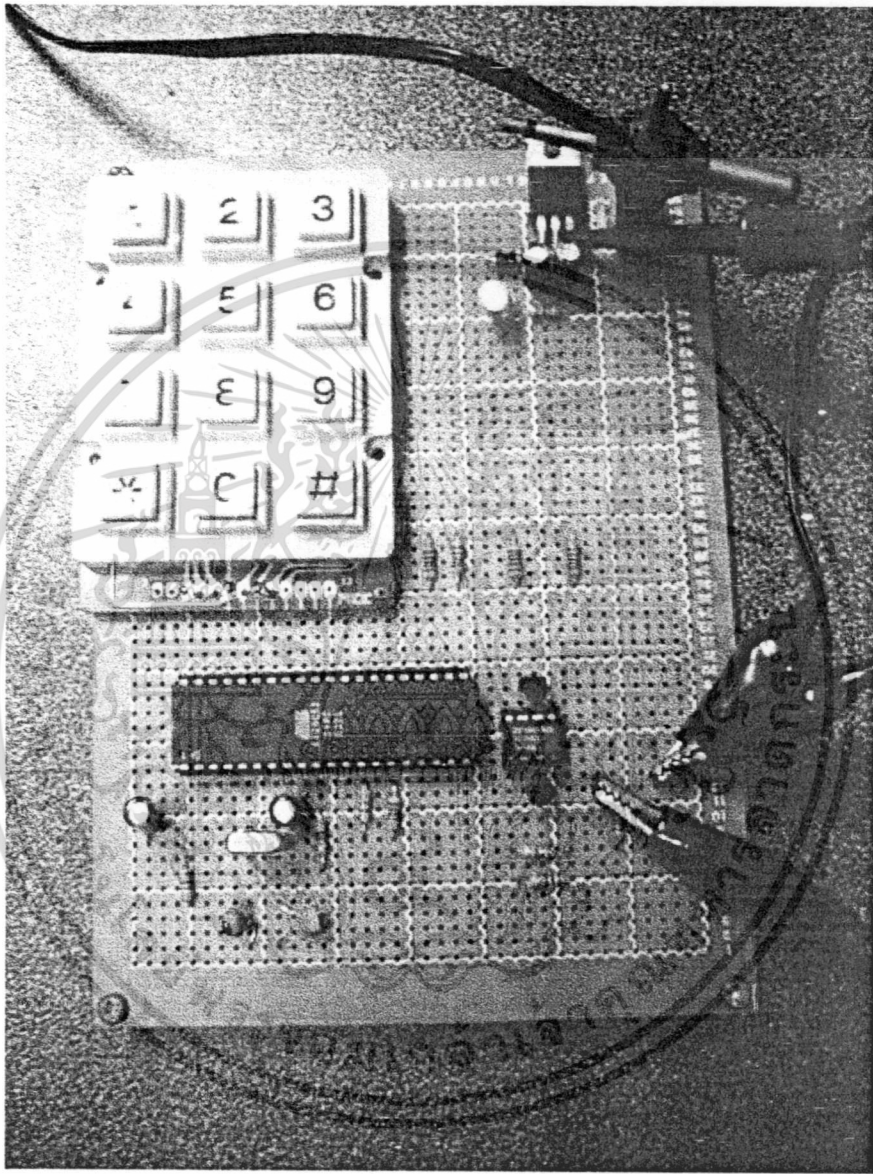
รูปที่ 4.21 แสดงการศึกษาสถานะโพลาไรซ์ของไดโอดเดเซอร์ผ่าน Electrooptic Cell โดยแยกออกเป็น 2 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



