

พัฒนาการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณ  
แสงและเลเซอร์ไดโอด

DEVELOP FOR TESTING MONITOR PHOTODIODE AND  
LASER DIODE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือเผยแพร่เอกสารนี้ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2561

DEVELOP FOR TESTING MONITOR PHOTODIODE AND  
LASER DIODE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS  
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับปี **ACADEMIC YEAR 2018** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

พัฒนาการทดสอบการทำงานอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณแสงและ  
เลเซอร์ไดโอด

DEVELOP FOR TESTING MONITOR PHOTODIODE AND  
LASER DIODE

ชื่อนักศึกษา

นางสาวจิราวรรณ ทองคำเขียว รหัสนักศึกษา 58051044

นายณะวี มีมุขอ รหัสนักศึกษา 58051081

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2561



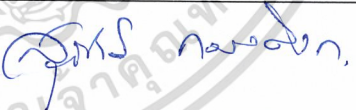

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สุรชาติ กมลติก

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.แดนไท ทองผิว

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์  
ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ประธานกรรมการและกรรมการ	
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการ	
อ.สุรชาติ กมลติก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.แดนไท ทองผิว กรรมการและพนักงานที่ปรึกษาร่วม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	พัฒนาการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณแสงและเลเซอร์ไดโอด
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิราวรรณ ทองคำเขียว รหัสนักศึกษา 58051044 นายนะวี มีมูซอ รหัสนักศึกษา 58051081
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สุรชาติ กมลติลก
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.แดนไท ทองผิว

### บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันในสวนงานผลิตเลเซอร์กำลังสูง (High Power Laser, HPL) พบว่าการทดสอบอุปกรณ์ของเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) และตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Monitor-photodiode) เป็นส่วนที่สำคัญซึ่งการทดสอบยังคงเป็นแบบการทดสอบด้วยมือ การทดสอบในลักษณะนี้ค่าที่ได้จะยังคงมีความไม่แน่นอนเนื่องจากผลที่แสดงไม่ใช่ค่าที่แม่นยำเพราะค่าที่แสดงจะแสดงเป็นช่วง เช่น  $3.72 \pm 0.5$  ไมโครแอมแปร์ ผู้บันทึกผลจะทำการบันทึกค่าที่อยู่ในช่วงดังกล่าวโดยการจดด้วยมือจึงอาจทำให้จดค่าผิดพลาดเพราะมีหลายค่าและอาจใช้เวลานาน จึงได้คิดวิธีทดสอบโดยการนำโปรแกรม LabVIEW และ SolidWorks มาประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษนี้ซึ่งจะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่และออกแบบหน้าต่างการใช้งาน (User-interface) เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานของพนักงานในไลน์ผลิตมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังใช้โปรแกรม SolidWorks มาออกแบบ Fixture เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาต่อในอนาคตสำหรับการทดสอบเลเซอร์ไดโอดและตัวตรวจจับสัญญาณแสงโครงการพิเศษที่จะพัฒนาขึ้นนี้จะทำให้เครื่องมือทดสอบมีความสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้นทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิตและลดเวลาในการทดสอบขึ้นงาน

**คำสำคัญ:** ตัวตรวจจับสัญญาณแสง โปรแกรมซีลิคเวิร์ค โปรแกรมแลปวิว เลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Develop for testing Monitor photodiode and Laser diode
Students	Miss. Jirawan Thongkhamkieow Student ID 58051044 Mr. Navee Meemooso Student ID 58051081
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Mr.Surachart Kamoldilok
Co-advisor	Mr.Danthai Thongphiew, (Ph.D.)

### Abstract

Now a day in the part of production High Power Laser (HPL) found Laser diode and Monitor photodiode are an important part and are still measured by hand. In this type of test, the value is still uncertain because the results are not accurate. Values will be displayed in the range  $3.72 \pm 0.5 \mu\text{A}$ . The testers will record the value in that range by handwriting may cause mis-values because there are many values and takes a long time. The new test method by using an automated testing system which will be used LabVIEW for rewrite the code and design the user interface to make it easier to use the operator also use SolidWorks program design fixture as a guideline for test Laser diode and Monitor photodiode. This project, which has been developed, will make the testing tools more convenient to use, thus reducing production costs and reducing testing time.

**Keywords:** LabVIEW, Laser diode, Photodetector, SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง พัฒนาการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Monitor photodiode) และเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ สุรชาติ กมลติก อาจารย์ที่ปรึกษาและดร.แดนไท ทองผิว ผู้จัดการอาวุโสฝ่ายวิศวกรรมที่ปรึกษาร่วมโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำแนวคิดตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอดจนโครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และผู้ปกครองที่คอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณบริษัท ลูเมนดัม อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด และผู้บริหารที่สนับสนุนเอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อเรียนรู้งานและศึกษาการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณนายจรินทร์ เพ็ชรวงศ์และนายปัญญาพัฒน์ จิโน รวมถึงสมาชิกในทีมคนอื่น ๆ ด้วยที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอใจสมาชิกในกลุ่มทุกคนที่คอยให้ความร่วมมือ ร่วมแรง ร่วมใจช่วยกันผ่านปัญหาต่าง ๆ ให้ข้อเสนอแนะให้คำปรึกษาจนทำให้ผลงานสำเร็จสมบูรณ์

จิราวรรณ ทองคำเขียว

นะวี มีมุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฌ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 โฟโตไดโอด (Photodiode).....	3
2.1.1 หลักการทำงานของโฟโตไดโอด.....	3
2.1.2 ประเภทของโฟโตไดโอด.....	4
2.2 ตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Photo detector).....	7
2.3 เลเซอร์ไดโอด (Laser diode ).....	7
2.3.1 หลักการทำงานของเลเซอร์ไดโอด.....	7
2.3.2 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด.....	8
2.4 การกระตุ้นและประสิทธิภาพของเลเซอร์ (Pumping and Laser efficiency).....	10
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>12</b>
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือ.....	12
3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	12
3.2.1 ขั้นตอนการออกแบบซอฟต์แวร์.....	13
3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์.....	23
3.3.1 ตัวชิ้นงานที่ออกแบบ.....	23
3.3.2 ประกอบชิ้นงาน (Assembly).....	26

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	31
4.1 การพัฒนาซอฟต์แวร์.....	31
4.2 การพัฒนาฮาร์ดแวร์.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	50
หนังสือยินยอมให้เผยแพร่ข้อมูลของสถานประกอบการ คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา อักษรวิสุทธิ์	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 หน้าที่ของปุ่มควบคุมที่อยู่ในหน้าจอหลัก.....	23
4.1 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 1.....	31
4.2 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 2.....	33
4.3 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 3.....	34
4.4 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 4.....	35
4.5 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 5.....	36
4.6 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 6.....	38
4.7 ตารางแสดงแผนภูมิกราฟเลเซอร์ไดโอด.....	39
4.8 ตารางแสดงแผนภูมิกราฟตัวตรวจจับสัญญาณแสง.....	40
4.9 กราฟเปรียบเทียบของผลการทดสอบระหว่างอัตโนมัติและจดค่าด้วยมือ.....	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สัญลักษณ์โฟโตไดโอด.....	3
2.2 รูปโฟโตไดโอดแบบรอยต่อพี-เอ็น เมื่อได้รับแสง.....	3
2.3 Recovery time.....	4
2.4 ลักษณะโครงสร้างของพินโฟโตไดโอด (PIN photodiode).....	5
2.5 ลักษณะโครงสร้างของอะวาลานช์โฟโตไดโอด (Avalanche photodiode: APD).....	6
2.6 หลักการป้อนกลับของโฟตอนเพื่อกระตุ้นให้อิเล็กตรอนปลดปล่อยพลังงานที่สูงกว่าออกมา กลายเป็นแสงเลเซอร์.....	8
2.7 โครงสร้างแสดงส่วนประกอบต่างๆของเลเซอร์ไดโอด.....	9
2.8 แสดงโครงสร้างชั้นต่าง ๆ ของเลเซอร์ไดโอด.....	9
2.9 แสดงการเพิ่มพลังงาน (Pumping) ให้แก่อะตอมและการเกิดประชากรผกผัน ระหว่างระดับ พลังงานที่ 2 และระดับพลังงานที่ 1.....	10
3.1 เปิด VISA Option จากโปรแกรม NI MAX.....	13
3.2 การตั้งค่า NI-VISA Passport.....	14
3.3 ตำแหน่งแสดงหมายเลข GPIB Address ของเครื่องมือวัดในโปรแกรม NI MAX.....	14
3.4 หน้าต่าง Input/output สำหรับการป้อนคำสั่ง.....	14
3.5 แสดงผลการเชื่อมต่อเมื่อคำสั่ง (Command)*IDN? ไปยังเครื่องมือ.....	15
3.6 ไฟล์ไดรเวอร์ที่ทำการแตกไฟล์แล้ว.....	15
3.7 ไดรเวอร์เครื่องมือ.....	16
3.8 เลือกไดรเวอร์เครื่องมือ.....	16
3.9 Block diagram ของKeithley 24XX Perform statistic operation.....	17
3.10 Front diagram ของ Keithley 24XX Preform statistical operation.....	17
3.11 วงจรที่สร้างขึ้นใหม่.....	17
3.12 ปรับการทำงานของ Boolean.....	18
3.13 เพิ่มการทำงาน Event case.....	18
3.14 เพิ่มการทำงาน Event case แล้ว.....	18
3.15 เพิ่มการทำงาน Event case แล้ว.....	19
3.16 รูป Block diagram และ Front panel.....	19
3.17 Numerical properties สำหรับ Step level.....	19
3.18 Block diagram และ Front diagram.....	20
3.19 วงจรภาพ Block diagram และ Front diagram.....	20

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 Block diagram วงจร Stack sequent ที่ 0 กับวงจรไตรเวอร์ของเครื่องมือ.....	20
3.21 Block diagram วงจร Stack sequent ที่ 1 กับวงจรไตรเวอร์ของเครื่องมือ.....	21
3.22 Block diagram วงจร Stack sequent ที่ 2 กับวงจรไตรเวอร์ของเครื่องมือ.....	22
3.23 Front panel วงจรใหม่ที่ทำเชื่อมกันแล้ว.....	22
3.24 ฐานรองส่วนล่าง (Base down).....	23
3.25 ฝาปิดตัวงาน(Base up).....	24
3.26 ฐานรองชิ้นงาน (Base chip).....	24
3.27 ฐานรองเข็มวัดส่วนล่าง (Base probe down) และภาพแบบ (Drawing).....	24
3.28 ฐานรองเข็มวัดส่วนบน (Base probe up) และภาพแบบ (Drawing).....	25
3.29 แผ่นลายวงจรไฟฟ้า (Printed circuit board) และภาพแบบ (Drawing).....	25
3.30 ฝาปิดเข็มวัด (Base upper PCB) และภาพแบบ (Drawing).....	25
3.31 เข็มวัด รุ่น ULC-195 และภาพแบบ (Drawing).....	26
3.32 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จะนำมาติดกัน.....	26
3.33 Mates slot ระหว่าง ฐานรอง (Base down) และฝาปิดตัวงาน (Base up).....	27
3.34 Mates ส่วนประกอบต่าง ๆ.....	27
3.35 ส่วนประกอบต่างๆของเข็มวัด.....	28
3.36 ภาพแบ่งครึ่งเข็มวัด แสดงถึงตำแหน่งและระยะต่าง ๆ ภายใน.....	28
3.37 เข็มวัดที่ประกอบเสร็จแบบสามมิติมุมมองด้านบน.....	28
3.38 สกรูที่ใช้ ขนาด M1.6 ยาว 60 มิลลิเมตร.....	29
3.39 เข็มที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยอย่างสมบูรณ์.....	29
3.40 เข็มวัดและฐานรองชิ้นงานหลัก.....	29
3.41 ระยะต่าง ๆ ภายในฐานรองชิ้นงานหลัก.....	30
3.42 ตำแหน่งต่างๆของการวัดบนตัวชิ้นงานระหว่างเข็มวัดตัวชิ้นงาน.....	30
4.1 หน้าต่างโปรแกรมทดสอบอุปกรณ์.....	31
4.2 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่ความต่างศักย์ +1.5 โวลต์ของ LD.....	44
4.3 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่ความต่างศักย์ +0.1 โวลต์ของ LD.....	44
4.4 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่ความต่างศักย์ -3.5 โวลต์ของ MPD.....	44
4.5 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่ความต่างศักย์ -1.5 โวลต์ของ MPD.....	45
4.6 รูปแสดงเวลาการทดสอบแบบจุดค่าด้วยมือ.....	45
4.7 รูปแสดงเวลาการทดสอบแบบอัตโนมัติ.....	46

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
LD	เลเซอร์ไดโอด
MPD	ตัวตรวจจับสัญญาณแสง
AUTO	การทดสอบระบบอัตโนมัติ
MANUAL	การทดสอบจดค่าด้วยมือ
CADD	การช่วยออกแบบและเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์
GUI	การใช้ภาพเป็นตัวประสานงานแก่ผู้ใช้
DAQ	การรวบรวมข้อมูลจริง
VI	โปรแกรมที่จำลองเครื่องมือวัด
SubVI	VI ที่ถูกเรียกใช้งานใน VI อื่น
GPIB	อุปกรณ์ส่งผ่านข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมเครื่องมือวัด
PCB	แผ่นลายวงจร
ISO	มาตรฐานสากล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการปฏิบัติงานในส่วนงานผลิต High power laser (HPL) พบว่าการทดสอบเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) และตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Monitor photodiode) เป็นส่วนที่สำคัญซึ่งการทดสอบยังคงเป็นการทดสอบด้วยมือ ซึ่งการทดสอบในลักษณะแบบนี้ค่าที่ได้ยังคงมีความไม่แน่นอนเนื่องจากผลที่แสดงไม่ใช่ค่าที่แม่นยำ ค่าที่แสดงจะแสดงเป็นช่วง เช่น  $3.72 \pm 0.5$  ไมโครแอมแปร์ ซึ่งผู้บันทึกผลจะทำการบันทึกค่าที่อยู่ในช่วงดังกล่าวโดยการบันทึกผลการทดสอบด้วยมือจึงอาจทำให้เกิดการจดค่าผิดพลาดเพราะมีหลายค่าและอาจใช้เวลาอันยาวนานจึงอาจเป็นการทำให้เสียเวลาและเสียต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการผลิตตัวชิ้นงานอย่างน่าเสียดาย ดังนั้นจึงนำปัญหาในส่วนนี้ขึ้นมาเป็นหัวข้อที่จะทำการวิจัย โดยการใช้ระบบการทดสอบแบบอัตโนมัติและออกแบบอุปกรณ์ช่วยทดสอบชิ้นงานเพื่อเป็นแนวทางพัฒนาต่อในอนาคตและ เพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำของการบันทึกผลและช่วยลดเวลาในการตรวจสอบชิ้นงานได้ โดยการนำโปรแกรม LabVIEW และ SolidWorks มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) พัฒนาการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ไดโอด (Laser diode) และตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Monitor photodiode)
- 2) เพื่อพัฒนาเครื่องมือให้มีความสะดวกต่อการใช้งานและใช้เวลาในการทดสอบน้อยลง

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ได้พัฒนาการทดสอบของอุปกรณ์เลเซอร์ไดโอด (Laser diode) และตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Monitor photodiode) เพื่อคัดแยกงานเสียและช่วยลดระยะเวลาในการทดสอบชิ้นงาน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) พัฒนาระบบการตรวจสอบของอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณแสงและเลเซอร์ไดโอดได้
- 2) ให้เครื่องมือมีความสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้นและลดเวลาในการทดสอบให้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ช่วงเวลา				
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
ศึกษาการทำงานส่วนต่าง ๆ ในไลน์ผลิต					
ดำเนินการทดสอบ					
วิเคราะห์ผลการทดสอบ					
ปรับปรุงแก้ไข					
สรุปผลการทดสอบ					



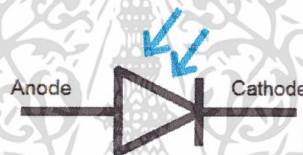
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 โฟโตไดโอด (Photodiode)

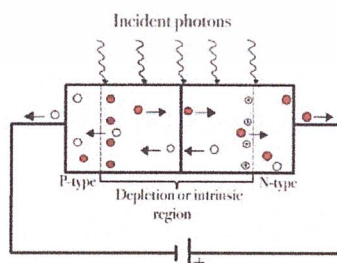
โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์นำกระแสซึ่งจะนำกระแสได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวอุปกรณ์ ซึ่งในตัวอุปกรณ์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น บริเวณรอยต่อจะถูกต่อให้กลับขั้วด้วยวัสดุประเภทที่แสงสามารถทะลุผ่านได้ เช่น กระจกใส ซึ่งโฟโตไดโอดจะถูกต่อแบบแรงดันกระแสกลับ (Reverse bias) เพื่อนำไปใช้งาน เนื่องจากยังไม่ต้องทำให้โฟโตไดโอดทำงานเลยจนกว่าจะมีปริมาณแสงสว่างมากพอตามที่กำหนดเสียก่อน กล่าวคือเมื่อแสงไปตกที่เลนส์ของโฟโตไดโอดจะเกิดกระแสรั่วไหลและปริมาณกระแสรั่วไหลนี้จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสง โดยสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์โฟโตไดโอด

#### 2.1.1 หลักการทำงานของโฟโตไดโอด

การทำงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น เมื่อบริเวณรอยต่อพี-เอ็นได้รับโฟตอนที่มีพลังงานเพียงพอตกกระทบจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลใหม่เกิดขึ้น (Electron-hole pair) ทำให้อิเล็กตรอนจากฝั่งพีนั้นเคลื่อนที่ข้ามบริเวณปลอดพาหะ (Depletion region) ไปยังฝั่งเอ็น ในขณะที่โฮลจากฝั่งเอ็น ก็จะเคลื่อนที่ข้ามบริเวณปลอดพาหะไปยังฝั่งพีผลคือเกิดกระแสไหลขึ้น