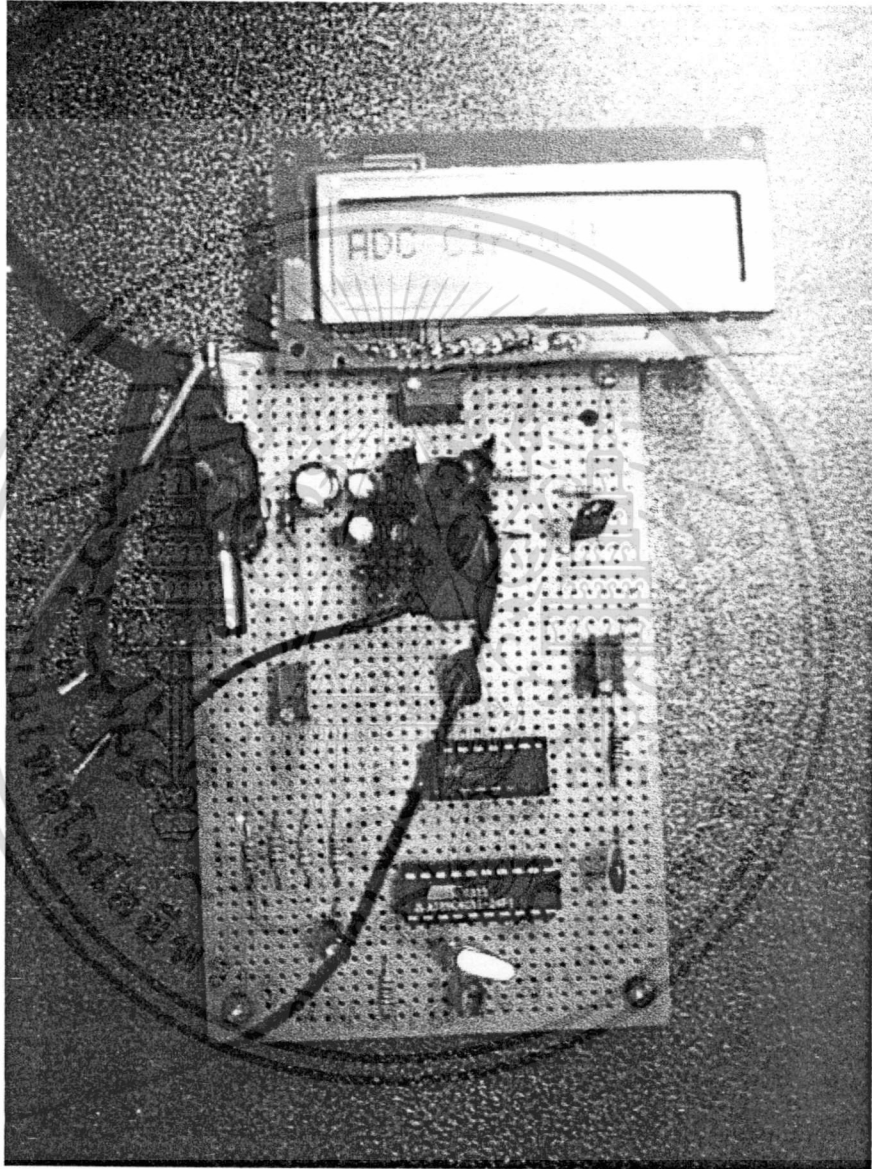
รูปที่ 4.22 แสดงการควบคุมสถานะ pockels Cell โดยใช้ Controlled High Voltage Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