รูปที่ 2.2 รูปโฟโตไดโอดแบบรอยต่อพี-เอ็น เมื่อได้รับแสง

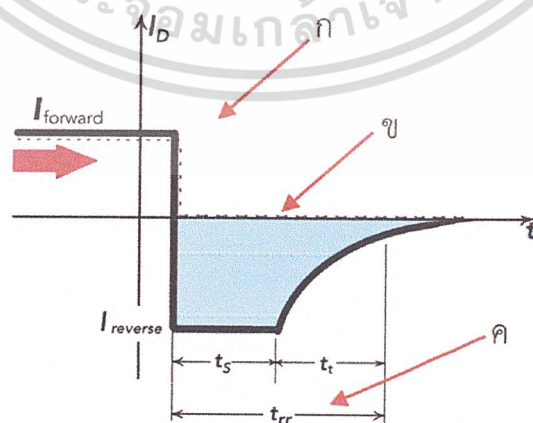
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีไดโอดจะมีกระแสไหลผ่านได้เยอะหรือน้อยเท่าไหร่นั้นจะถูกขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงเมื่อโพลีไดโอดได้รับแรงดันกระแสกลับ (Reverse bias) ด้วยค่าแรงดันค่าหนึ่งและเมื่อถูกแสงตกกระทบบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร ซึ่งกระแสนั้นจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาจากกระทบบและลักษณะของแรงดันกระแสตรง (Forward-bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาคือยอมให้กระแสไหลผ่านได้

### 2.1.2 ประเภทของโพลีไดโอด

ช็อกกี้ โพลีไดโอด (Schottky diode) เป็นไดโอดที่ให้ค่าความเร็วสูงและตรวจจับความยาวคลื่นที่ยาว ซึ่งคุณสมบัติเฉพาะของ Schottky diode ซึ่งไม่พบในโพลีไดโอดประเภทอื่นคือช็อกกี้ไดโอด สร้างขึ้นจากโลหะเพื่อสร้างการสัมผัสของสารกึ่งตัวนำ เมื่อนำโลหะและสารกึ่งตัวนำมารวมกันจะเกิดชั้นกีดขวางขึ้น (Schottky barrier) ซึ่งถูกสร้างขึ้นบนพื้นผิวที่เชื่อมต่อกันสิ่งนี้จะแสดงให้เห็นถึงเอกลักษณ์ของช็อกกี้ไดโอดและเนื่องจากการที่มีแรงดันตกต่ำและการสลับที่รวดเร็วมาก ดังนั้นจึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในที่ใช้ในวงจร Switching วงจรที่ใช้กับโซล่าเซลล์และใช้เป็น Clamp-diode ในไอซีประเภท TTL (ตระกูล 74S, LS) ช็อกกี้ไดโอดเป็นไดโอดที่มีการออกแบบรอยต่อพี-เอ็นแบบพิเศษ ให้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) แรงดันไฟกระแสตรง ( $V_f$ ) ต่ำ ปกติแล้วซิลิกอนไดโอดทั่วไป เช่น เบอร์ 1N4007 จะมีค่า  $V_f$  ประมาณ 0.6 - 0.7V และเมื่อกระแสไหลผ่านมาก  $V_f$  อาจมากถึง 1V แต่ช็อกกี้ไดโอดจะมี  $V_f$  เพียง 0.2 - 0.5V
- 2) Low junction capacitance ซึ่ง junction capacitance  $C_j$  คือค่าความจุแฝงทางไฟฟ้าที่ปรากฏที่รอยต่อซึ่ง ไดโอดทั่วไปจะมี  $C_j$  ประมาณ 15 - 20 pF แต่ช็อกกี้ไดโอด จะมีค่า  $C_j$  เพียง 3 - 5 pF เท่านั้นเป็นผลทำให้ทำงานกับความถี่สูงในวงจรประเภท RF ได้ดี
- 3) Fast recovery time มี Recovery time ดังรูปที่ 2.3



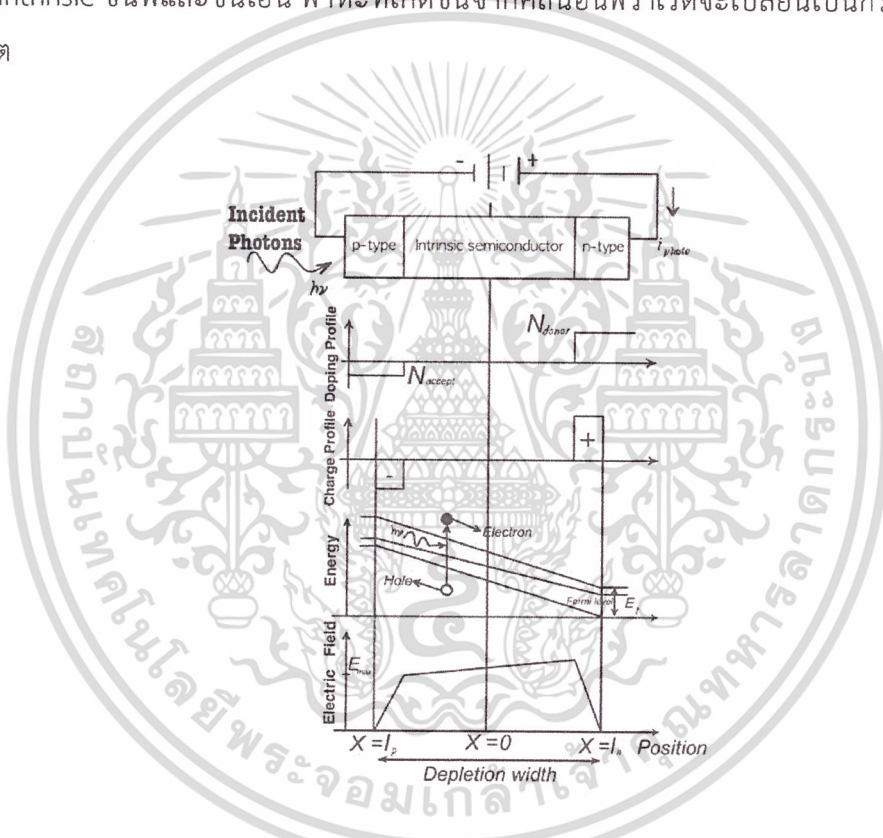
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.3 Recovery time  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุด ก คือจุดที่เปลี่ยนจากแรงดันกระแสตรงไปเป็นแรงดันกระแสกลับ

จุด ข คือสิ่งที่อยากให้ได้โอดตอบสนองในที่นี้ คือการหยุดกระแสได้แบบทันที

จุด ค คือบริเวณรอยต่อของ Diode จะมีประจุไฟฟ้าอยู่ ประจุจะมากหรือน้อย ขึ้นกับ  $C_f$  ที่ทำให้เกิด  $I_{reverse}$  นานเท่ากับ  $T_{rr}$  ซึ่ง Schottky diode จะมี  $T_{rr}$  สั้นมากประมาณ 5 ns หาก เป็น Diode ธรรมดา ค่า  $T_{rr}$  จะมากกว่า 5,000 เท่า

พินโฟโตไดโอด (PIN photodiode) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสงที่มีชั้นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic) กั้นอยู่ตรงกลางระหว่างสารชนิดพีและเอ็น เมื่อมีคลื่นอินฟราเรดตกกระทบลงบนพินโฟโตไดโอดทางด้านสารชนิดพี จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลอิสระขึ้นในชั้นต่าง ๆ ทั้งในชั้น Intrinsic ชั้นพีและชั้นเอ็น พาหะที่เกิดขึ้นจากคลื่นอินฟราเรดจะเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุต



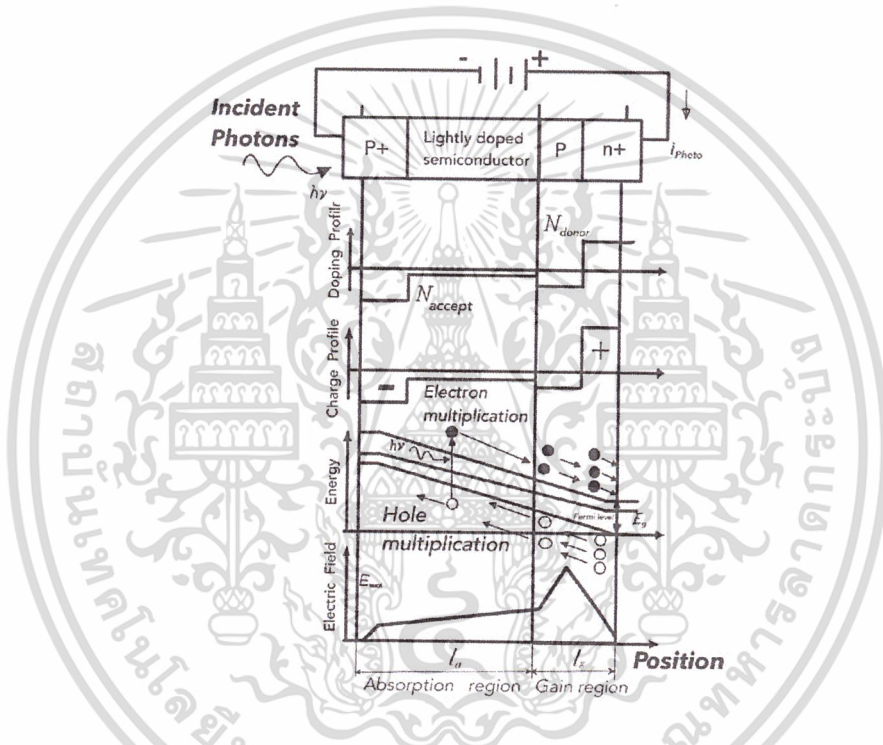
รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของพินโฟโตไดโอด (PIN photodiode)

ซึ่งการที่จะเกิดกระแสที่เอาต์พุตจะประกอบด้วยกลไก 2 กรณี คือกรณีแรก ถ้าพาหะอิสระจากชั้น Intrinsic ถูกพัดพาให้ไหลออกสู่วงจรภายนอกด้วยศักย์ไฟฟ้าภายใน (Built-in potential) โดยอิเล็กตรอนจะไหลออกทางชั้นเอ็นและโฮลจะไหลออกทางชั้นพี กระแสไฟฟ้าที่ได้ในลักษณะเช่นนี้เรียกว่ากระแสพัดพา (Drift currents) ส่วนชั้นของ Intrinsic นี้เรียกว่าชั้นปลอดพาหะและในกรณีที่สอง โฮลที่เกิดขึ้นในชั้นเอ็น ถ้ามีระยะทางการแพร่ซึม (Diffusion length) ที่ไกลเพียงพอที่จะ

แพร่ซึมจากชั้นเอ็นผ่านเข้าสู่ชั้น Intrinsic และจะไหลเข้าไปสู่ชั้นพีและกลายเป็นกระแสไฟฟ้าแพร่ซึม (Diffusion currents) ในทำนองเดียวกันอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในชั้นพี ถ้ามีระยะทางการแพร่ซึมที่ไกล

เพียงพอจะแพร่ซึมจากชั้นที่เข้าสู่ชั้น Intrinsic และชั้นเอ็น จะกลายเป็นกระแสไฟฟ้าแพร่ซึมด้วย ดังนั้นกระแสไฟฟ้ารวม กระแสพัดพา (Drift current) รวมกับกระแสไฟฟ้าแพร่ซึม (Diffusion-current)

อะวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche photodiode) อะวาลานซ์โฟโต เป็นโฟโตไดโอดที่ทำงานด้วยปรากฏการณ์อะวาลานซ์ (Avalanche effect) ซึ่งจะทำงานภายใต้แรงดันย้อนกลับ ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูงมากจนสามารถเร่งพาหะที่เกิดจากคลื่นอินฟราเรดให้วิ่งไปชนกับอะตอมในผลึก จนเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและเกิดอิเล็กตรอนชุดที่สอง (Secondary electron) เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งโครงสร้างของอะวาลานซ์โฟโตไดโอดแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของอะวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche photodiode: APD)

หลักการการทำงานของอะวาลานซ์โฟโตไดโอดจะคล้ายกับพินโฟโตไดโอด แต่แตกต่างกันตรงที่ในอะวาลานซ์โฟโตไดโอดจะมีส่วนขยายสัญญาณอยู่ด้วย โดยที่คลื่นอินฟราเรดที่เข้ามาทางขั้วแคโทดจะถูกดูดกลืนในชั้นปลอดพาหะ p- เมื่อมีสนามไฟฟ้ามาป้อนแบบแรงดันย้อนกลับ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนตัวไปสู่ชั้น n+ และโฮลจะเคลื่อนตัวไปสู่ชั้น p+ เนื่องจากในการผลิตจะออกแบบให้ชั้น p มีความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าชั้น p+ และ p- ดังนั้นสนามไฟฟ้าที่ป้อนส่วนใหญ่จะไปตกคร่อมที่ชั้น p มากที่สุด อิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกฉีดให้เข้ามาสู่ชั้น p จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าที่สูงมาก จะวิ่งไปชนกับโครงผลึกจนแตกตัวเป็นไอออน นั่นคือจะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดขึ้นไปสู่แถบคอนดักชันและมีโฮลเกิดขึ้นใหม่ในแถบวาเลนซ์และเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ซ้ำๆ จึงทำให้มีพาหะอิสระเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากและทำให้กระแสไฟฟ้าเอาท์พุทที่มีค่าสูงขึ้น ฉะนั้นอะวาลานซ์โฟโตไดโอดจึงสามารถขยาย

สัญญาณได้หรือมีค่าอัตราการขยาย (Gain) มากกว่าหนึ่ง ซึ่งจะแตกต่างจากฟิโนโตไดโอดที่มีค่าอัตราการขยายสัญญาณที่มีค่าไม่เกินหนึ่ง

## 2.2 ตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Photo detector)

Photo detector คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจจับสัญญาณแสงซึ่งมันจะทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยกระแสขาออกของตัวตรวจจับสัญญาณแสงจะสัมพันธ์กับกำลังของแสงที่ตกกระทบ ทั้งนี้พื้นที่และมุมรับแสงของตัวตรวจจับสัญญาณแสงมีขนาดใหญ่ อาจนำมาใช้เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับตัวตรวจจับสัญญาณแสง ตัวตรวจจับสัญญาณแสงแบ่งออกเป็น 2 แบบ โดยในแบบแรกเป็นการรับพลังงานแสง แล้วส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮล และเกิดกระแสขึ้น เช่น โฟโตไดโอด ส่วนในแบบที่สองซึ่งเป็นผลของพลังงานแสงที่มีต่อค่าความต้านทาน ตัวอย่างเช่น โบโลมิเตอร์ (bolometer) ตัวตรวจจับสัญญาณแสงในแบบแรกที่นิยมนำไปใช้งานและมีความเหมาะสมมากกว่า รวมทั้งมีอัตราความเร็วสูงกว่า

Photo detector มีหลายชนิดตัวอย่างเช่น ตัวต้านทานไวแสง (Light dependent-resistors: LDR) โฟโตเซล (Photocell) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) ตัวตรวจจับแสงทวีคูณแบบหลอดสุญญากาศ (Photomultiplier tubes: PMT) และโฟโตไดโอด (Photodiode) เป็นต้น

## 2.3 เลเซอร์ไดโอด (Laser diode : LD)

เลเซอร์ หรือ Laser ย่อมาจากคำเต็มคือ “Light Amplification by the Stimulated-Emission of Radiation” เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ประเภทหนึ่งที่มีโครงสร้างแบบไดโอด เลเซอร์ไดโอด (Laser diode) เป็นเลเซอร์ที่มีขนาดกลาง เกิดขึ้นจากรอยต่อของสารกึ่งตัวนำที่คล้ายกัน พบในไดโอดเปล่งแสงที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เลเซอร์ไดโอดจะเกิดขึ้นได้จากการฉีดกระแสไฟฟ้าเข้าไปซึ่งทำงานโดยการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นแสง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ทรงพลังและมีคุณสมบัติพิเศษมีประโยชน์ใช้งานอย่างกว้างขวาง อาจทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกเลียมอาร์เซไนด์) GaAlAs (แกเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) InGaAsP (อินเดียมแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานที่ต่างกัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ เช่น

GaAs ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 800 nm

GaAlAs ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 700 nm

InGaAsP ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 1300 nm และ 1550 nm

### 2.3.1 หลักการทำงานของเลเซอร์ไดโอด

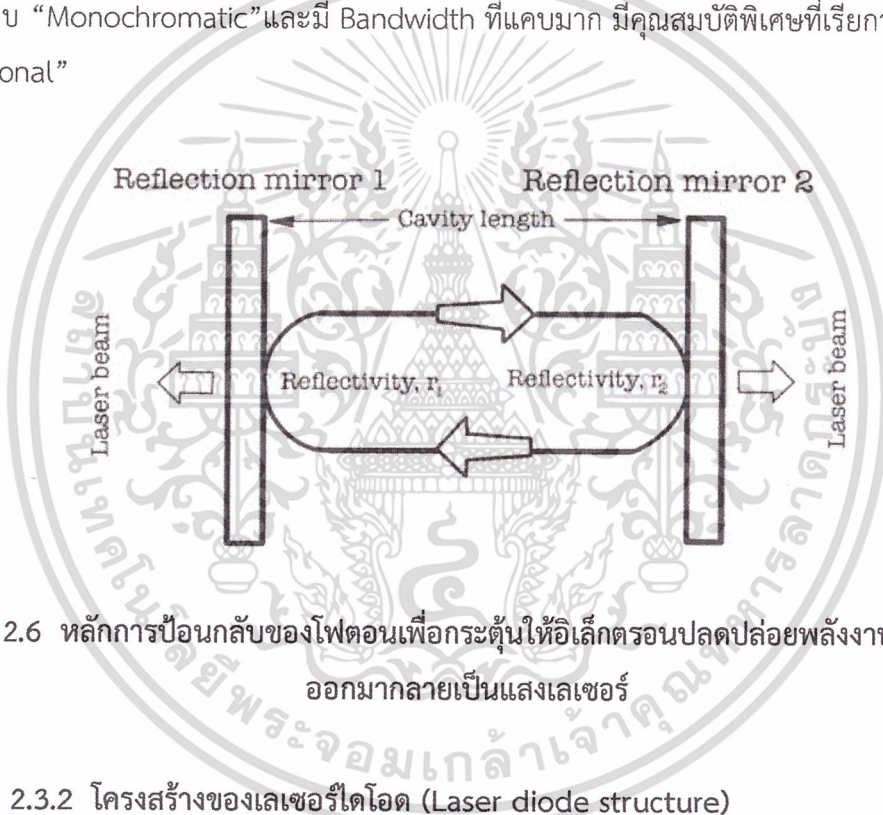
มีสามกลไกหลักของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กตรอนกับโฟตอนแสดงในรูปที่

#### 2.6 โดยแบ่งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) Absorption คือโฟตอนอาจจะถูกดูดซับพลังงานโดยอิเล็กตรอนในสถานะพื้นของแถบวาเลนซ์ (Valence band) ขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้นของแถบตัวนำ (Conduction band)
- 2) Spontaneous emission คือในทางกลับกันกับกรณีแรกอิเล็กตรอนในแถบตัวนำสามารถที่จะเปลี่ยนกลับไปยังระดับวาเลนซ์ได้โดยการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง
- 3) Stimulated emission คือพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาสามารถไปกระตุ้นอิเล็กตรอนตัวอื่น ให้ปลดปล่อยพลังงานออกมาอีก ซึ่งกระบวนการเช่นนี้เป็นการขยายแสง (Light amplification) และกระบวนการนี้จะทำให้เกิดความเข้มแสงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และในที่สุดจะเข้าสู่สถานะอยู่ตัว (Steady state)

แสงเลเซอร์จะถูกปล่อยออกมาจากไดโอด กลไกนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 แสงเลเซอร์เป็นแสงแบบ “Monochromatic” และมี Bandwidth ที่แคบมาก มีคุณสมบัติพิเศษที่เรียกว่า “Highly-directional”

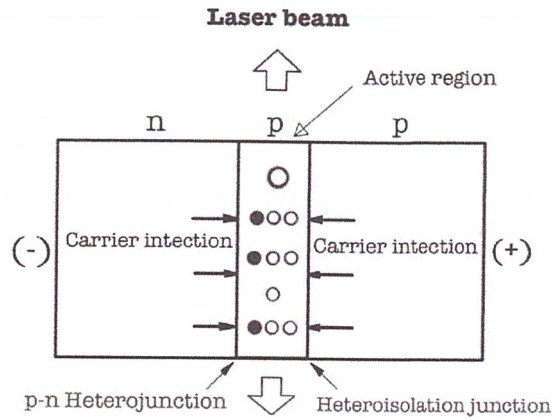


รูปที่ 2.6 หลักการบ้อนกลับของโฟตอนเพื่อกระตุ้นให้อิเล็กตรอนปลดปล่อยพลังงานที่สูงกว่า ออกมากลายเป็นแสงเลเซอร์

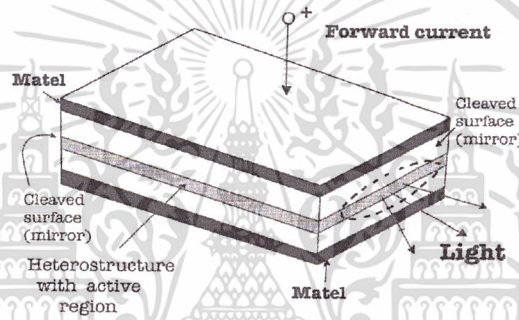
### 2.3.2 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด (Laser diode structure)

ลักษณะโครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.8 เมื่อไดโอดได้รับแรงดันไบอัสตรงอิเล็กตรอนในชั้นเอ็นจะถูกฉีดข้ามรอยต่อ (p-n junction) เคลื่อนเข้าไปในชั้นแอ็กทีฟ (Action-layer) ซึ่งมีขนาดแคบมาก ขณะเดียวกันโฮลจากชั้นพี (Heteroisolation-junction) จะถูกฉีดเข้ามาในชั้นแอ็กทีฟด้วยเช่นเดียวกันพาหะส่วนมากจะอยู่ในชั้นนี้เมื่ออิเล็กตรอนเข้าร่วมตัวกับโฮลจะมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงออกมา เนื่องจากด้านทั้งสองของสารกึ่งตัวนำจะถูกขัดให้เรียบและสามารถสะท้อนแสงได้ดี แสงที่ออกมาในช่วงแรกจะมีพลังงานต่ำและมีหลายความถี่จะถูกสะท้อนกลับเข้าไปยังภายในไดโอดเพื่อไปกระตุ้นให้อนุภาคมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาอีก จนในที่สุดจะได้แสงเลเซอร์ที่มีความเข้มสูงทำให้สามารถทะลุผ่านออกมาได้ หลักการนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้ใช้เฉพาะในวงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างแสดงส่วนประกอบต่างๆของเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างชั้นต่าง ๆ ของเลเซอร์ไดโอด

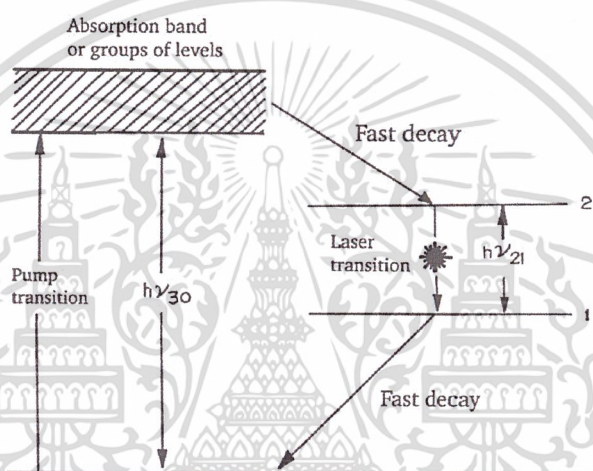
เลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจะมีการใช้งานที่ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่น เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดงจะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนเลเซอร์ไดโอดที่ให้แสงอินฟราเรดที่ค่าความยาวคลื่น 1550 nm จะใช้ในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เป็นต้น โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดประกอบด้วยหัวต่อพีเอ็นแบบเฮเทอโรจังชัน (Heterojunction) เช่น GaAlAs/GaAs ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอดเริ่มทำงานน้อยลง การฉีดกระแสไฟฟ้าผ่านหัวต่อพี-เอ็นของเลเซอร์ไดโอดเป็นวิธีการปั๊มพลังงาน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของพาหะนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำและนำมาสู่การเปล่งแสง แสงที่เปล่งออกมาจะถูกขยายสัญญาณให้มีความเข้มสูงขึ้น ด้วยโพรงขยายแสง (Cavity)

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กจิ๋ว กินไฟน้อย สามารถผลิตได้จำนวนมากๆ ด้วยเทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ไดโอดถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่การใช้เป็นเลเซอร์ พอยนเตอร์ (Laser pointer) ใช้ในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ใช้เป็นหัวอ่านของเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องวิดีโอเลเซอร์ดิสก์และเครื่องถ่ายเอกสารประเภท เลเซอร์พรีนเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ไดโอดมีกำลังแสงตั้งแต่ระดับ ไมโครวัตต์ ( $\mu\text{W}$ ) จนถึงวัตต์ ( $\text{W}$ ) และเป็นเลเซอร์ที่มีจุดเด่นคือ สามารถโมดูลเลตสัญญาณได้โดยตรง จึงสะดวกต่อการใช้งาน โดยเฉพาะการสื่อสารทางด้าแสง

## 2.4 การกระตุ้นและประสิทธิภาพของเลเซอร์ (Pumping and Laser efficiency)

โดยทั่วไปจะเลือกตัวกลางเลเซอร์ (Medium) ที่มีระดับพลังงานที่เหมาะสมและง่ายต่อการเพิ่มพลังงานให้เพื่อก่อให้เกิดขบวนการประชากรผกผันในเนื้อสารจำเป็นต้องเลือกหาตัวกลางเลเซอร์ที่มีระดับพลังงาน 4 ระดับ (Four level laser system) ดังรูปที่ 2.9



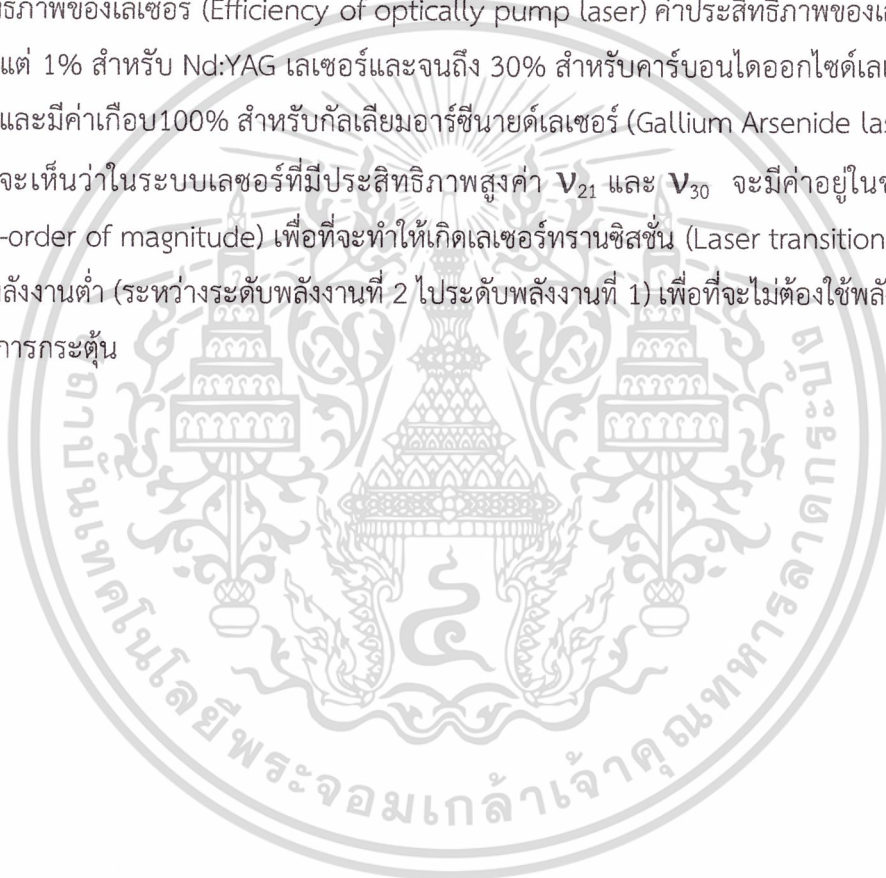
รูปที่ 2.9 แสดงการเพิ่มพลังงาน (Pumping) ให้แก่อะตอมและการเกิดประชากรผกผัน (Population inversion) ระหว่างระดับพลังงานที่ 2 และระดับพลังงานที่ 1

อะตอมของตัวกลางเลเซอร์ในระดับชั้นพลังงานต่ำสุด (Ground stat) ได้รับพลังงานกระตุ้นเปลี่ยนไปอยู่ที่ในระดับพลังงานที่ 3 และจะปลดปล่อยพลังงานออกมาจึงเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจากระดับพลังงานที่ 3 ไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่ 2 พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของแสงแบบไร้ทิศทาง อะตอมเหล่านั้นจะอยู่ที่ระดับพลังงานที่ 2 นานกว่าระดับพลังงานอื่น ๆ เราเรียกว่า “ระดับชั้นพลังงานกึ่งเสถียร (Metastable state)” จึงเกิดประชากรผกผัน (Population inversion) จากนั้นอะตอมจะปลดปล่อยพลังงานออกมาจึงเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานมายังชั้นที่ 1 ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมานั้นจะอยู่ในรูปของแสงที่มีทิศทางที่แน่นอน หรือแสงเลเซอร์นั่นเอง สุดท้ายอะตอมในระดับพลังงานที่ 1 จะลดค่าพลังงานอย่างรวดเร็วสู่ระดับพลังงานต่ำสุดดังนั้นประชากรผกผัน (Population inversion) เกิดขึ้นระหว่างระดับพลังงานที่ 2 และระดับพลังงานที่ 1 การเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของ

เอกสารอะตอมในระดับพลังงานที่ 2 พร้อมกันสู่ระดับพลังงานที่ 1 ส่งผลให้เกิดเป็นแสงเลเซอร์ที่มีความถี่  $\nu_{21}$  ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าพลังงานต่ำสุดที่ใช้ในการกระตุ้นที่ทำให้เกิดเลเซอร์หนึ่งตัวก็คือ  $E=h\nu_{30}$  ดังนั้นประสิทธิภาพของกำลัง (Power efficiency) ของเลเซอร์จะไม่เกินค่าอัตราส่วนระหว่าง  $\nu_{21}$  ต่อ  $\nu_{30}$

ประสิทธิภาพรวมของเลเซอร์ (Overall laser efficiency) ขึ้นอยู่กับเศษส่วนของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอมจากระดับพลังงานต่ำสุดไประดับพลังงานที่ 3 และขึ้นอยู่กับค่าประสิทธิภาพการกระตุ้นในระดับควอนตัม (Pumping quantum efficiency) คือเศษส่วนของจำนวนอะตอมในระดับพลังงานที่ 3 ที่เปลี่ยนไปสู่ระดับพลังงานที่ 2 และผลคูณของเศษส่วนของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอมจากระดับพลังงานต่ำสุดไปสู่ระดับพลังงานที่ 3 กับค่าประสิทธิภาพการกระตุ้นในระดับควอนตัมคือค่าสูงสุด (Upper limit) ของประสิทธิภาพของเลเซอร์ (Efficiency of optically pump laser) ค่าประสิทธิภาพของเลเซอร์นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 1% สำหรับ Nd:YAG เลเซอร์และจนถึง 30% สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ( $\text{CO}_2$  - laser) และมีค่าเกือบ 100% สำหรับกัลเลียมอาร์ซีนายด์เลเซอร์ (Gallium Arsenide laser) อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าในระบบเลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงค่า  $\nu_{21}$  และ  $\nu_{30}$  จะมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน (Same-order of magnitude) เพื่อที่จะทำให้เกิดเลเซอร์ทรานซิชัน (Laser transition) ระหว่างค่าระดับพลังงานต่ำ (ระหว่างระดับพลังงานที่ 2 ไประดับพลังงานที่ 1) เพื่อที่จะไม่ต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการกระตุ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการพัฒนาระบบการตรวจสอบของอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณแสง (Monitor photodiode) และเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) เพื่อช่วยระยะเวลาในการตรวจสอบชิ้นงาน และได้เสนออุปกรณ์ตรวจวัดชิ้นงานเพื่อแนวทางนำไปใช้งานต่อไปในอนาคต ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

#### 3.1 อุปกรณ์เครื่องมือ

- 1) Computer
- 2) Keithley 2401 source meter
- 3) โปรแกรม LabVIEW
- 4) โปรแกรม SolidWorks
- 5) Pump laser
- 6) GPIB
- 7) LIX Lightwave LDM-4980 SERIES LASER DIODE MOUNT

#### 3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

โปรแกรมจะทำหน้าที่ติดต่อกับเครื่องมือ Keithley 2401 Source meter ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมกันผ่านสาย GPIB-USB-HS เพื่อควบคุมการทดสอบชิ้นงานด้วยอุปกรณ์ LIX-Lightwave LDM-4980 SERIES LASER DIODE MOUNT ซึ่งการอ่านข้อมูลทำได้โดยการจ่ายไฟเข้าไปที่ขาของชิ้นงานผ่านอุปกรณ์การทดสอบที่ถูกควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยผ่านเครื่อง Keithley 2401 Source meter โดยการจ่ายแรงดันแต่ละค่าจะจ่ายห่างกัน 0.3 วินาที เพื่อให้การอ่านค่ามีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยโปรแกรมจะลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) ใส่ช่วงแรงดันที่ต้องการวัดระหว่างค่าแรงดันต่ำสุด Min ถึงค่าแรงดันสูงสุด Max หน่วยของแรงดันจะเป็นหน่วยโวลต์และกำหนดความละเอียดของแรงดันแต่ละค่าที่จะทำการวัดที่ Step level
- 2) ค่าแรงดันจะไปควบคุม Keithley 2401 Source meter และส่งไปควบคุมอุปกรณ์ทดสอบ LIX-Lightwave LDM-4980 SERIES LASER DIODE MOUNT
- 3) เมื่อจ่ายแรงดันจนครบตามที่กำหนดแล้วค่ากระแสที่ได้จากการทดสอบจะส่งกลับมายังเครื่อง Keithley 2401 Source meter และส่งข้อมูลกลับมายังตัวโปรแกรม LabVIEW และบันทึก

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

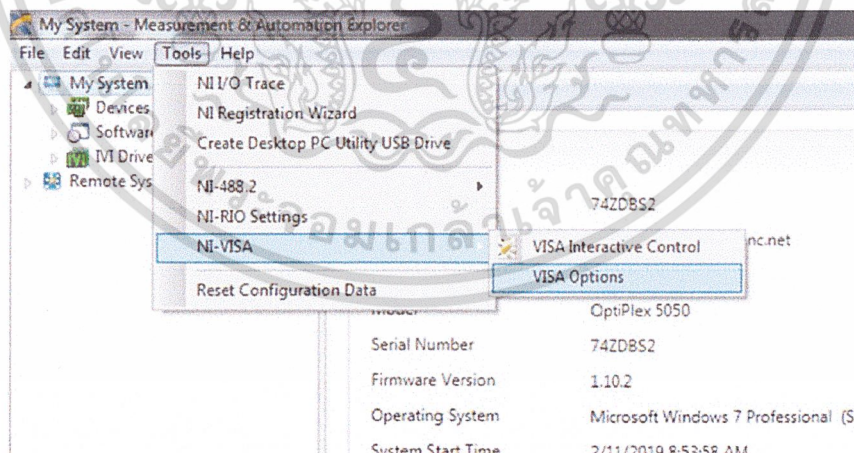
### 3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.2.1.1 ขั้นตอนการเชื่อมต่อเครื่องมือกับโปรแกรม LabVIEW ด้วยสาย GPIB (มาตรฐาน IEEE 488.2)

- 1) ติดตั้งโปรแกรม LabVIEW
- 2) ติดตั้งซอฟต์แวร์ VISA ในที่นี้คือ NI VISA
- 3) ติดตั้งซอฟต์แวร์ NI 488.2 ของสายเชื่อมต่อข้อมูลของบริษัท National instrument ในที่นี้คือสาย NI GPIB-USB-HS
- 4) ต่อสาย GPIB ด้านพอร์ต USB กับคอมพิวเตอร์แล้วรอจนไฟขึ้นที่คำว่า Ready เพียงดวงเดียว
- 5) ต่อพอร์ต GPIB กับเครื่องมือที่จะควบคุม
- 6) เปิดเครื่องมือที่จะควบคุมและตั้งค่าให้เครื่องมือสื่อสารผ่านพอร์ต USB และตั้งค่านามเลข GPIB address โดยวิธีการตั้งค่าให้ดูจากคู่มือการใช้งานของแต่ละเครื่องมือ
- 7) ตั้งค่าให้ NI VISA สื่อสารกับเครื่องมือผ่านโปรแกรม MAX (Measurement & Automation-explorer) โดยการเปิดโปรแกรม NI MAX และการเชื่อมต่อสามารถทำได้โดย