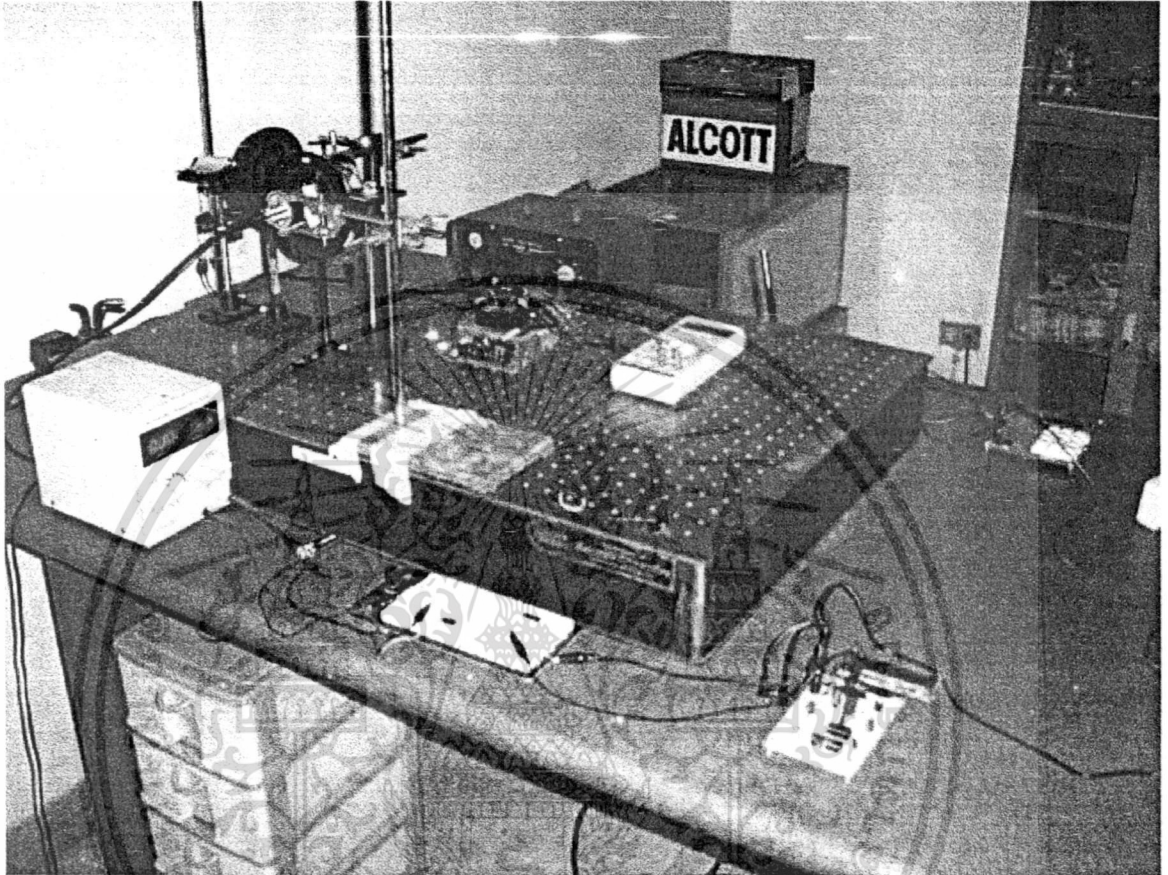
รูปที่ 4.23 แสดงภาพวงจรส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



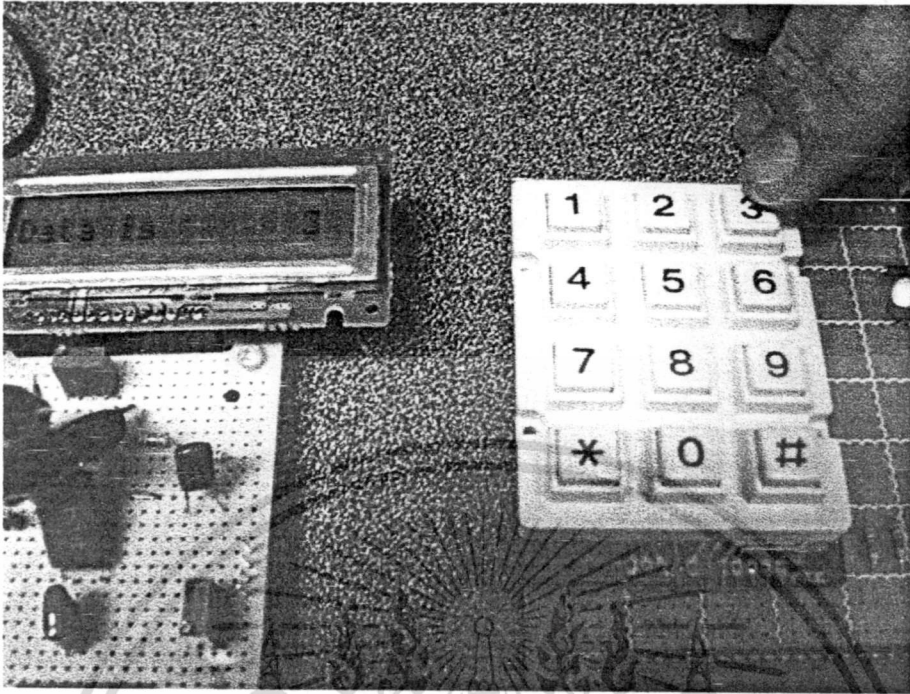
รูปที่ 4.24 แสดงวงจรรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