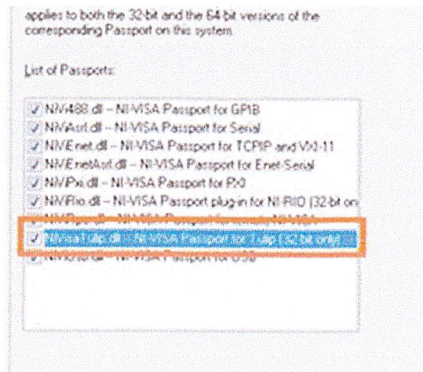
#### 3.2.1.2 การเชื่อมต่อ NI VISA กับเครื่องมือสามารถทำได้โดย

- 1) เลือก Tool > NI-VISA > VISA Options



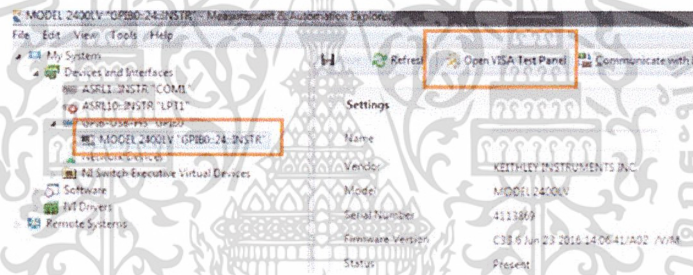
รูปที่ 3.1 เปิด VISA Option จากโปรแกรม NI MAX

- 2) กดเลือก Passports และเลือก NI-VISA Passport for Tulip เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (NIVisaTulip.dll) ตั้งรูปแล้วกดบันทึก (Save) และปิดโปรแกรม ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



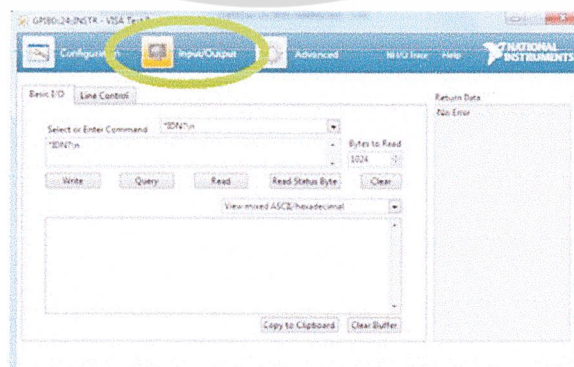
รูปที่ 3.2 การตั้งค่า NI-VISA Passport

3) เปิดโปรแกรม NI MAX อีกครั้งแล้วไปที่ Device and interface ตั้งรูป แล้วเลือกเปิด Open VISA test panel



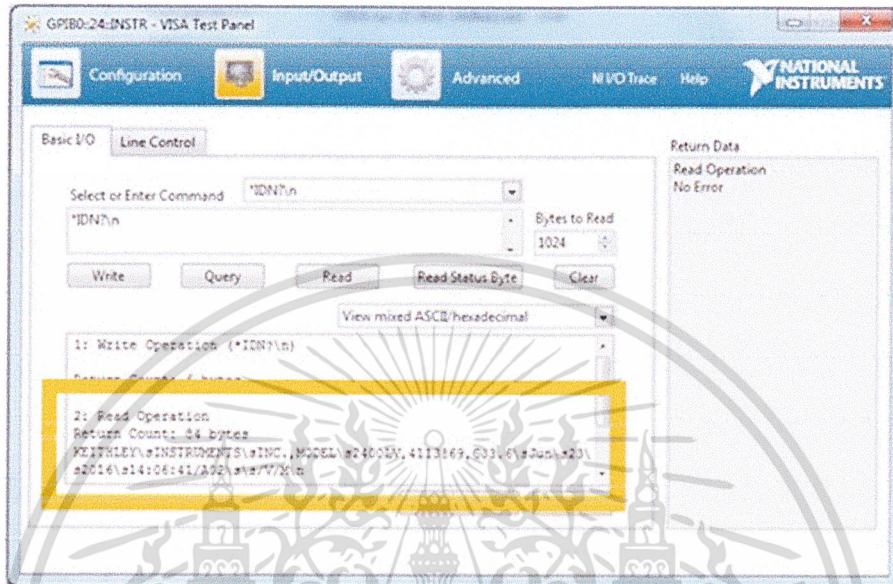
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งแสดงหมายเลข GPIB Address ของเครื่องมือวัดในโปรแกรม NI MAX

4) หน้าต่าง Open VISA test panel แสดงดังรูปแล้วให้กดเลือก Input/output



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกรูปที่ 3.4 หน้าต่าง Input/output สำหรับการป้อนคำสั่ง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หน้าต่าง Input/output แสดงดังรูปให้กด Query 1 ครั้งซึ่งเป็นการทดสอบการทดสอบการเชื่อมต่อระหว่าง NI-VISA กับเครื่องมือที่อยู่ ผลการทดสอบแสดงดังรูปถัดไป



รูปที่ 3.5 แสดงผลการเชื่อมต่อเมื่อคำสั่ง (Command)\*IDN? ไปยังเครื่องมือ

### 3.2.1.3 ขั้นตอนการลงไดร์เวอร์ของเครื่องมือ

- 1) ดาวน์โหลดไดร์เวอร์เครื่องมือ โดยให้เลือกรุ่นของเครื่องมือให้ตรงตามที่เราใช้งานจากลิ้งค์ <http://www.ni.com/downloads/instrument-divers/>
- 2) เมื่อได้ไฟล์ไดร์เวอร์แล้วให้ทำการแตกไฟล์
- 3) คัดลอกไฟล์ไปวางไว้ที่ตำแหน่ง

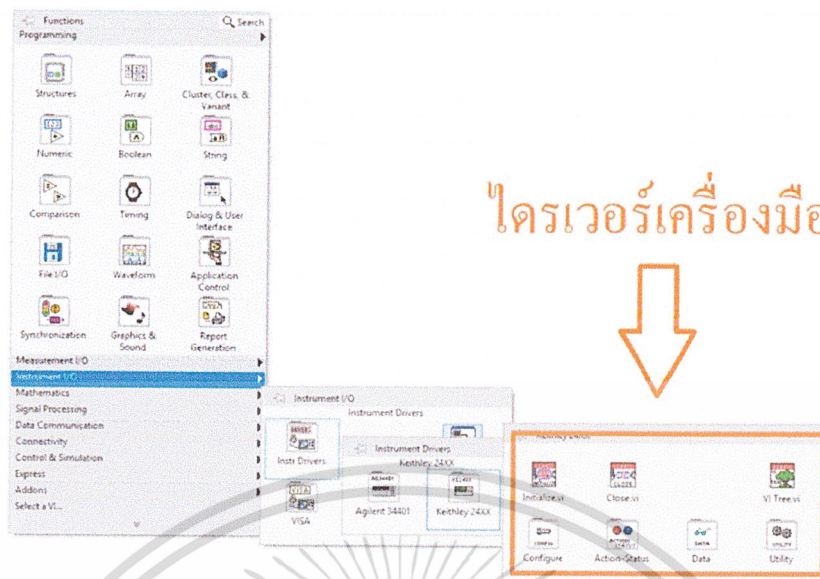
C:\Program Files\National Instruments\LabVIEW 2018\instr.lib

Name	Date modified	Type
Keithley 24XX	1/24/2019 10:46 A...	File folder
keithley_24xx	1/24/2019 10:44 A...	WinRAR ZI

คัดลอก

### รูปที่ 3.6 ไฟล์ไดร์เวอร์ที่ทำการแตกไฟล์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



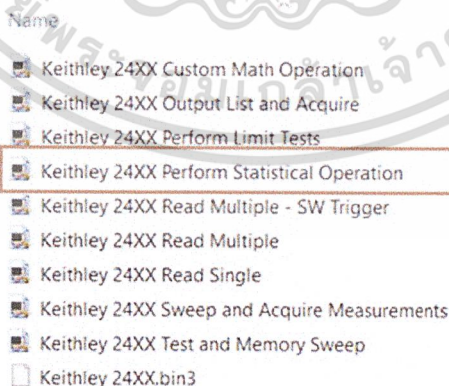
รูปที่ 3.7 ไดร์เวอร์เครื่องมือ

### 3.2.1.3 ขั้นตอนการแก้ไขไดร์เวอร์ของเครื่องมือ

1) เปิดไฟล์ไดร์เวอร์เครื่องมือที่ดาวน์โหลดมาแล้วโดยเลือก

Keithley 24XX > Example > Keithley 24XX Perform statistical operation

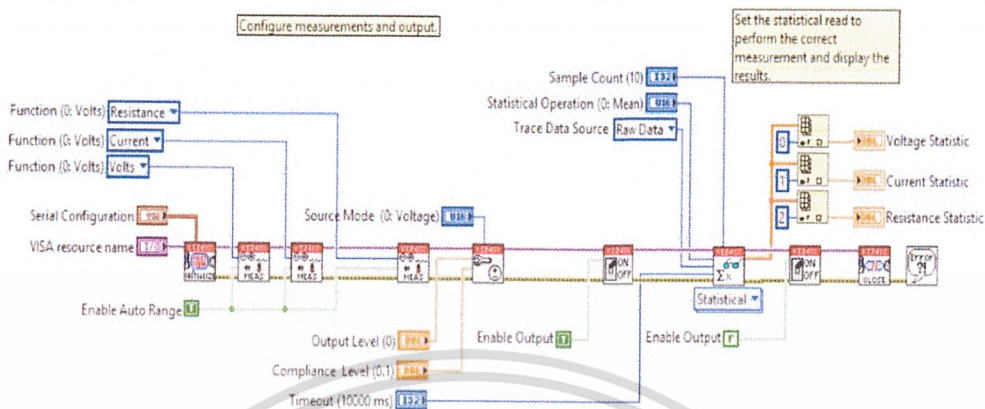
ใช้ไดร์เวอร์ Perform statistical operation เนื่องจากไดร์เวอร์ตัวนี้เป็นารแสดงผลแบบค่าเฉลี่ยแล้ว ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากไม่ต้องทำการทดสอบหลายๆครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยอีก



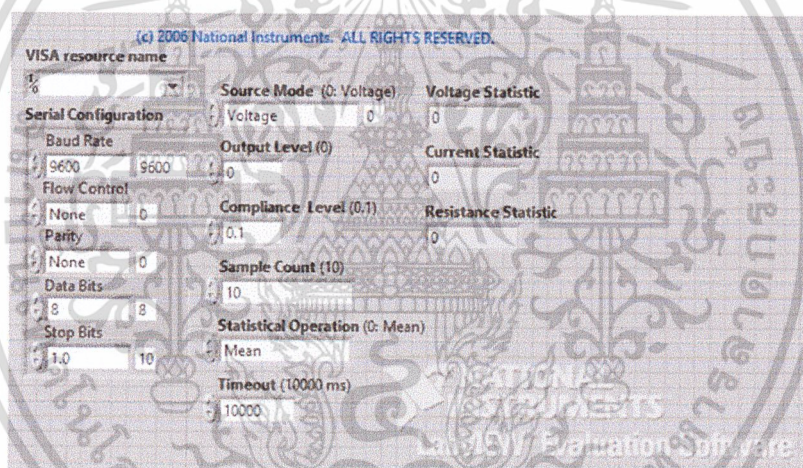
รูปที่ 3.8 เลือกไดร์เวอร์เครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เปิด Block diagram โดยส่วนที่จะเพิ่มเติมได้แก่ ปุ่มเริ่มการทำงาน วงจรนับและส่วนบันทึกข้อมูล



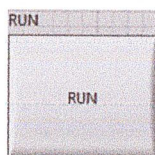
รูปที่ 3.9 Block diagram ของ Keithley 24XX Perform statistic operation



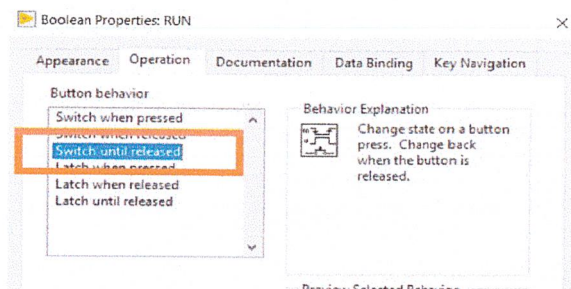
รูปที่ 3.10 Front diagram ของ Keithley 24XX Perform statistical operation

3) สร้างวงจรมขึ้นมาใหม่โดยไปที่ File > New VI

3.1) เพิ่มปุ่มเริ่มการทำงานโดยใช้ Boolean 1 ขึ้น จากนั้นปรับการทำงานของ Boolean โดยการคลิกขวาแล้วไปยัง Properties แล้วเลือก Switch until released

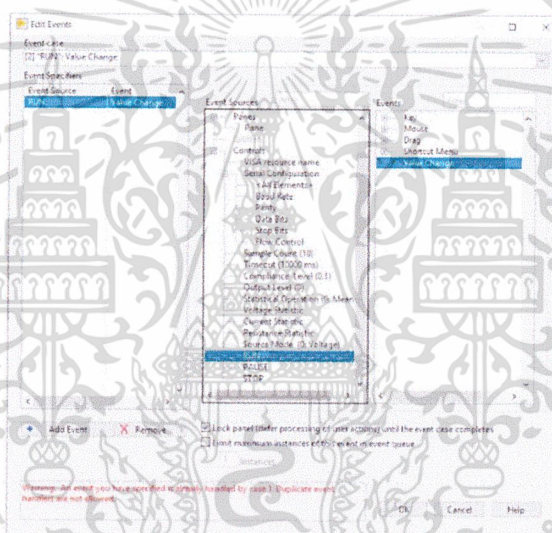


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 3.11 วงจรที่สร้างขึ้นใหม่ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

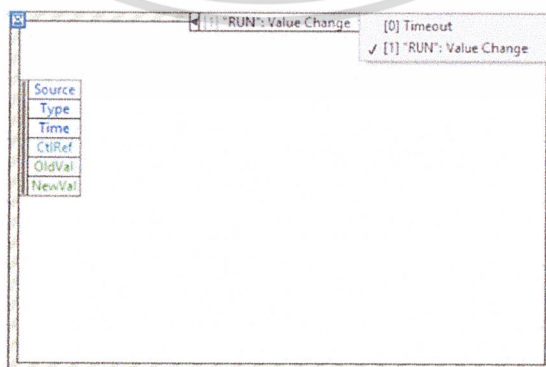


รูปที่ 3.12 ปรับการทำงานของ Boolean

3.2) สร้าง Event structure และเพิ่มการทำงาน โดยการ คลิกขวา ไปยัง Add event case แล้วเลือกปุ่มที่จะทำงานจากนั้นเลือก Value Change แล้วกด OK

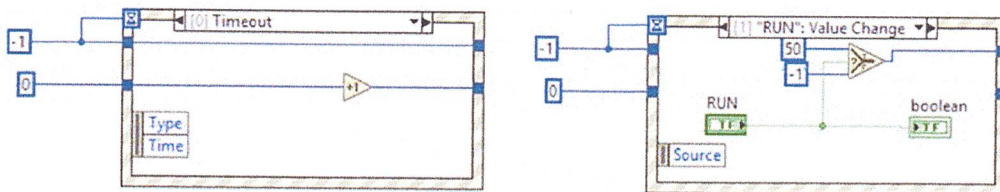


รูปที่ 3.13 เพิ่มการทำงาน Event case



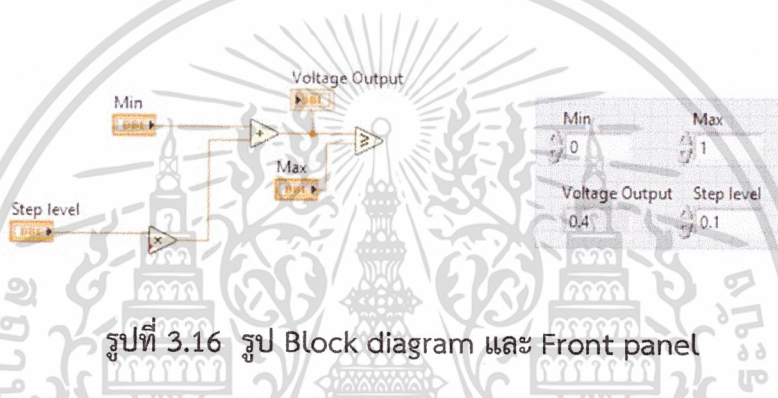
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3.14 เพิ่มการทำงาน Event case แล้ว

### 3.3) เขียนวงจรดังรูป



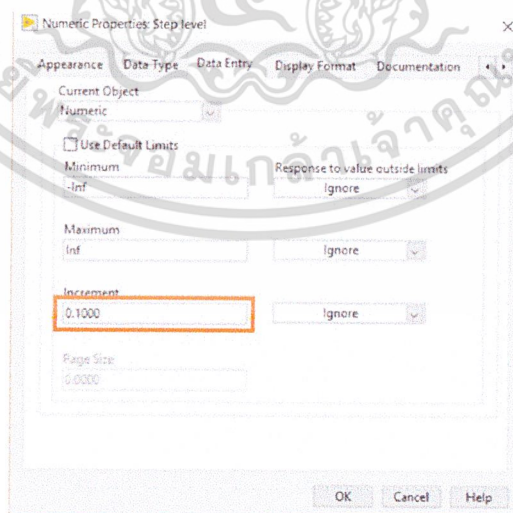
รูปที่ 3.15 เพิ่มการทำงาน Event case แล้ว

### 3.4) เขียนวงจรนับดังรูป



รูปที่ 3.16 รูป Block diagram และ Front panel

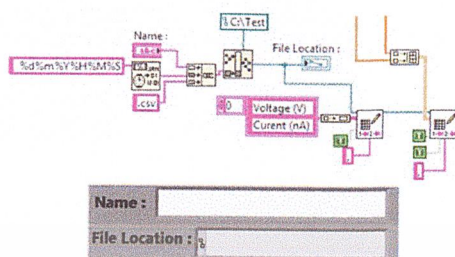
จากรูปที่ 3.16 Numerical control ต้องตั้งค่าให้สามารถปรับค่าให้เป็นทศนิยมได้โดยคลิกขวาแล้วไปที่ Properties จากนั้นเลือก Data entry แล้วตั้งค่าที่ Increment



รูปที่ 3.17 Numerical properties สำหรับ Step level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ทำการเขียนวงจรบันทึกข้อมูลโดยใช้ Write Delimited Spreadsheet.vi โดยการเชื่อมความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าไปยัง Stacked sequent หน้าถัดไป