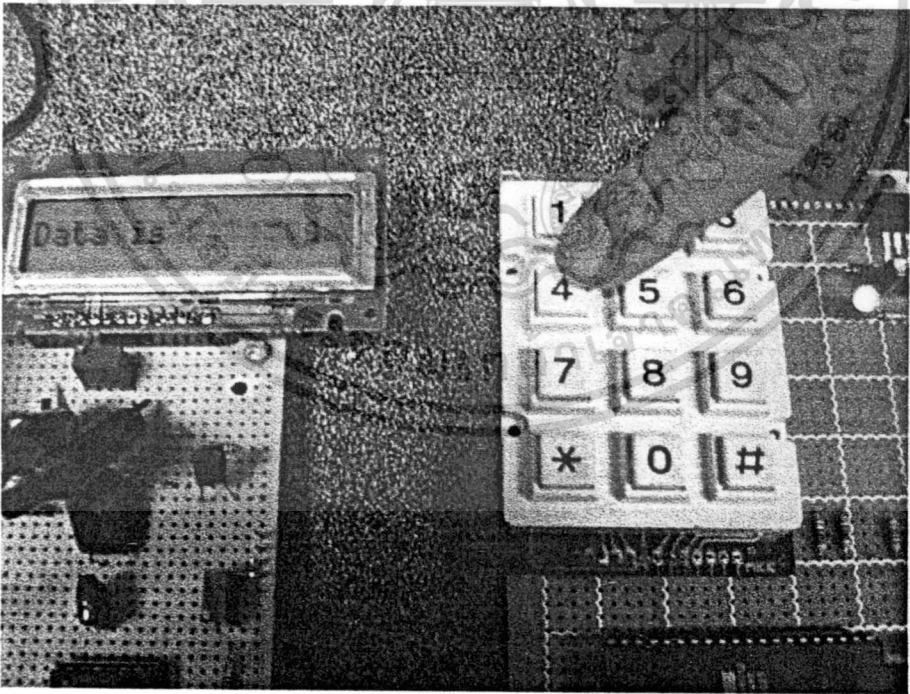


รูปที่ 4.25 แสดงการทดสอบการส่งสัญญาณเพื่อทดสอบระบบปิดของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงการส่งข้อมูล ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.29 แสดงการส่งข้อมูล ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของผลึกที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถนำการเปลี่ยนแปลงนี้มาประยุกต์ใช้กับการเปลี่ยนแปลงสถานะโพลาริซชันของแสงตามวิธีการทดลองในบทที่ 3 และผลการทดลองในบทที่ 4

#### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซชันผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบต (LiNbO<sub>3</sub>)

เมื่อแสงผ่านผลึกลิเทียมไนโอเบตที่อยู่ในสถานะปกติ และอยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันต่างๆ กัน มีผลทำให้แสงที่ผ่านผลึกมีการเปลี่ยนสถานะโพลาริซชันขึ้นกับค่าสนามไฟฟ้า จึงทำให้แสงที่ออกมามีค่าความเข้มแสงแตกต่างกัน และในการทดลองนี้ค่าความเข้มแสงมีค่าแตกต่างกันน้อย จึงไม่เหมาะสมจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ทางแสง

##### 5.1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซชันผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass)

###### 5.1.2.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซชันผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยอาศัยปรากฏการณ์ฟาราเดย์

เมื่อแสงผ่านแก้วฟลินท์ที่อยู่ในสถานะปกติ และอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีค่าสนามแม่เหล็กต่างๆ กัน มีผลทำให้แสงที่ผ่านแก้วฟลินท์มีการเปลี่ยนสถานะโพลาริซชันขึ้นกับค่าสนามแม่เหล็ก จึงทำให้แสงที่ออกมามีค่าความเข้มแสงแตกต่างกัน และในการทดลองนี้ค่าความเข้มแสงมีค่าแตกต่างกันมาก แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ทางแสง เพราะต้องใช้ค่าสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงมาก

###### 5.1.2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาริซชันผ่านแก้วฟลินท์ (Flint glass) โดยใช้หลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์

เป็นการทดลองในแบบเดียวกันกับการทดลองที่ 3.2.1 แต่นำสัญญาณเอาท์พุทมาแยกแสงโดยใช้หลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์ เพื่อที่จะทำให้แสงสามารถแยกออกได้เป็นหลายช่องสัญญาณจากการทดลองนี้ ผลการทดลองที่ได้มีค่าแตกต่างของความเข้มแสงน้อยลงกว่าในการทดลองที่ 3.2.1 แต่สามารถทำให้มีช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นได้ จึงเป็นการเหมาะสมที่จะนำหลักการหน้าต่างบรีวสเตอร์มา  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังกระดานข่าวออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการแยกช่องสัญญาณ แต่การทดลองนี้ยังคงต้องใช้ค่าสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูง จึงไม่เหมาะสมในการไปประยุกต์ใช้

### 5.1.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P

#### 5.1.3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P

เป็นการทดลองที่ใช้หลักการการเปลี่ยนสถานะโพลาไรซ์ โดยใช้ KD\*P Crystal ให้อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีค่าความแตกต่างของความเข้มแสง ที่อยู่ในสถานะปกติและอยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันสูง มีผลทำให้แสงที่ผ่านผลึกมีการเปลี่ยนสถานะโพลาไรซ์ขึ้นกับค่าสนามไฟฟ้า จึงทำให้แสงที่ออกมา มีค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองนี้ค่าความเข้มแสงมีค่าแตกต่างกันมาก จึงเหมาะสมจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ทางแสง และในการทดลองนี้ยังสามารถแยกช่องสัญญาณออกเป็น 2 ช่องสัญญาณที่มีสถานะตรงข้ามกันได้ โดยใช้บีมสปีดเดอร์

#### 5.1.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ผ่านผลึก KD\*P ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยให้สัญญาณเลเซอร์เป็นพัลส์

ในการทดลองนี้มีการจัดอุปกรณ์เหมือนกับการทดลองที่ 3.3.1 แต่ให้แสงเลเซอร์ส่งสัญญาณเป็นพัลส์ ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยการมอดูเลตสัญญาณที่มีความถี่ต่างๆ ได้ ซึ่งผลการทดลองที่ออกมามีค่าความแตกต่างของแสงที่มีความถี่ต่างๆ ของพัลส์แสงได้ และสามารถใช้เป็นสวิตซ์แสงในการส่งข้อมูลได้

## 5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดนี้ทำให้ทราบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงสถานะโพลาไรซ์ของแสงแปรผันตรงกับค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อผลึก ทำให้โครงสร้างผลึกเปลี่ยนแปลงไปผลที่ได้ทำให้ค่าความเข้มแสงมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นจากการทดลองจะได้ว่า KD\*P Crystal ในการทดลองที่ 3.3.1 และ 3.3.2 มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากกว่าวิธีอื่นๆ ที่ได้ทดลองมาแล้ว เนื่องจากมีการเปลี่ยนสถานะโพลาไรซ์ได้ชัดเจนที่สุด และสามารถแยกช่องสัญญาณได้

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาชิ้นงานให้มีขนาดเล็กลงเพื่อการใช้งานที่ง่ายและสะดวก
2. พัฒนาการให้ค่าสนามไฟฟ้าแก่ผลึกให้มีการเปลี่ยนแปลงที่มีความเร็วมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้มีการส่งคาบสัญญาณมีความเร็วมากขึ้น
3. นำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ เช่น วัดค่าความเร็วแสง หรือเปลี่ยนช่องสัญญาณในการสื่อสารทางแสง เป็นต้น
4. พัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ให้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้มีการผิดพลาดน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. รศ.สุวรรณ คุณำารณ. 2537. ทัศนศาสตร์กายภาพ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ณะศักดิ์ พิพัฒน์ภิงศ์. 2543. การศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการค้ำปลิงโหมดโปลาไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. Hecht, Eugene. 1990. **Optics**. Canada: Addison-Wesley Publishing Company,INC
4. Jagat Shakya and Mim Lal Nakarmi. 2001. **Nonlinear Electro-Optic Effect and Kerr Shutter**. Electrodynamics- II project work: Department of Physics, Kansas State University, Manhattan, KS 66502
5. Matthew B. Stone. 1997. **An Investigation Into the Kerr Electro-Optic Effect**. Department of Physics and Astronomy: The Johns Hopkins University.
6. D. Clarke and J.F. Grainger. 1971. **Polarized Light and Optical Measurement**. Pergamon Press Ltd.: University of Manchester Institute of Science and Technology.
7. Mohammad A. Karim. 1990. **Electro-Optical Devices and Systems**. PWS-KENT Publishing Company: Massachsetts.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้