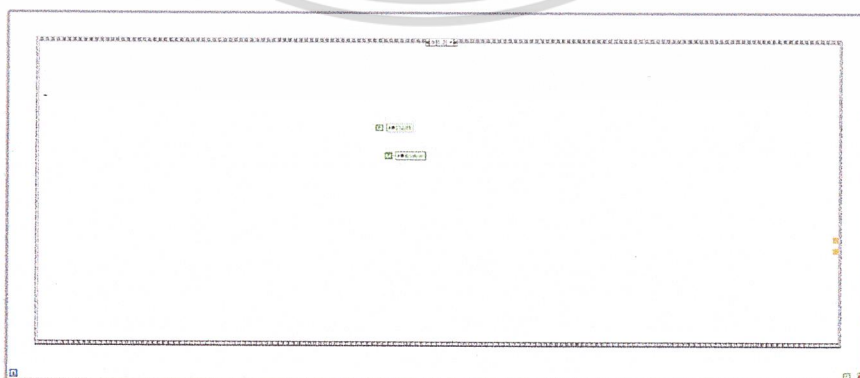
รูปที่ 3.18 Block diagram และ Front diagram

5) เพิ่มวงจรรกราฟ โดยใช้ XY Graph



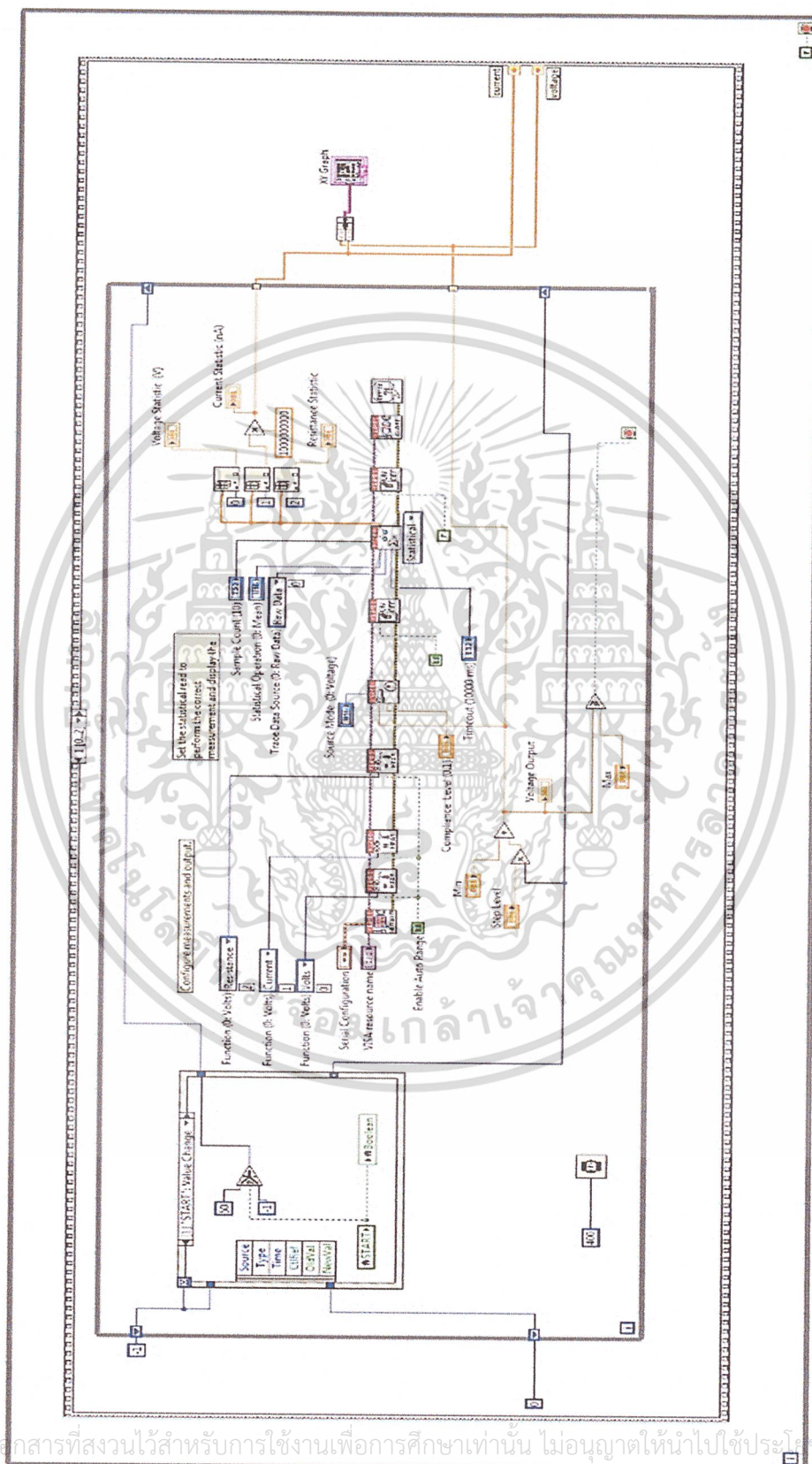
รูปที่ 3.19 วงจรรกราฟ Block diagram และ Front diagram

6) นำวงจร Stack sequent ที่ 0 เชื่อมต่อกับวงจรไดร์เวอร์ของเครื่องมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีรูปที่ 3.20 Block diagram วงจร Stack sequent ที่ 0 กับวงจรไดร์เวอร์ของเครื่องมือไปใช้

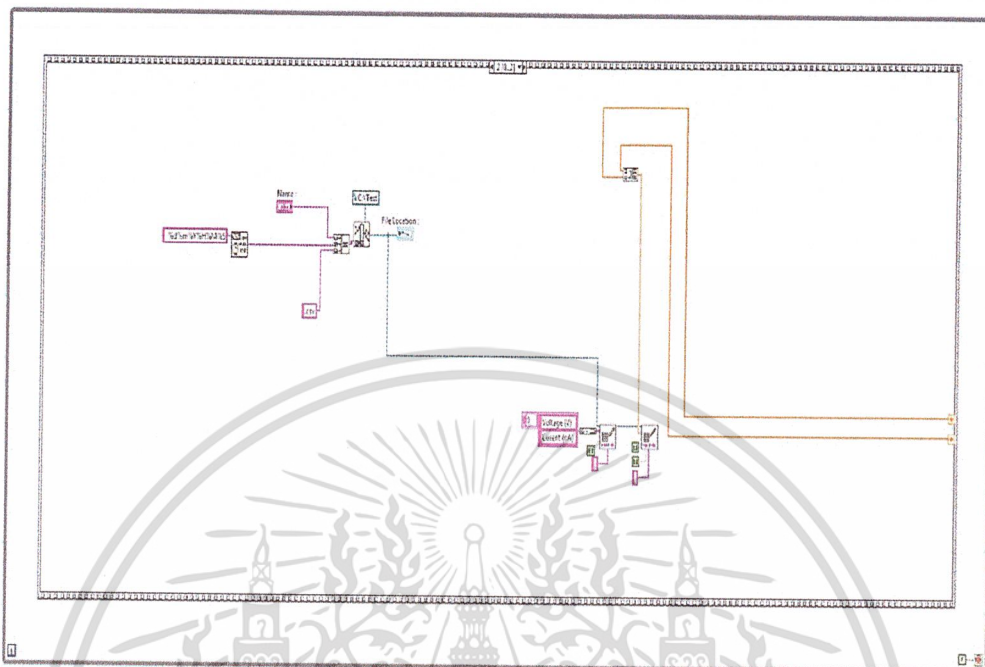
## 7) นำวงจร Stack sequent ที่ 1 เชื่อมต่อกับวงจรไดร์เวอร์ของเครื่องมือ



รูปที่ 3.21 Block diagram วงจร Stack sequent ที่ 1 กับวงจรไดร์เวอร์ของเครื่องมือ

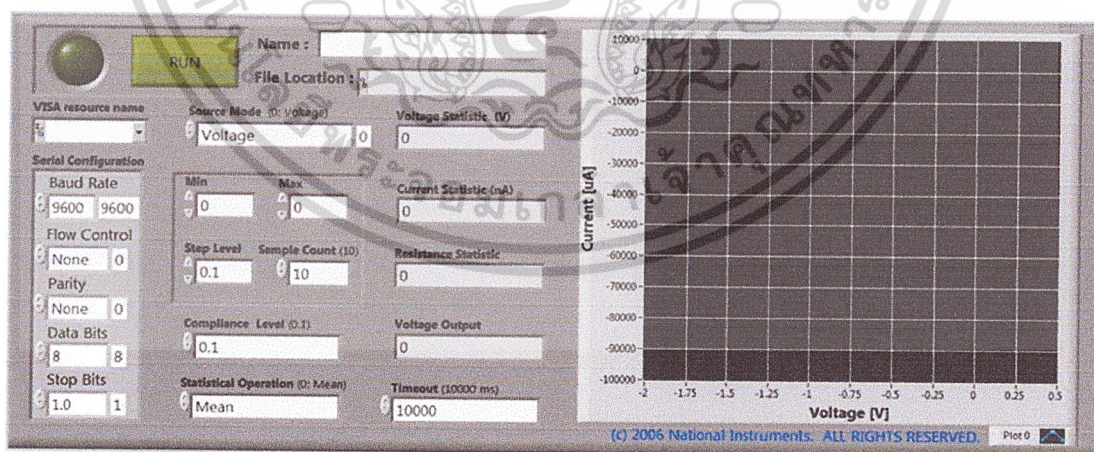
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) นาวางจร Stack sequent ที่ 2 เชื่อมต่อกับวงจรไดร์เวอร์ของเครื่องมือ



รูปที่ 3.22 Block diagram วงจร Stack sequent ที่ 2 กับวงจรไดร์เวอร์ของเครื่องมือ


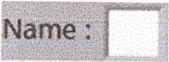
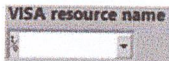
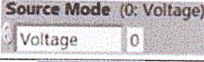
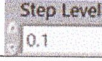
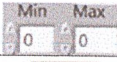

9) หน้าต่าง Front panel เมื่อเขียนโค้ดใหม่เชื่อมต่อหมดแล้ว



รูปที่ 3.23 Front panel วงจรใหม่ที่ทำเชื่อมกันแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 หน้าทีของปุ่มควบคุมที่อยู่ในหน้าจอหลัก

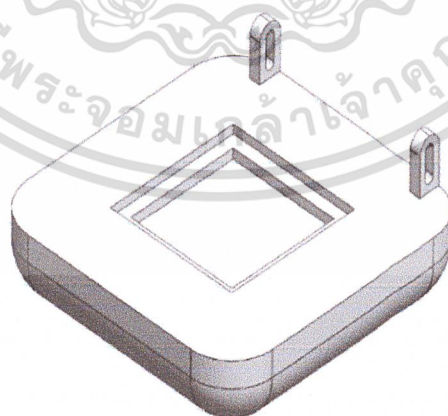
	กดปุ่ม RUN เมื่อต้องการให้โปรแกรมเริ่มทำงาน
	ใส่ชื่อชิ้นงานหรือชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก
	แถบเลือกเครื่องมือที่จะทำการควบคุม
	ค่าที่ต้องการควบคุม
	ค่าความละเอียดของการวัด
	แถบกำหนดช่วงที่ต้องการวัด
	ไฟแสดงสถานะการทำงานของโปรแกรม

### 3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบฮาร์ดแวร์เป็นการเสนอแนวทางการพัฒนาเพื่อต่อยอดในอนาคตโดยการออกแบบฮาร์ดแวร์ทำด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยมีลักษณะการทำงานคล้ายกับอุปกรณ์ทดสอบแบบเดิมคือ LIX Lightwave LDM-4980 SERIES LASER DIODE MOUNT แต่จะมีความแตกต่างกันที่ชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบ สำหรับชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบนั้นจะยังไม่ได้ทำการปิดฝาชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้สามารถทดสอบการทำงานของตัวงานก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตขั้นต่อไป

#### 3.3.1 ตัวชิ้นงานที่ออกแบบ

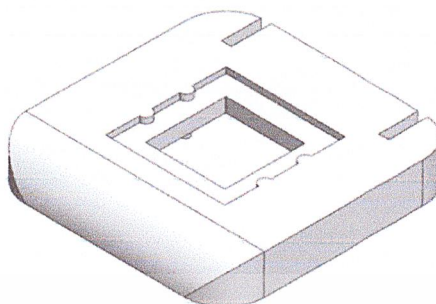
- 1) ฐานรองส่วนล่าง (Base down)



รูปที่ 3.24 ฐานรองส่วนล่าง (Base down)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ฝาปิดตัวงาน (Base up)



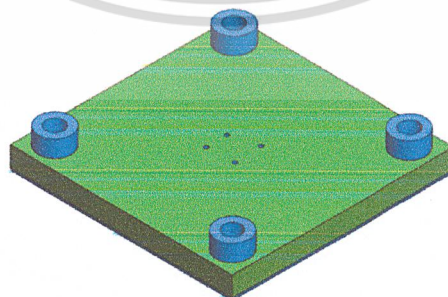
รูปที่ 3.25 ฝาปิดตัวงาน(Base up)

## 3) ฐานรองชิ้นงาน (Base chip)



รูปที่ 3.26 ฐานรองชิ้นงาน (Base chip)

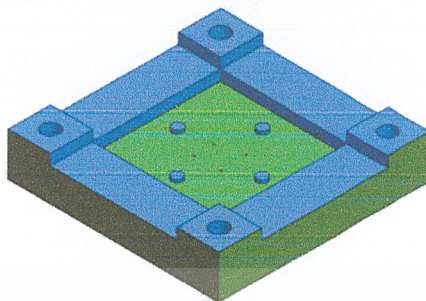
## 4) ฐานรองเข็มวัดส่วนล่าง (Base probe down)



## รูปที่ 3.27 ฐานรองเข็มวัดส่วนล่าง (Base probe down) และภาพแบบ (Drawing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ฐานรองเข็มวัดส่วนบน (Base probe up)



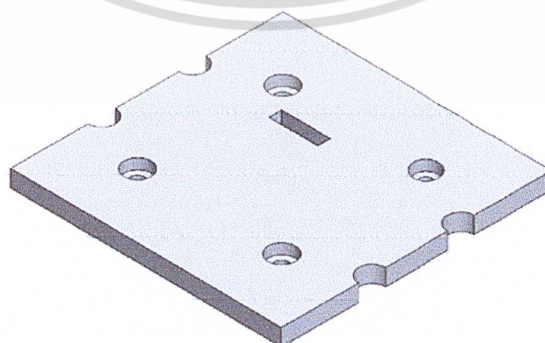
รูปที่ 3.28 ฐานรองเข็มวัดส่วนบน (Base probe up) และภาพแบบ (Drawing)

6) แผ่นลายวงจรไฟฟ้า (Printed circuit board)



รูปที่ 3.29 แผ่นลายวงจรไฟฟ้า (Printed circuit board) และภาพแบบ (Drawing)

7) ฝาปิดเข็มวัด (Base upper PCB)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.30 ฝาปิดเข็มวัด (Base upper PCB) และภาพแบบ (Drawing)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8) เข็มวัด รุ่น ULC-195

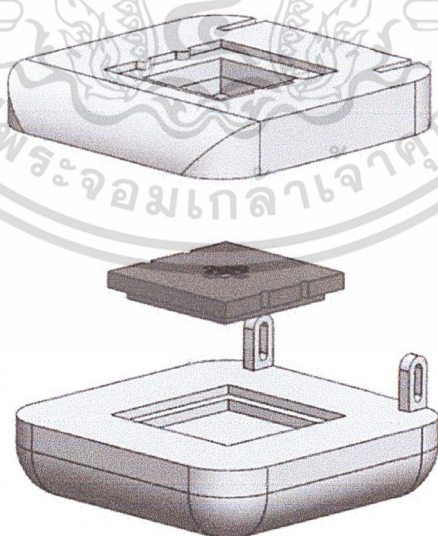


รูปที่ 3.31 เข็มวัด รุ่น ULC-195 และภาพแบบ (Drawing)

## 3.3.2 ประกอบชิ้นงาน (Assembly)

สร้างไฟล์งาน Assembly โดยไปที่ New แล้วเลือก Assembly จากนั้นทำการเพิ่มชิ้นงานที่จะประกอบ โดยคลิก Insert component ซึ่งการประกอบชิ้นงานแสดงดังต่อไปนี้

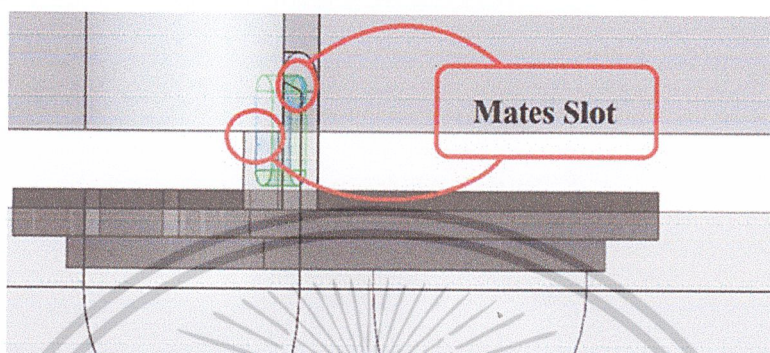
- 1) ฐานรองชิ้นงานหลัก ประกอบด้วย ฐานรอง ฝาปิดตัวงานและฐานรองชิ้นงาน



รูปที่ 3.32 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จะนำมาติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งงาน กดไปที่ Mate สำหรับการติดตั้งงานระหว่าง ฐานรองชิ้นงาน (Base chip) และ ฐานรองส่วนล่าง (Base down) จะเป็นการติดตั้งแบบ Coincident โดยเลือกจาก Standard mates และระหว่าง ฐานรองส่วนล่าง (Base down) และฝาปิดตัวงาน (Base up) จะเป็นการติดตั้งแบบ Slot โดยเลือกจาก Mechanical mates แสดงดังภาพ



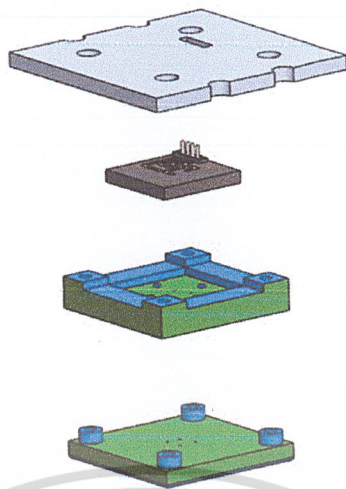
รูปที่ 3.33 Mates slot ระหว่าง ฐานรอง (Base down) และฝาปิดตัวงาน (Base up)



รูปที่ 3.34 Mates ส่วนประกอบต่าง ๆ

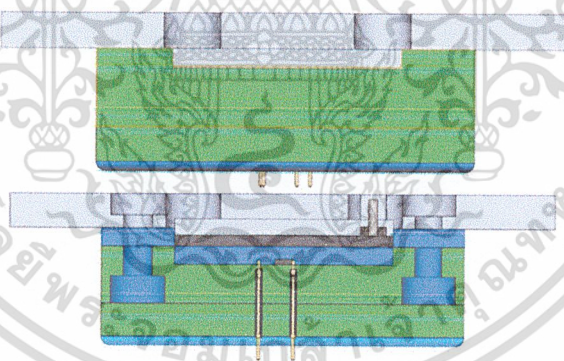
2) ส่วนเข็มวัด ประกอบด้วย ฐานรองเข็มวัดส่วนล่าง (Base probe down) ฐานรองเข็มวัดส่วนบน (Base probe up) ฝาปิดเข็มวัด (Base upper PCB) แผ่นลายวงจรไฟฟ้า (Printed circuit-board) และเข็มวัด รุ่น ULC-195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

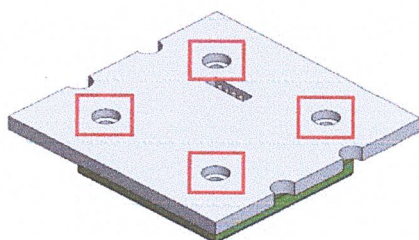


รูปที่ 3.35 ส่วนประกอบต่างๆของเข็มวัด

สำหรับการเชื่อมส่วนประกอบต่าง ๆ ของเข็มวัด จะทำการเชื่อมแบบ Coincident และแบบ concentric เชื่อมติดระหว่าง เข็มวัด ULC-195 กับฐานรองเข็มวัดส่วนล่าง เมื่อทำการประกอบเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูป



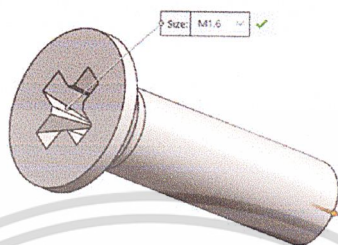
รูปที่ 3.36 ภาพแบ่งครึ่งเข็มวัด แสดงถึงตำแหน่งและระยะต่าง ๆ ภายใน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.37 เข็มวัดที่ประกอบเสร็จแบบสามมิติมุมมองด้านบน**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

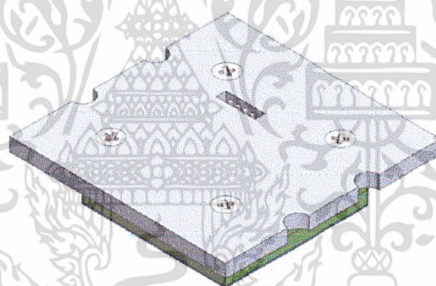
จากรูปที่แสดงด้านบน พบว่ายังเหลือรูสำหรับใส่สกรูอีก 4 ตัว ซึ่งตัวสกรูนี้ เป็นขนาดมาตรฐานแบบ ISO ที่อยู่ในไลบรารีของโปรแกรม วิธีนำออกมาใช้ให้สังเกตที่แถบด้านขวาของหน้าจอ เลือก Design library

ISO > Both and Screws > Cross-recessed Head Screws > CTSK Flat ISO 7046-1



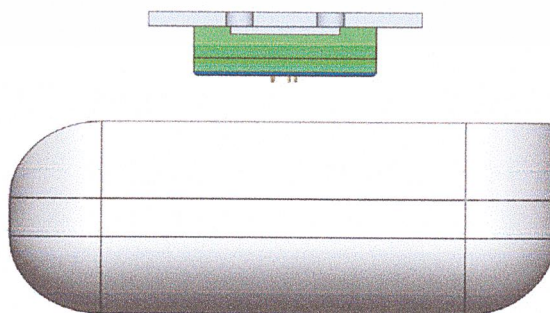
รูปที่ 3.38 สกรูที่ใช้ ขนาด M1.6 ยาว 60 มิลลิเมตร

เมื่อนำสกรูมาใส่เรียบร้อยแล้วจะได้เข็มวัดที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วแสดงดังรูปที่ 3.39



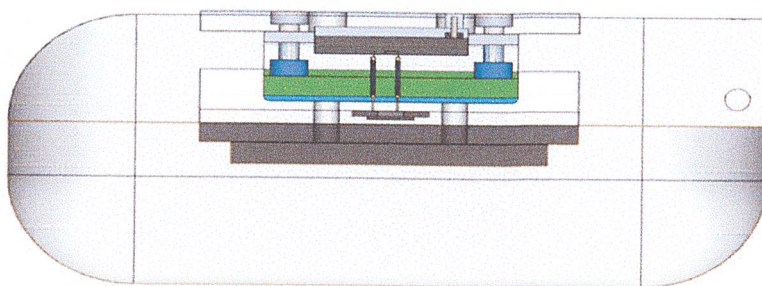
รูปที่ 3.39 เข็มวัดที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วอย่างสมบูรณ์

### 3) ประกอบเข็มวัดและฐานรองชิ้นงานหลัก

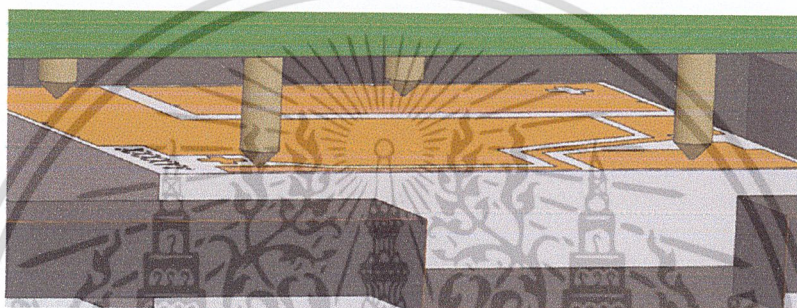


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดก็ตามที่เผยแพร่เอกสารนี้ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.40 เข็มวัดและฐานรองชิ้นงานหลัก



รูปที่ 3.41 ระยะเวลาต่าง ๆ ภายในฐานรองชิ้นงานหลัก



รูปที่ 3.42 ตำแหน่งต่างๆของการวัดบนตัวชิ้นงานระหว่างเชื่อมวัดตัวชิ้นงาน

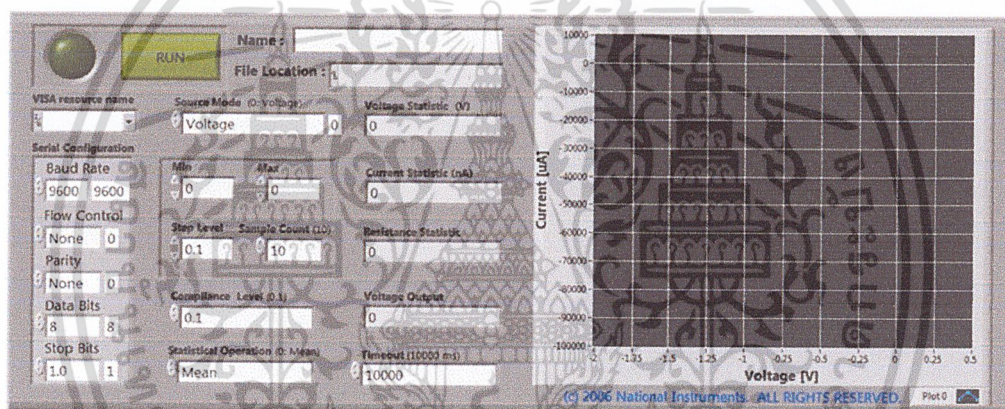
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การพัฒนาซอฟต์แวร์

ผลของการพัฒนาโปรแกรมทดสอบอุปกรณ์ ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW รูปการทำงานของโปรแกรมจริงดังรูปที่ 4.1 และผลการทดสอบระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.6 และผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4.26 ถึงรูปที่ 4.29 โปรแกรมทดสอบชิ้นงานที่ปรับปรุงขึ้นมาสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบชิ้นงานด้วยวิธีแบบเดิมโดยผลการทดสอบเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทำการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.1 หน้าต่างโปรแกรมทดสอบอุปกรณ์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 1

เลขเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสนุญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส (μA)	กระแส (μA)		กระแส (μA)	กระแส (μA)
-2.0	-37.8722	-37.9344	-6.0	-0.0108	-0.0101
-1.9	-29.8991	-29.9291	-5.5	-0.0098	-0.0093
-1.8	-23.3732	-23.3947	-5.0	-0.0093	-0.0088
-1.7	-18.0609	-18.0678	-4.5	-0.0089	-0.0086
-1.6	-13.7966	-13.7999	-4.0	-0.0084	-0.0080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีทแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1					
เลขเซอร์โอดีด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตโนมิติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตโนมิติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )		กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )
-1.5	-10.4026	-10.3989	-3.5	-0.0079	-0.0078
-1.4	-7.7282	-7.7326	-3.0	-0.0074	-0.0073
-1.3	-5.6573	-5.6607	-2.5	-0.0070	-0.0067
-1.2	-4.0682	-4.0687	-2.0	-0.0065	-0.0061
-1.1	-2.8691	-2.8672	-1.9	-0.0063	-0.0061
-1.0	-1.9829	-1.9796	-1.8	-0.0062	-0.0060
-0.9	-1.3364	-1.3351	-1.7	-0.0061	-0.0057
-0.8	-0.8432	-0.8748	-1.6	-0.0060	-0.0059
-0.7	-0.5518	-0.5506	-1.5	-0.0059	-0.0057
-0.6	-0.3321	-0.3312	-1.4	-0.0057	-0.0057
-0.5	-0.1873	-0.1868	-1.3	-0.0056	-0.0050
-0.4	-0.0962	-0.0966	-1.2	-0.0055	-0.0054
-0.3	-0.0440	-0.0440	-1.1	-0.0053	-0.0051
-0.2	-0.0170	-0.0172	-1.0	-0.0052	-0.0049
-0.1	0.0050	0.0047	-0.9	-0.0051	-0.0048
0.0	0.0001	0.0005	-0.8	-0.0049	-0.0047
0.1	0.0062	0.0066	-0.7	-0.0048	-0.0044
0.2	0.0270	0.0276	-0.6	-0.0046	-0.0040
0.3	0.1091	0.1094	-0.5	-0.0044	-0.0044
0.4	0.4654	0.4677	-0.4	-0.0042	-0.0039
0.5	2.0805	2.0950	-0.3	-0.0040	-0.0036
			-0.2	-0.0038	-0.0035
			-0.1	-0.0032	-0.0029
			0.0	0.0003	0.0006
			0.1	0.0461	0.0457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 2					
เลเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )		กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )
-2.0	-87.3961	-88.0967	-6.0	-0.0039	-0.0034
-1.9	-71.0472	-71.5155	-5.5	-0.0031	-0.0030
-1.8	-57.4454	-57.7803	-5.0	-0.0027	-0.0026
-1.7	-46.2028	-46.4260	-4.5	-0.0025	-0.0024
-1.6	-36.9914	-37.1266	-4.0	-0.0022	-0.0020
-1.5	-29.4535	-29.5124	-3.5	-0.0019	-0.0019
-1.4	-23.3037	-23.3111	-3.0	-0.0016	-0.0016
-1.3	-18.3146	-18.2885	-2.5	-0.0013	-0.0012
-1.2	-14.2687	-14.2180	-2.0	-0.0010	-0.0009
-1.1	-10.9964	-10.9392	-1.9	-0.0010	-0.0009
-1.0	-8.3635	-8.3174	-1.8	-0.0009	-0.0007
-0.9	-6.2576	-6.2061	-1.7	-0.0008	-0.0007
-0.8	-4.5681	-4.5192	-1.6	-0.0008	-0.0006
-0.7	-3.2248	-3.1855	-1.5	-0.0008	-0.0006
-0.6	-2.1684	-2.1388	-1.4	-0.0007	-0.0006
-0.5	-1.3639	-1.3436	-1.3	-0.0006	-0.0005
-0.4	-0.7643	-0.7692	-1.2	-0.0006	-0.0005
-0.3	-0.4007	-0.3951	-1.1	-0.0005	-0.0003
-0.2	-0.1702	-0.1677	-1.0	-0.0005	-0.0002
-0.1	-0.0523	-0.0517	-0.9	-0.0004	-0.0003
0.0	0.0000	0.0001	-0.8	-0.0003	0.0000
0.1	0.0499	0.0493	-0.7	-0.0003	0.0000
0.2	0.1780	0.1771	-0.6	-0.0003	-0.0001
0.3	0.5340	0.5321	-0.5	-0.0002	0.0001
0.4	1.7094	1.7022	-0.4	-0.0001	0.0003
0.5	6.3621	6.3341	-0.3	-0.0001	0.0001
			-0.2	0.0000	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในงานการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้ง

ตัวอย่างที่ 2					
เลขเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )		กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )
			-0.1	0.0000	0.0004
			0.0	0.0001	0.0003
			0.1	0.0007	0.0010

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3					
เลขเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )		กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )
-2.0	-98.8688	-98.9476	-6.0	-0.0038	-0.0027
-1.9	-80.3998	-80.4213	-5.5	-0.0030	-0.0024
-1.8	-64.9914	-65.0262	-5.0	-0.0027	-0.0020
-1.7	-52.2695	-52.2796	-4.5	-0.0024	-0.0020
-1.6	-41.8188	-41.8216	-4.0	-0.0021	-0.0017
-1.5	-33.2747	-33.2616	-3.5	-0.0018	-0.0014
-1.4	-26.3049	-26.2874	-3.0	-0.0016	-0.0013
-1.3	-20.6497	-20.6241	-2.5	-0.0013	-0.0010
-1.2	-16.0754	-16.0478	-2.0	-0.0010	-0.0009
-1.1	-12.3782	-12.3456	-1.9	-0.0009	-0.0007
-1.0	-9.4082	-9.3876	-1.8	-0.0009	-0.0005
-0.9	-7.0303	-7.0147	-1.7	-0.0009	-0.0006
-0.8	-5.1300	-5.1142	-1.6	-0.0008	-0.0005
-0.7	-3.6187	-3.6044	-1.5	-0.0007	-0.0006
-0.6	-2.4333	-2.4216	-1.4	-0.0007	-0.0006
-0.5	-1.5323	-1.5238	-1.3	-0.0006	-0.0003
-0.4	-0.8527	-0.8534	-1.2	-0.0006	-0.0002
-0.3	-0.4486	-0.4458	-1.1	-0.0005	-0.0002
-0.2	-0.1893	-0.1881	-1.0	-0.0005	-0.0004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มาไปใช้

ตัวอย่างที่ 3					
เลเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )		กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )
-0.1	-0.0573	-0.0568	-0.9	-0.0004	-0.0002
0.0	0.0001	0.0000	-0.8	-0.0003	-0.0002
0.1	0.0548	0.0545	-0.7	-0.0003	-0.0002
0.2	0.1952	0.1941	-0.6	-0.0002	-0.0001
0.3	0.5743	0.5720	-0.5	-0.0002	-0.0001
0.4	1.7749	1.7761	-0.4	-0.0001	-0.0002
0.5	6.3984	6.3798	-0.3	-0.0001	-0.0001
			-0.2	0.0000	-0.0001
			-0.1	0.0000	-0.0001
			0.0	0.0001	0.0000
			0.1	0.0008	0.0010

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 4					
เลเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )		กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )
-2.0	-23.5583	-23.5164	-6.0	-0.0114	-0.0027
-1.9	-18.1466	-18.1206	-5.5	-0.0104	-0.0024
-1.8	-13.8012	-13.7797	-5.0	-0.0099	-0.0020
-1.7	-10.3382	-10.3200	-4.5	-0.0095	-0.0020
-1.6	-7.6233	-7.6249	-4.0	-0.0091	-0.0017
-1.5	-5.5220	-5.5182	-3.5	-0.0086	-0.0014
-1.4	-3.9135	-3.9101	-3.0	-0.0081	-0.0013
-1.3	-2.7130	-2.7084	-2.5	-0.0076	-0.0010
-1.2	-1.8321	-1.8291	-2.0	-0.0071	-0.0009
-1.1	-1.2020	-1.1999	-1.9	-0.0070	-0.0007
-1.0	-0.7434	-0.7385	-1.8	-0.0069	-0.0005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่ากรรมสิทธิ์ทั้งสิ้น อีกทั้งที่พิมพ์ให้คัดแบบเชิงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้ง

ตัวอย่างที่ 4					
เลเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu$ A)	กระแส ( $\mu$ A)		กระแส ( $\mu$ A)	กระแส ( $\mu$ A)
-0.9	-0.4705	-0.4690	-1.7	-0.0068	-0.0006
-0.8	-0.2779	-0.2769	-1.6	-0.0067	-0.0005
-0.7	-0.1572	-0.1567	-1.5	-0.0066	-0.0006
-0.6	-0.0843	-0.0839	-1.4	-0.0065	-0.0006
-0.5	-0.0422	-0.0417	-1.3	-0.0063	-0.0003
-0.4	-0.0197	-0.0196	-1.2	-0.0062	-0.0002
-0.3	-0.0084	-0.0084	-1.1	-0.0061	-0.0002
-0.2	-0.0032	-0.0032	-1.0	-0.0059	-0.0004
-0.1	-0.0010	-0.0010	-0.9	-0.0058	-0.0002
0.0	0.0001	0.0000	-0.8	-0.0057	-0.0002
0.1	0.0021	0.0022	-0.7	-0.0056	-0.0002
0.2	0.0123	0.0124	-0.6	-0.0054	-0.0001
0.3	0.0632	0.0632	-0.5	-0.0052	-0.0001
0.4	0.3142	0.3121	-0.4	-0.0050	-0.0002
0.5	1.5007	1.5000	-0.3	-0.0048	-0.0001
			-0.2	-0.0045	-0.0001
			-0.1	-0.0038	-0.0001
			0.0	0.0004	0.0000
			0.1	0.0505	0.0010

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างที่ 5					
เลเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu$ A)	กระแส ( $\mu$ A)		กระแส ( $\mu$ A)	กระแส ( $\mu$ A)
-2.0	-24.6240	-24.6419	-6.0	-0.0115	-0.0109
-1.9	-18.9781	-18.9953	-5.5	-0.0106	-0.0103
-1.8	-14.4387	-14.4547	-5.0	-0.0101	-0.0099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่สามารถทำได้ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้ง

ตัวอย่างที่ 5					
เลเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu$ A)	กระแส ( $\mu$ A)		กระแส ( $\mu$ A)	กระแส ( $\mu$ A)
-1.7	-10.8173	-10.8290	-4.5	-0.0097	-0.0095
-1.6	-7.9765	-7.9983	-4.0	-0.0093	-0.0090
-1.5	-5.7785	-5.7894	-3.5	-0.0088	-0.0086
-1.4	-4.0974	-4.1028	-3.0	-0.0083	-0.0080
-1.3	-2.8412	-2.8440	-2.5	-0.0078	-0.0076
-1.2	-1.9200	-1.9220	-2.0	-0.0073	-0.0069
-1.1	-1.2611	-1.2618	-1.9	-0.0072	-0.0069
-1.0	-0.7817	-0.7823	-1.8	-0.0071	-0.0066
-0.9	-0.4946	-0.4947	-1.7	-0.0070	-0.0067
-0.8	-0.2940	-0.2940	-1.6	-0.0069	-0.0065
-0.7	-0.1684	-0.1686	-1.5	-0.0067	-0.0064
-0.6	-0.0927	-0.0924	-1.4	-0.0066	-0.0063
-0.5	-0.0486	-0.0485	-1.3	-0.0065	-0.0061
-0.4	-0.0237	-0.0239	-1.2	-0.0063	-0.0060
-0.3	-0.0105	-0.0107	-1.1	-0.0062	-0.0058
-0.2	-0.0040	-0.0040	-1.0	-0.0061	-0.0057
-0.1	-0.0013	-0.0013	-0.9	-0.0060	-0.0058
0.0	0.0001	0.0002	-0.8	-0.0058	-0.0056
0.1	0.0028	0.0030	-0.7	-0.0057	-0.0056
0.2	0.0164	0.0163	-0.6	-0.0055	-0.0052
0.3	0.0850	0.0855	-0.5	-0.0053	-0.0052
0.4	0.4231	0.4258	-0.4	-0.0051	-0.0047
0.5	2.0263	2.0393	-0.3	-0.0049	-0.0046
			-0.2	-0.0046	-0.0046
			-0.1	-0.0039	-0.0038
			0.0	0.0004	0.0009
			0.1	0.0533	0.0536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าผลการทดสอบตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่างที่ 6					
เลขเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )		กระแส ( $\mu\text{A}$ )	กระแส ( $\mu\text{A}$ )
-2.0	-41.4145	-41.4531	-6.0	-0.0100	-0.0105
-1.9	-32.9992	-33.0340	-5.5	-0.0093	-0.0099
-1.8	-26.0742	-26.0934	-5.0	-0.0089	-0.0094
-1.7	-20.3933	-20.4052	-4.5	-0.0086	-0.0091
-1.6	-15.7960	-15.7932	-4.0	-0.0082	-0.0085
-1.5	-12.0976	-12.0911	-3.5	-0.0079	-0.0083
-1.4	-9.1528	-9.1581	-3.0	-0.0075	-0.0078
-1.3	-6.8394	-6.8359	-2.5	-0.0071	-0.0074
-1.2	-5.0276	-5.0257	-2.0	-0.0067	-0.0067
-1.1	-3.6306	-3.6259	-1.9	-0.0066	-0.0067
-1.0	-2.5651	-2.5608	-1.8	-0.0065	-0.0065
-0.9	-1.7674	-1.7621	-1.7	-0.0064	-0.0063
-0.8	-1.1821	-1.1779	-1.6	-0.0063	-0.0063
-0.7	-0.7430	-0.7453	-1.5	-0.0062	-0.0062
-0.6	-0.4672	-0.4647	-1.4	-0.0061	-0.0061
-0.5	-0.2688	-0.2677	-1.3	-0.0059	-0.0059
-0.4	-0.1418	-0.1411	-1.2	-0.0058	-0.0057
-0.3	-0.0665	-0.0663	-1.1	-0.0057	-0.0057
-0.2	-0.0263	-0.0262	-1.0	-0.0056	-0.0055
-0.1	-0.0078	-0.0078	-0.9	-0.0055	-0.0054
0.0	0.0000	0.0002	-0.8	-0.0054	-0.0052
0.1	0.0091	0.0090	-0.7	-0.0052	-0.0051
0.2	0.0377	0.0377	-0.6	-0.0051	-0.0049
0.3	0.1393	0.1396	-0.5	-0.0049	-0.0047
0.4	0.5452	0.5469	-0.4	-0.0047	-0.0046
0.5	2.3238	2.3315	-0.3	-0.0046	-0.0043
			-0.2	-0.0042	-0.0040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้ง

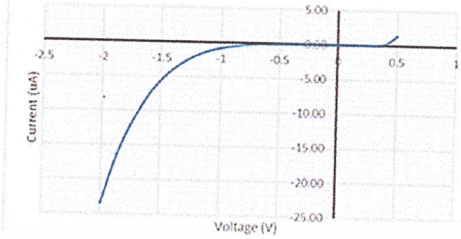
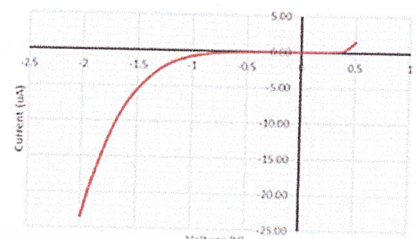
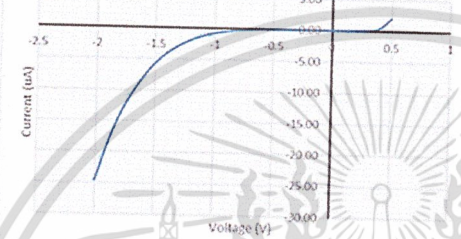
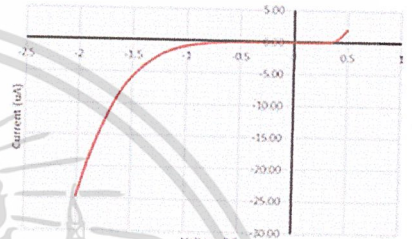
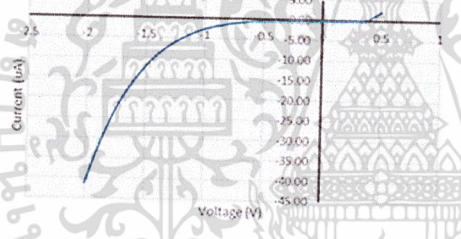
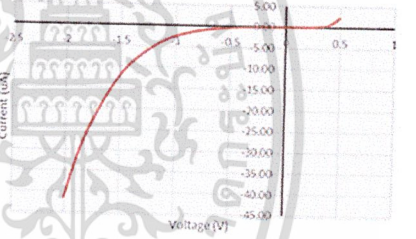
ตัวอย่างที่ 6					
เลเซอร์ไดโอด			ตัวตรวจจับสัญญาณแสง		
แรงดัน (V)	อัตรโนมิติ	จดค่าด้วยมือ	แรงดัน (V)	อัตรโนมิติ	จดค่าด้วยมือ
	กระแส (μA)	กระแส (μA)		กระแส (μA)	กระแส (μA)
			-0.1	-0.0036	-0.0034
			0.0	0.0003	0.0006
			0.1	0.0488	0.0487

นำผลการทดสอบตัวชิ้นงานมาวิเคราะห์ในรูปแบบแผนภูมิกราฟระหว่างเลเซอร์ไดโอดและตัวตรวจจับสัญญาณแสง ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแสดงในส่วนค่าอัตรโนมิติ และการทดสอบด้วยวิธีเดิมแสดงในส่วนค่าที่ได้จากการจดด้วยมือ แสดงดังตารางต่อไปนี้

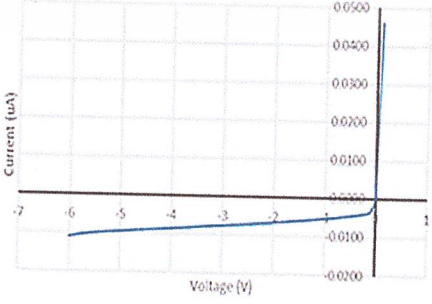
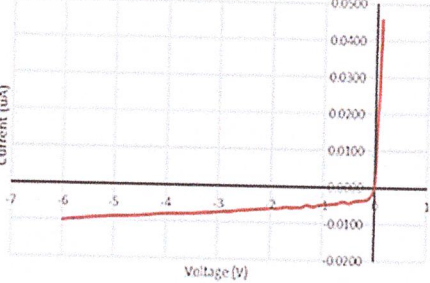
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงแผนภูมิกราฟเลเซอร์ไดโอด

ตัวอย่าง	แผนภูมิกราฟเลเซอร์ไดโอด	
	อัตรโนมิติ	จดค่าด้วยมือ
1		
2		
3		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนทำงาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	แผนภูมิกราฟเลเซอร์ไดโอด	
	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
4		
5		
6		

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงแผนภูมิกราฟตัวตรวจจับสัญญาณแสง

ตัวอย่าง	แผนภูมิกราฟตัวตรวจจับสัญญาณแสง	
	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	แผนภูมิกราฟตัวตรวจจับสัญญาณแสง	
	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
2		
3		
4		
5		
6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการนำค่าที่ได้จากการทดสอบแบบอัตโนมัติและการทดสอบแบบจดค่าด้วยมือมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์กันของผลการทดลอง โดยกราฟเส้นสีน้ำเงินแทนการทดสอบแบบอัตโนมัติและกราฟเส้นสีแดงแทนการทดสอบแบบจดค่าด้วยมือได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบของผลการทดสอบระหว่างอัตโนมัติและจดค่าด้วยมือ

ตัวอย่าง	กราฟเปรียบเทียบของผลการทดสอบ	
	เลเซอร์ไดโอด	ตัวตรวจจับสัญญาณแสง
1		
2		
3		
4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ใ้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

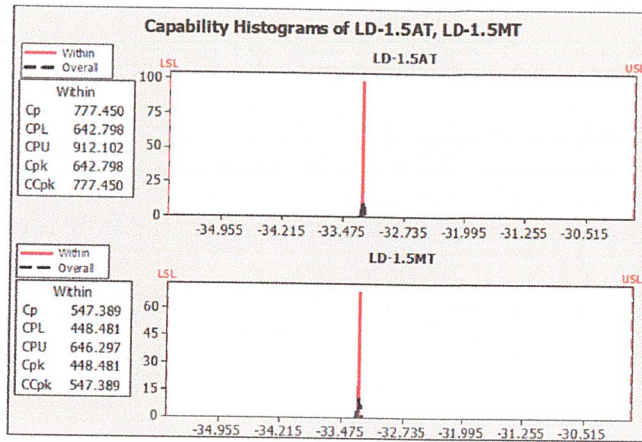
ตัวอย่าง	กราฟเปรียบเทียบของผลการทดสอบ	
	เลเซอร์ไดโอด	ตัวตรวจจับสัญญาณแสง
5		
6		

ผลการเปรียบเทียบการทดสอบของเลเซอร์ไดโอดระหว่าง AUTO และ MANUAL มีความเหมือนกันอย่างมากของทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

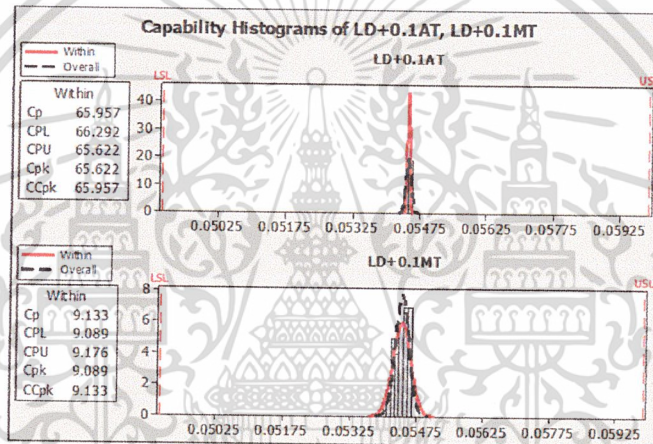
ส่วนผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบของตัวตรวจจับสัญญาณแสงโดยเปรียบเทียบระหว่างแบบ AUTO และ MANUAL พบว่าการทำงานแบบ AUTO มีประสิทธิภาพมากกว่า สังเกตได้จากตัวอย่างที่ 3 และ 4 เส้นกราฟของ AUTO มีความนิ่งและสวยงามมากกว่าแบบ MANUAL ทั้งนี้เนื่องจากแบบ AUTO มีการจ่ายแรงดันและบันทึกผลในแต่ละครั้งโดยใช้ระยะเวลาเท่า ๆ กัน ซึ่งการทำงานแบบ MANUAL ในการจ่ายแรงดันและการบันทึกผลแต่ละครั้งระยะเวลาจะไม่เท่ากัน จึงทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีความแปรปรวนไม่สวยงามเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ AUTO

ลำดับต่อมาจะทำการทดสอบเพื่อหาค่าความแม่นยำของซอฟต์แวร์โดยทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ 3 ซ้ำ 30 ครั้งที่มีความต่างศักย์  $-1.5$  และ  $+0.1$  โวลต์ สำหรับเลเซอร์ไดโอดและที่ค่าความต่างศักย์  $-3.5$  และ  $-1.5$  โวลต์ สำหรับตัวตรวจจับสัญญาณแสงโดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปต่อไปนี้

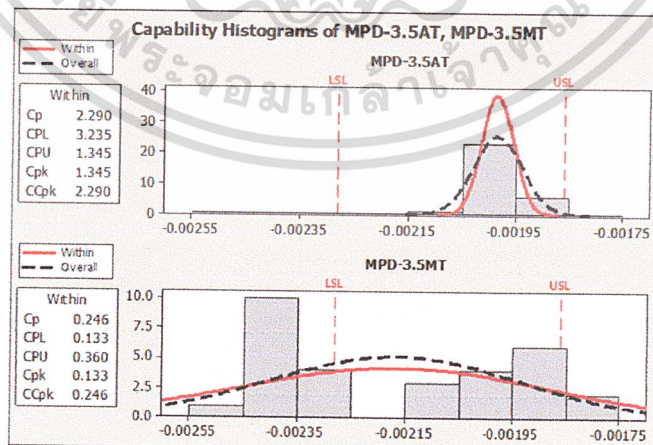
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่มีความต่างศักย์ +1.5 โวลต์ของ LD

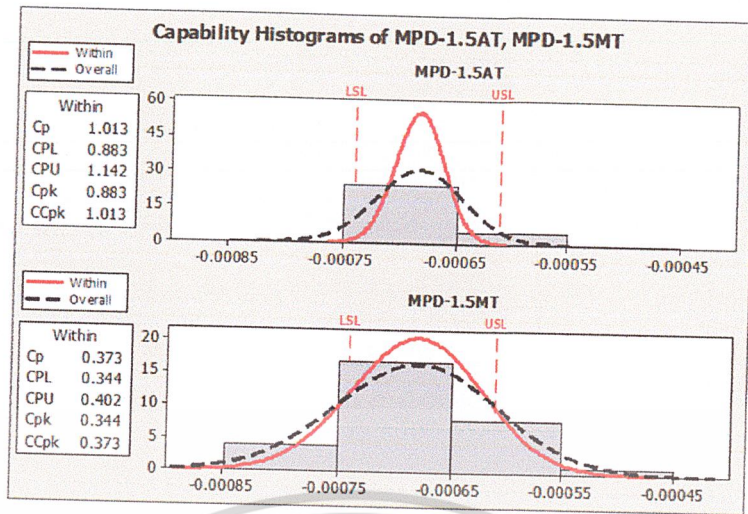


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่มีความต่างศักย์ +0.1 โวลต์ของ LD



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่มีความต่างศักย์ -3.5 โวลต์ของ MPD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลวิเคราะห์ของข้อมูลที่มีความต่างศักย์ -1.5 โวลต์ของ MPD

จากผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของซอฟต์แวร์จะเห็นได้ว่าการทดสอบแบบ AUTO ได้ค่า Cpk มากกว่าทั้งเลเซอร์ไดโอดและตัวตรวจจับสัญญาณแสง โดยค่า Cpk จะบ่งบอกถึงการแม่นยำของข้อมูล ถ้าค่า Cpk ยิ่งมาก หมายความว่า การวัดในแต่ละครั้งโดยใช้แรงดันค่าเดิม เราจะได้ผลการทดสอบที่เท่ากัน

ต่อมาเป็นการเปรียบเทียบเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบต่อ 1 ชิ้นงาน ระหว่างการทดสอบด้วยวิธีการเดิม MANUAL และการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น AUTO แสดงผลดังรูปตารางต่อไปนี้

Module No.	Step	Process Description	Total Time (mm:ss)	Time (Min)															
				2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
1	1	ติดตั้งชิ้นงานบนเครื่องทดสอบ	00:30	█															
	2	ทดสอบและบันทึกค่า LD	00:06:33		█	█													
	5	ทดสอบและบันทึกค่า MPD	00:07:30				█	█	█										
	8	ช้อนค่าที่บันทึกลงคอมพิวเตอร์	00:20:12								█	█	█	█	█	█	█	█	█
			34:45																

รูปที่ 4.6 รูปแสดงเวลาการทดสอบแบบจดค่าด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Module No.	Step	Process Description	Total Time (H:mm:ss)	Time (Min)		
				1	2	3
1	1	ติดตั้งชิ้นงานบนเครื่องทดสอบ	00:30	■		
	2	เสียบสายวัด LD	00:05			
	3	ทดสอบและบันทึกค่า LD	00:30	■		
	6	เสียบสายวัด MPD	00:05			
	7	ทดสอบและบันทึกค่า MPD	00:59		■	
				02:09		

รูปที่ 4.7 รูปแสดงเวลาการทดสอบแบบอัตโนมัติ

จากผลการทดสอบในส่วนของเวลาจะเห็นได้ว่าการทดสอบแบบ AUTO ใช้เวลาในการทดสอบเพียง 2 นาที 9 วินาที ส่วนแบบ MANUAL ใช้เวลาทดสอบทั้งหมด 34 นาที 45 วินาที สรุปได้ว่าการทดสอบแบบ AUTO นอกจากจะมีประสิทธิภาพและความแม่นยำที่ดีกว่าแบบ MANUAL แล้ว ยังสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทดสอบได้ถึง 32 นาที 36 วินาที และถ้าเปรียบเทียบการทดสอบใน 1 ชั่วโมง การทดสอบแบบ AUTO จะสามารถทดสอบชิ้นงานได้ประมาณ 28 ชิ้น ส่วนการทดสอบแบบ MANUAL สามารถทดสอบชิ้นงานได้ประมาณ 2 ชิ้น แสดงดังตาราง

ตารางที่ 4.10 ตารางสรุปเวลาการทดสอบชิ้นงานใน 1 ชั่วโมง

คำอธิบาย	MANUAL	AUTO
เวลาทั้งหมด	34:45	02:09
จำนวนชิ้นงานที่ได้	2 ชิ้น / ชั่วโมง	28 ชิ้น / ชั่วโมง

#### 4.2 การพัฒนาฮาร์ดแวร์

การออกแบบอุปกรณ์ทดสอบชิ้นงาน Fixture เป็นเพียงการเสนอแนวทางให้กับโปรเจกต์ต่อไปในอนาคต เนื่องจากความไม่สะดวกหลายอย่างในการสร้างชิ้นงาน ได้แก่ การประเมินราคาหรือความยากในการผลิต เป็นต้น ทำให้การออกแบบฮาร์ดแวร์ทดสอบอุปกรณ์ชิ้นนี้ เป็นเพียงแนวคิดที่จะใช้พัฒนาต่อยอดในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดระยะเวลาในการทดสอบชิ้นงานด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW โดยใช้ควบคุมเครื่องมือ Keithley 2401 source meter ให้สามารถทำการทดสอบและบันทึกผลได้แบบอัตโนมัติ สำหรับการวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยมีไดร์เวอร์ Keithley 24XX-perform statistical operation ซึ่งเป็นไดร์เวอร์ดั้งเดิมของเครื่องมือและเป็นไดร์เวอร์พื้นฐานที่นำมาพัฒนาต่อ สรุปได้ว่า ผลการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นใหม่นั้น ใช้เวลาในการทดสอบและบันทึกผลเฉลี่ย 2 นาที 9 วินาที และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบแบบเดิมใช้เวลาทดสอบและบันทึกผลเฉลี่ย 34 นาที 45 วินาที แสดงให้เห็นว่าการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จะสามารถลดระยะเวลาการทดสอบและบันทึกผลเฉลี่ยได้ถึง 32 นาที 36 วินาที ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

นอกจากนี้ยังได้ออกแบบอุปกรณ์ทดสอบด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยเป็นการทดสอบการทำงานของเลเซอร์ไดโอดและตัวตรวจจับสัญญาณแสงก่อนที่จะประกอบฝาปิดชิ้นงาน โดยอ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทดสอบและระยะต่าง ๆ จากชิ้นงานจริง เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบชิ้นงานสำหรับอนาคต

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อลดระยะเวลาในการทดสอบชิ้นงานด้วยโปรแกรม LabVIEW มีแนวทางการพัฒนาต่อ 2 ประการ ได้แก่ ประการแรกคือผลทดสอบสุดท้ายของการทดสอบก่อนหน้าจะเป็นผลการทดสอบแรกของการทดสอบถัดไป ปัญหานี้จะเกิดขึ้น เมื่อกดปุ่ม RUN ซ้ำหลังจากเปลี่ยนการวัดเลเซอร์ไดโอดเป็นตัวตรวจจับสัญญาณแสงหรือเปลี่ยนจากตัวตรวจจับสัญญาณแสงเป็นเลเซอร์ไดโอดหรือเปลี่ยนช่วงความต่างศักย์ที่ใช้ ควรจะเพิ่มในส่วนของการคืนค่าเริ่มต้นขณะเสร็จสิ้นการทำงานหรือหยุดการทำงานและประการที่สองนั้นการเปลี่ยนเป้าหมายที่จะทำการทดสอบระหว่างตัวตรวจจับสัญญาณแสงและเลเซอร์ไดโอดยังคงใช้วิธีการเปลี่ยนสายไฟ ถ้าหากสามารถเพิ่มส่วนตัวเลือกการทดสอบนี้ได้ ก็จะทำให้กระบวนการทำงานกระชับมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาต่าง ๆ ที่พบไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อการผลการทดสอบ

เนื่องจากโครงการนี้ใช้เครื่องมือ Keithley 2401 source meter อาจจะมีข้อจำกัดในช่วงการวัดกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 1 ไมโครแอมป์แอมป์แอมป์ ซึ่งการทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับสัญญาณแสงมีค่ากระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 1 ไมโครแอมป์แอมป์แอมป์ ทำให้การแสดงผลอาจมีความผิดพลาดเล็กน้อย ในบางครั้งจำเป็นต้องทำการทดสอบ 2 ครั้งขึ้นไปหรือเพิ่มความละเอียดในการวัดที่ Step level เพื่อให้

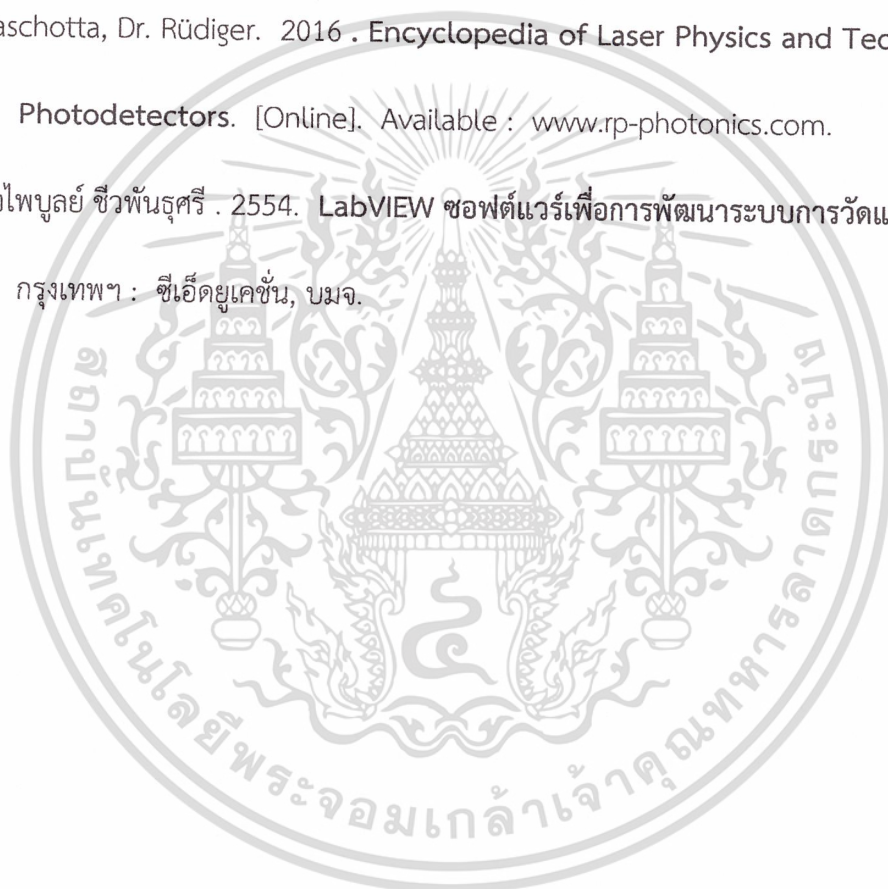
ได้ค่าที่เสถียร ถ้าหากต้องการผลการทดสอบที่แม่นยำมากกว่านี้ควรใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องมือเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Arrigoni, M. et. al. 2009. **Optically Pumped Semiconductor Lasers: Green OPSLs**. [Online]. Available : <https://www.laserfocusworld.com>
- [2] Larry A. Coldren; Scott W. Corzine; Milan L. Mashanovitch. 2012. **Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits Book**. New York : John Wiley and Sons
- [3] Paschotta, Dr. Rüdiger. 2016 . **Encyclopedia of Laser Physics and Technology – Photodetectors**. [Online]. Available : [www.rp-photonics.com](http://www.rp-photonics.com).
- [4] กิจไพบุลย์ ชิวพันธ์ศรี . 2554. **LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาาระบบการวัดและควบคุม**.  
กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, บมจ.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

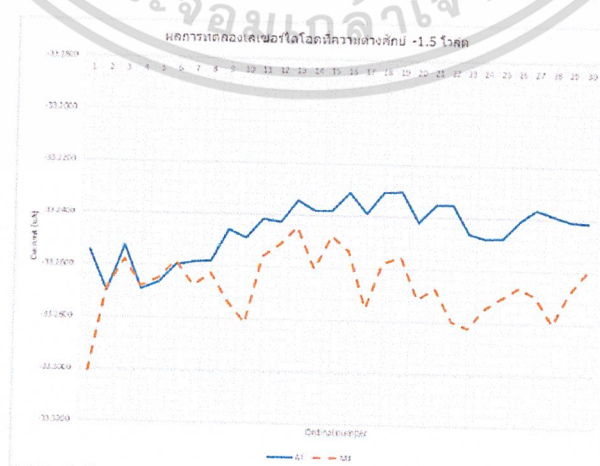


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองหาค่าความแม่นยำของซอฟต์แวร์ของเลเซอร์ไดโอดที่ความต่างศักย์ -1.5 โวลต์

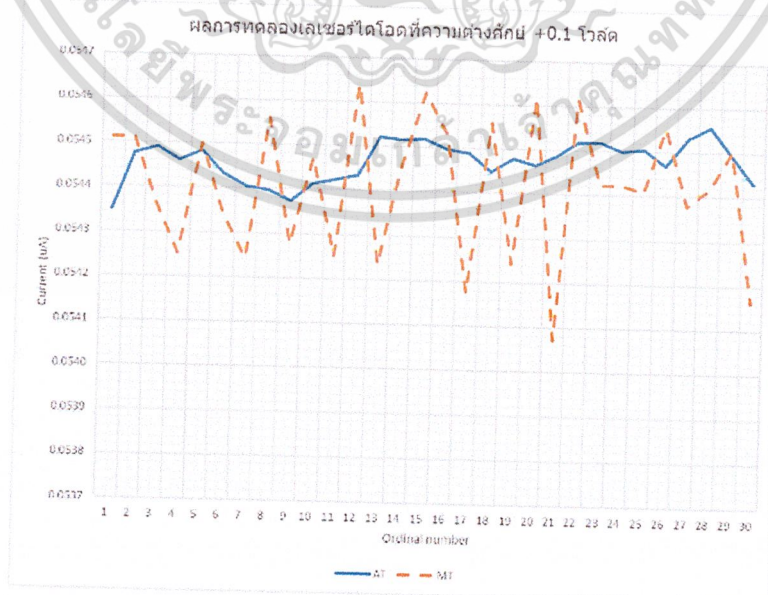
ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)		ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)	
	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ		อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
1	-33.2545	-33.3008	16	-33.2310	-33.2535
2	-33.2699	-33.2687	17	-33.2389	-33.2752
3	-33.2524	-33.2578	18	-33.2306	-33.2580
4	-33.2690	-33.2680	19	-33.2303	-33.2552
5	-33.2664	-33.2648	20	-33.2419	-33.2716
6	-33.2597	-33.2583	21	-33.2351	-33.2672
7	-33.2585	-33.2675	22	-33.2352	-33.2798
8	-33.2579	-33.2625	23	-33.2462	-33.2823
9	-33.2459	-33.2737	24	-33.2479	-33.2750
10	-33.2490	-33.2816	25	-33.2477	-33.2707
11	-33.2416	-33.2559	26	-33.2411	-33.2665
12	-33.2427	-33.2511	27	-33.2366	-33.2696
13	-33.2343	-33.2445	28	-33.2389	-33.2804
14	-33.2382	-33.2605	29	-33.2409	-33.2683
15	-33.2380	-33.2476	30	-33.2414	-33.2601



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 1 ผลการทดลองเลเซอร์ไดโอดที่ความต่างศักย์ -1.5 โวลต์ ครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองหาค่าความแม่นยำของซอฟต์แวร์ของเลเซอร์ไดโอดที่ความต่างศักย์ +0.1 โวลต์

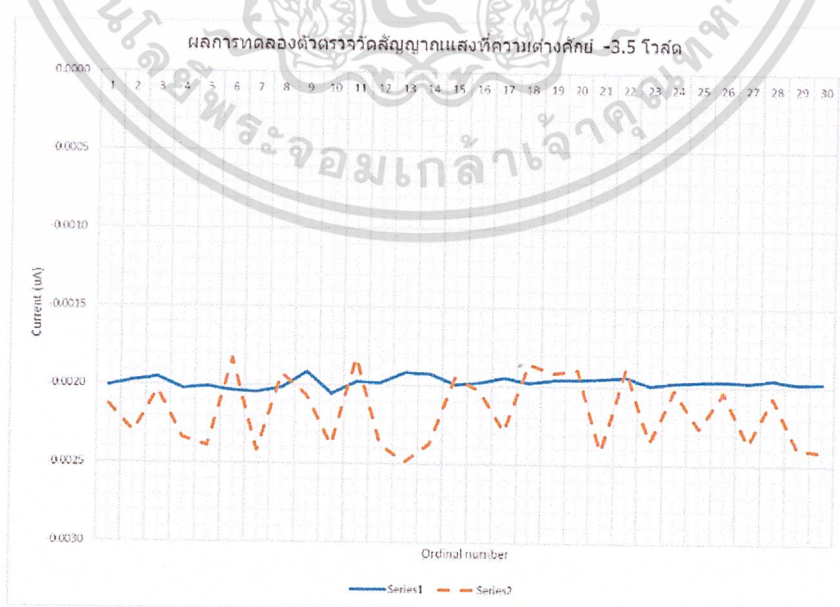
ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)		ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)	
	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ		อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
1	0.0543	0.0545	16	0.0545	0.0545
2	0.0545	0.0545	17	0.0545	0.0542
3	0.0545	0.0544	18	0.0544	0.0546
4	0.0545	0.0543	19	0.0545	0.0542
5	0.0545	0.0545	20	0.0545	0.0546
6	0.0544	0.0543	21	0.0545	0.0541
7	0.0544	0.0542	22	0.0545	0.0546
8	0.0544	0.0546	23	0.0545	0.0544
9	0.0544	0.0543	24	0.0545	0.0544
10	0.0544	0.0545	25	0.0545	0.0544
11	0.0544	0.0543	26	0.0545	0.0546
12	0.0544	0.0546	27	0.0545	0.0544
13	0.0545	0.0542	28	0.0546	0.0544
14	0.0545	0.0545	29	0.0545	0.0545
15	0.0545	0.0546	30	0.0544	0.0542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2 ผลการทดลองเลเซอร์ไดโอดที่ความต่างศักย์ +0.1 โวลต์ ครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองหาค่าความแม่นยำของซอฟต์แวร์ของตัวตรวจจับสัญญาณแสงที่ความต่างศักย์ -3.5 โวลต์

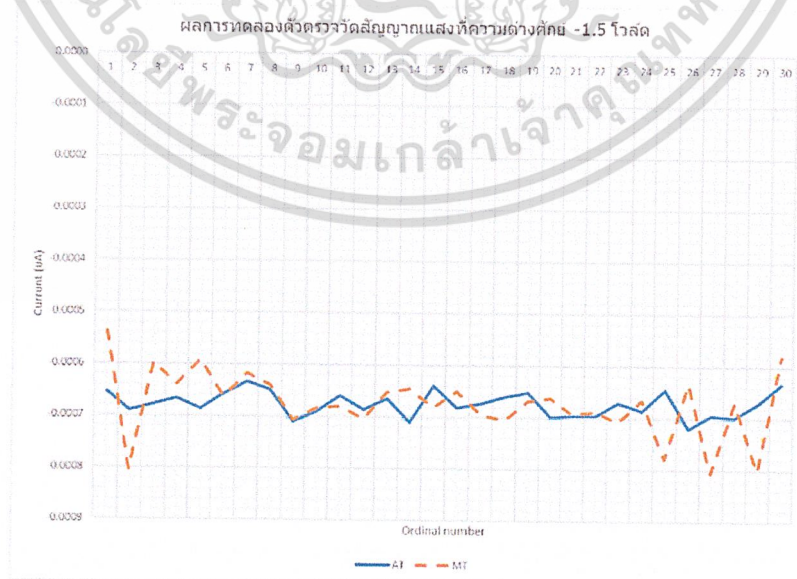
ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)		ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)	
	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ		อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
1	-0.0020	-0.0021	16	-0.0020	-0.0020
2	-0.0020	-0.0023	17	-0.0019	-0.0023
3	-0.0020	-0.0020	18	-0.0020	-0.0019
4	-0.0020	-0.0023	19	-0.0020	-0.0019
5	-0.0020	-0.0024	20	-0.0020	-0.0019
6	-0.0020	-0.0018	21	-0.0019	-0.0024
7	-0.0020	-0.0024	22	-0.0019	-0.0019
8	-0.0020	-0.0019	23	-0.0020	-0.0024
9	-0.0019	-0.0021	24	-0.0020	-0.0020
10	-0.0021	-0.0024	25	-0.0020	-0.0023
11	-0.0020	-0.0018	26	-0.0020	-0.0020
12	-0.0020	-0.0024	27	-0.0020	-0.0024
13	-0.0019	-0.0025	28	-0.0020	-0.0021
14	-0.0019	-0.0024	29	-0.0020	-0.0024
15	-0.0020	-0.0019	30	-0.0020	-0.0024



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3 ผลการทดลองตัวตรวจวัดสัญญาณแสงที่ความต่างศักย์ -3.5 โวลต์ที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองหาค่าความแม่นยำของซอฟต์แวร์ของตัวตรวจวัดสัญญาณแสงที่ความต่างศักย์ -1.5 โวลต์

ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)		ครั้งที่	ความต่างศักย์ (โวลต์)	
	อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ		อัตโนมัติ	จดค่าด้วยมือ
1	-0.0007	-0.0005	16	-0.0007	-0.0007
2	-0.0007	-0.0008	17	-0.0007	-0.0007
3	-0.0007	-0.0006	18	-0.0007	-0.0007
4	-0.0007	-0.0006	19	-0.0007	-0.0007
5	-0.0007	-0.0006	20	-0.0007	-0.0007
6	-0.0007	-0.0007	21	-0.0007	-0.0007
7	-0.0006	-0.0006	22	-0.0007	-0.0007
8	-0.0006	-0.0006	23	-0.0007	-0.0007
9	-0.0007	-0.0007	24	-0.0007	-0.0007
10	-0.0007	-0.0007	25	-0.0006	-0.0008
11	-0.0007	-0.0007	26	-0.0007	-0.0006
12	-0.0007	-0.0007	27	-0.0007	-0.0008
13	-0.0007	-0.0007	28	-0.0007	-0.0007
14	-0.0007	-0.0006	29	-0.0007	-0.0008
15	-0.0006	-0.0007	30	-0.0006	-0.0006



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 4 ผลการทดลองตัวตรวจวัดสัญญาณแสงที่ความต่างศักย์ -1.5 โวลต์**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ผลของงานวิจัยนี้ไปยังสื่อหรือแหล่งข้อมูลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต