

การพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย
สำหรับการใช้งานภายในอาคาร

A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF VISIBLE LIGHT SYSTEM FOR
OPTICAL INDOOR COMMUNICATION



นายปกภูมิ จันโทสถ
นางสาวปวีรยา สขมณี
นายพิทักษ์ กิจชนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย

สำหรับการใช้งานภายในอาคาร

A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF VISIBLE LIGHT SYSTEM FOR
OPTICAL INDOOR COMMUNICATION



นายปกภูมิ จันโทสถ
นางสาวปริญานุช สุขมณี
นายพิทักษ์ กิจธนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คณะวิทยาศาสตร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF VISIBLE LIGHT SYSTEM FOR
OPTICAL INDOOR COMMUNICATION**



MR POKPOOM CHANTHOSOT
MISS PREEYANUCH SUKMANEE
MR PITAK KITTHANA

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

IN APPLIED PHYSICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาระบบต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย
สำหรับการใช้งานภายในอาคาร

A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF VISIBLELIGHT
SYSTEM FOR OPTICAL INDOOR COMMUNICATION

ชื่อนักศึกษา นายปภุมิ จันโทสถ
นางสาวปรียานุช สุขมณี
นายพิทักษ์ กิจธนะ





ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ชนภรณ์ ตีลาวัฒนานนท์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.วิชาญ เชาตธีระ	
ดร.พิชานันท์ ชีเศรษฐ์โสภณ	
ดร.กฤษกร โส้เจริญรัตน์	
อ.ชนภรณ์ ตีลาวัฒนานนท์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย สำหรับการใช้งานภายในอาคาร
ชื่อนักศึกษา	นายปกภูมิ จันโทสถ นางสาวปริยานุช สุขมณี นายพิทักษ์ กิจธนะ
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชนภรณ์ ธีลาวัฒนานนท์

บทคัดย่อ

แอลอีดีสีขาว (ไดโอดเปล่งแสง) มีจุดเด่นเช่นความสว่างสูง ความน่าเชื่อถือ ใช้พลังงานน้อย และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานในอนาคตมีแนวโน้มว่าแอลอีดี จะเป็นอุปกรณ์ที่ให้ความสว่างแทนหลอดไฟทั่วไป ในโครงการนี้นำเสนอระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายสำหรับการใช้งานภายในอาคาร โดยใช้แอลอีดีสีขาวและแสดงผลการทำงานต่างจากการทดลองหลายๆแบบ โดยหลอด LED ที่นำเสนอในระบบนี้ไม่เพียงแต่ให้ความสว่างภายในห้องเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้งานเป็นระบบรับส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายได้อีกด้วยในโครงการนี้เราได้มุ่งเน้นการออกแบบต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายสำหรับการใช้งานภายในอาคารโดยใช้อินเตอร์เฟสอีกประเภทหนึ่งที่ชื่อว่า Universal Serial Bus (USB) ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลได้รวดเร็วกว่าอินเตอร์เฟสประเภท RS-232 ในโครงการนี้เราจะแสดงข้อมูลของอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ที่ระดับความสูงต่างๆกันของวงจรภาคส่งสัญญาณ เมื่อใช้โฟโตนิกไดโอดจำนวน 2 ชนิดเป็นตัวรับแสง คือ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode นอกจากนี้ในโครงการยังได้แสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความส่องสว่างของวงจรภาคส่งสัญญาณที่มุม (half angle) ต่างๆอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ: ระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย

Title	A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF VISIBLELIGHT SYSTEM FOR OPTICAL INDOOR COMMUNICATION
Student	Mr.Pokpoom Chanthosot Miss.Preeyanuch Sukmanee Mr.Pitak Kitthana
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Physics
Academic Year	2013
Advisor	Miss.Tanaporn Leelawattananon

Abstract

White LED (Light Emitting Diode) offers advantageous properties such as high brightness, reliability, lower power consumption and long lifetime. White LEDs are expected to serve in the next generation of lamps. We proposed an optical indoor wireless communication system that used white LEDs like plug-in devices and demonstrated it experimentally. In the proposed system, these devices are used not only for illuminating rooms but also for an optical wireless communication system. In particular we focused on designing a prototype of VLC that can be used with a different type of interface which can work with higher data transfer rates than RS-232 interface, namely Universal Serial Bus (USB). We show a data transmission rate without errors in the received data for several distances by using two types of receiver, VBPW24R Photodiode and FDS10x10 Photodiode. The half angle of the transmitter is determined by the illuminant distribution plot.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords :Visible Light Communication

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IV
สารบัญรูป	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการของแสง (Principle of Light)	4
2.2 การสื่อสาร (Communication)	4
2.2.1 ความหมายของการสื่อสาร	4
2.2.2 ส่วนประกอบของการสื่อสารข้อมูล	5
2.2.3 คุณสมบัติพื้นฐาน 3 ประการของการสื่อสารข้อมูล	6
2.3 หลักการของแสงเพื่อการสื่อสาร (Principle of Light for Communication)	6
2.4 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเชิงแสง	7
2.4.1 แหล่งกำเนิดข้อมูล (Source)	7
2.4.2 ภาควงส่งสัญญาณเชิงแสง (Optical Transmitter)	7
2.4.3 ช่องสัญญาณเชิงแสง (Optical Channel)	8
2.5 อุปกรณ์แสง (Optical Device)	8
2.5.1 อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง)	8
2.5.2 อุปกรณ์ตัวรับแสง	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 อินเทอร์เน็ต EIA-232 หรือ RS-232	11
2.6.1. คุณลักษณะสำคัญของการอินเทอร์เน็ต EIA-232 หรือ RS-232	12
2.7 Universal Serial Bus (USB)	14
2.8 พื้นฐานข้อมูลและสัญญาณ	15
2.8.1. ข้อมูล	15
2.8.2. สัญญาณ	16
2.9 สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล	16
2.9.1 ความหมายของสัญญาณแอนะล็อก	16
2.9.2 ความหมายสัญญาณดิจิทัล (Digital Single)	16
2.9.3 ข้อมูลแอนะล็อกและสัญญาณแอนะล็อก	16
2.9.4 พื้นฐานของสัญญาณแอนะล็อก	17
2.9.5 สัญญาณดิจิทัลและข้อมูลดิจิทัล	19
2.10 หน่วยความเร็วในการรับส่งข้อมูล	20
2.10.1. อัตราบิต (Bit Rate/Data Rate)	20
2.10.2. อัตราบอด (Baud Rate)	20
2.11 รูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและอัตราบอด (Baud Rate)	21
2.12 การแปลงข้อมูลให้เป็นสัญญาณ	22
2.12.1 การแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณแอนะล็อก	23
2.12.2 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัล	23
2.12.3 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	26
2.12.4 การแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	26
2.13 การสูญเสียสัญญาณจากการส่งผ่านข้อมูล	27
2.13.1 ปัจจัยนี้สำหรับความสูญเสียของสัญญาณจากการส่งผ่านข้อมูล	27
2.14 สัญญาณรบกวน (Noise)	28
2.14.1 เทอร์มัลนอยส์ (Thermal Noise)	28
2.14.2 อิมพัลส์นอยส์ (Impulse Noise)	29
2.14.3 จิตเตอร์ (Jitter)	29
2.15 การป้องกันสัญญาณรบกวน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.16 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งาน	30
2.16.1 การสื่อสารด้วยกล้องความเร็วสูงบนถนน	30
2.16.2 การบูรณาการระบบการสื่อสารด้วย LED และการสื่อสารผ่านสายไฟ	31
2.16.3 ระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับการสื่อสารด้วยแสง	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรภาครับสัญญาณและวงจรถูกส่งสัญญาณ	33
3.1.1 วงจรภาครับสัญญาณ	33
3.1.2 วงจรถูกส่งสัญญาณ	34
3.2 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของโมเดลต้นแบบ	35
3.3 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรถูกส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ (visible light communication, VLC)	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรถูกส่งสัญญาณ	42
4.1.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล(data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรถูกส่งสัญญาณ	42
4.1.2 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ FDS10x10 Photodiodeที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรถูกส่งสัญญาณ	44
4.2 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรถูกส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ (VLC)	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (FOV) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรากส่งสัญญาณของโมเดล ต้นแบบ (VLC) ที่ระดับความสูงต่างๆ	52
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	81
5.1.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (datarates) แบบ ไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiodeที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรากส่งสัญญาณ	
5.1.2 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (FOV) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรากส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ (VLC)	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอน	2
2.1 แสดงรายละเอียดของสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232 (DB9)	13
2.2 แสดงอัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป	21
2.3 แสดงรายละเอียดของข้อมูลที่แปลงเป็นสัญญาณต่างๆกับตัวอย่างที่ใช้ในระบบ	26
4.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 50 cm. , R=484 kΩ	42
4.2 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 40 cm. , R=356 kΩ	43
4.3 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 30 cm. , R=200 kΩ	43
4.4 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 20 cm. , R=110kΩ	43
4.5 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 15 cm. , R=65 kΩ	44
4.6 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 10 cm. , R=30.6 kΩ	44
4.7 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 5 cm. , R=12kΩ	44
4.8 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณ ของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 210 cm. , R=484 kΩ	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.9 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 190 cm. , R=484 k Ω	45
4.10 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 170 cm. , R=484 k Ω	46
4.11 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode 150 cm. , R=385 k Ω	46
4.12 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 130 cm. , R=280 k Ω	47
4.13 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 110 cm. , R=200 k Ω	48
4.14 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 90 cm. , R=115 k Ω	48
4.15 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 70 cm. , R=73 k Ω	49
4.16 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 50 cm. , R=33 k Ω	50
4.17 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 40 cm. , R=25 k Ω	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.18 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบ ไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 30 cm. , R=12 kΩ	51
4.19 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบ ไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 20 cm. , R=5.31 kΩ	51
4.20 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบ ไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 15 cm. , R=2.5 kΩ	52
4.21 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบ ไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 10 cm. , R=0 kΩ	52
4.22 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบ ไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 5 cm. , R=0 kΩ	52
4.23 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 210 cm.	53
4.24 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 190 cm.	54
4.25 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 170 cm.	56
4.26 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 150 cm.	57
4.27 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 130 cm.	59
4.28 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 110 cm.	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.29 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 90 cm.	62
4.30 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 70 cm.	64
4.31 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 50 cm.	65
4.32 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 40 cm.	67
4.33 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 30 cm.	68
4.34 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 20 cm.	68
4.35 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 15 cm.	69
4.36 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 10 cm.	69
4.37 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 5 cm.	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.2 ส่วนประกอบของการสื่อสาร	5
2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารเชิงแสง	6
2.4 แสดงลักษณะของแอลอีดี	8
2.5 อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิดโชนดิพลีชั่นซึ่งเป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน	9
2.6 เมื่อต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ	10
2.7 เมื่อต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P โชนดิพลีชั่นมีขนาดกว้างขึ้นอิเล็กตรอนและโฮลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ	10
2.8 แสดงลักษณะของโฟโตไดโอด (Photo Diode)	11
2.9 แสดงลักษณะการไบอัสไบอัสกลับ (Reverse Bias) ของโฟโตไดโอด	11
2.10 แสดงลักษณะของ EIA-232 หรือ RS-232	12
2.11 แสดงรายละเอียดของสัญญาณของ RS232 ที่ (PIN) ต่างๆ	13
2.12 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9	14
2.13 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	14
2.14 แสดงลักษณะของ Universal Serial Bus (USB)	15
2.15 แสดงตัวอย่างคลื่นสัญญาณแอนะล็อก	16
2.16 แสดงสัญญาณแอนะล็อกที่ถูกผสมผสานระหว่างข้อมูล	17
2.17 สัญญาณแอนะล็อกกับความแตกต่างของระดับแอมพลิจูดและสัญญาณรบกวน	17
2.18 แสดงถึงความแตกต่างของสัญญาณแอนะล็อกทั้งสาม	18
2.19 รูปคาบสัญญาณ	18
2.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสสัญญาณ	19
2.21 Bit Rate และ Bit Interval (ไบนารี 1 แทนแรงดัน + และไบนารี 0 แทนแรงดัน 0)	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.22 แสดงสัญญาณดิจิทัลกับจำนวนของสัญญาณ 2 ระดับ	20
2.23 แสดงสัญญาณดิจิทัลกับจำนวนของสัญญาณ 4 ระดับ	20
2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตและอัตราบอด	21
2.25 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	21
2.26 การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม	22
2.27 แสดงการการมอดูเลตทางขนาด (AM)	23
2.28 แสดงการมอดูเลตความถี่	23
2.29 รูปแบบของสัญญาณดิจิทัล	24
2.30 แสดงลักษณะการการเข้ารหัสแบบ NRZ-L	24
2.31 แสดงลักษณะการการเข้ารหัสแบบ NRZ-I	24
2.32 แสดงลักษณะการการเข้ารหัสแบบ Manchester	25
2.33 แสดงลักษณะการการเข้ารหัสแบบ Differential Manchester	25
2.34 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกโดยใช้โมเด็ม	26
2.35 การแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้โคเดค	26
2.36 การอ่อนกำลังของสัญญาณ	28
2.37 สัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกันทำให้สัญญาณบิดเบี้ยวเพี้ยนไปจากเดิม	28
2.38 รูปสัญญาณเทอร์มินัลนอยส์	29
2.39 รูปสัญญาณอิมพัลส์นอยส์	29
2.40 รูปสัญญาณจิตเตอร์	30
2.41 แสดงการใช้แสงในการรับส่งข้อมูลบนถนน	31
2.42 คลื่นสัญญาณในสายไฟ	31
2.43 แผนภาพแสดงการรับและส่งข้อมูล	32
3.1 วงจรภาครับสัญญาณ	33
3.2 วงจรภาคส่งสัญญาณ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

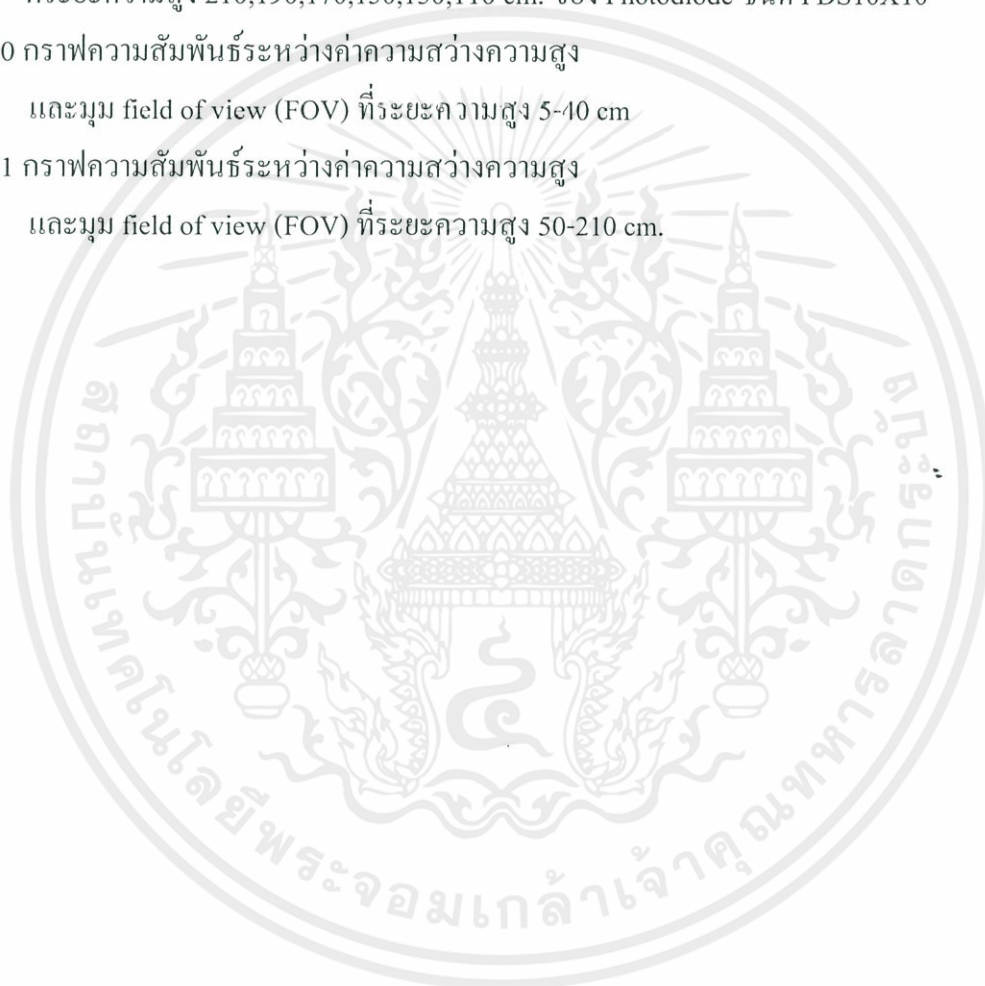
รูปที่	หน้า
3.3 อุปกรณ์ UM232R	35
3.4 การเชื่อมต่อวงจรภาครับสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน PORT (COM5)	35
3.5 แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด VBPW2	36
3.6 แสดงการปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าที่เหมาะสมกับระยะเวลารับและส่งสัญญาณ โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปในการดูคลื่นสัญญาณ	36
3.7 การตั้งค่า Baud rate ของวงจรภาครับ (ก) และภาคส่งสัญญาณ (ข) ให้ตรงกัน	37
3.8 หน้าต่างการส่งไฟล์ข้อมูลจากวงจรภาคส่งสัญญาณ โดยผ่าน โปรแกรม Terminal v1.9b	38
3.9 หน้าต่างของ โปรแกรม Terminal v1.9b ของวงจรภาครับสัญญาณ เมื่อรับไฟล์ข้อมูลจากวงจรภาคส่งสัญญาณเสร็จสิ้นแล้ว	38
3.10 แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด FDS10x10	39
3.11 ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณในแนวตั้ง	40
3.12 การเชื่อมต่อภาคส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์	40
3.13 Lux meter	41
4.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 210 cm.	70
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 190 cm.	71
4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าค่า ความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 170 cm.	71
4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 150 cm.	72
4.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 130 cm.	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 110 cm.	73
4.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 90 cm.	73
4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 70 cm.	74
4.9 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 50 cm.	74
4.10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าค่า ความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 40 cm.	75
4.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 30 cm.	75
4.12 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 20 cm.	76
4.13 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 15 cm.	76
4.14 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 10 cm.	77
4.15 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 5 cm.	77
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุม field of view (FOV)และData rate ที่ระยะความสูง5,10 cm. ของ Photodiode ชนิด VBPW24R	78
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุม field of view (FOV)และ Data rate ที่ระยะความสูง 15,20,30,40,50 cm. ของ Photodiode ชนิด VBPW24R	78

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.18 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Data rate ที่ระยะความสูง 90,70,50,40,30,20,15,10,5 cm. ของ Photodiode ชนิด FDS10X10	79
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุม field of view (FOV) และ Data rate ที่ระยะความสูง 210,190,170,150,130,110 cm. ของ Photodiode ชนิด FDS10X10	79
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างความสูง และมุม field of view (FOV) ที่ระยะความสูง 5-40 cm	80
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างความสูง และมุม field of view (FOV) ที่ระยะความสูง 50-210 cm.	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก โดยจะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างบุคคล หรือกลุ่มคณะ เพื่อจะทำให้เกิดความเข้าใจกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการสื่อสารในรูปแบบต่างๆ เช่น Wireless, Bluetooth, Infrared, คลื่นวิทยุและดาวเทียม เป็นต้น แต่เทคโนโลยีดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง อาทิ การบำรุงรักษา, การติดตั้งระบบ, สัญญาณรบกวนและแบนวิธ (Bandwidth) เป็นต้น เทคโนโลยีการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านตามองเห็น (Visible Light Communication, VLC) จึงถือเป็นยังทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากใช้แสงขาวในย่านที่ตามองเห็นในการสื่อสารข้อมูลภายในอาคารซึ่งไม่รบกวนการทำงานของอุปกรณ์ เช่น เครื่องมือที่ใช้ในโรงพยาบาล, ระบบที่ใช้ในเครื่องบิน เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านตามองเห็น (Visible Light Communication, VLC) มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลภายในอาคาร จึงจัดทำโครงการพิเศษนี้ขึ้นเพื่อออกแบบและสร้างโมเดลต้นแบบการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านตามองเห็น (Visible Light Communication, VLC) โดยใช้ LED ประเภท High powered ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลและใช้ Photodiode ทำหน้าที่ในการรับข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่าน Visible Light
2. ศึกษาและสร้างโมเดลต้นแบบ (Visible Light Communication, VLC)
3. ศึกษาการทำงานของโมเดลต้นแบบ VLC และประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ
4. ศึกษาหลักการทำงานของโมเดลต้นแบบ VLC และประเมินความสามารถทางด้าน

ความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาหลักการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่าน Visible Light
2. ศึกษาการทำงานของวงจรรหัสส่งสัญญาณ และวงจรรหัสรับสัญญาณ
3. ออกแบบและสร้าง โมเดลต้นแบบ (Visible Light Communication, VLC)
4. ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรหัสส่งสัญญาณ
5. ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรหัสส่งสัญญาณ

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับเทคโนโลยีการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านตามองเห็น(Visible Light Communication, VLC)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาวงจรรหัสส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและสร้าง โมเดล(Visible Light Communication, VLC)

ขั้นตอนที่ 4 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรหัสส่งสัญญาณ

ขั้นตอนที่ 5 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรหัสส่งสัญญาณ

ขั้นตอนที่ 6 สรุปโครงการพิเศษและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน	ปี 2556							ปี 2557		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ขั้นตอนที่ 1										
ขั้นตอนที่ 2										
ขั้นตอนที่ 3										
ขั้นตอนที่ 4										
ขั้นตอนที่ 5										
ขั้นตอนที่ 6										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้และความเข้าใจการทำงานของเทคโนโลยีสื่อสารข้อมูลแบบ (Visible Light Communication, VLC)
2. สามารถอธิบายหลักการทำงานของการส่งและรับข้อมูลด้วยแสงในย่าน Visible Light
3. สามารถนำโมเดลต้นแบบ (Visible Light Communication, VLC) ไปใช้ในการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สายภายในอาคารได้



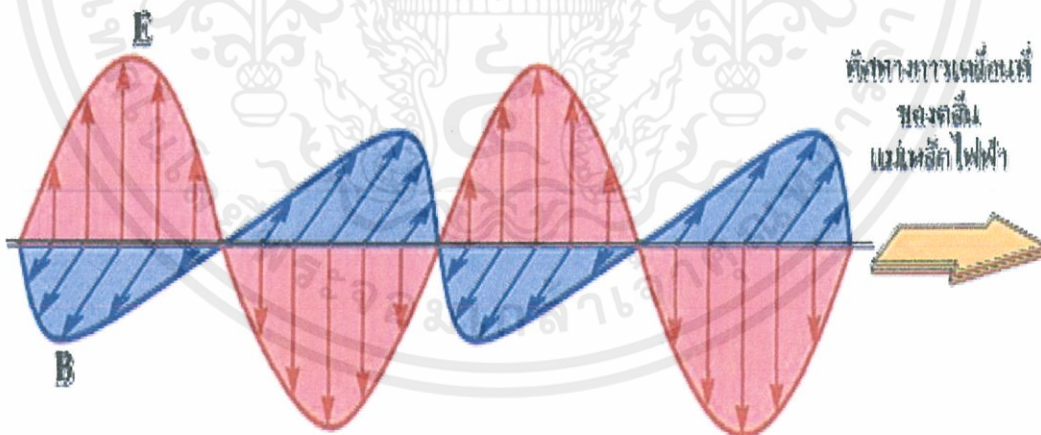
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของแสง (Principle of Light)

ธรรมชาติของแสงนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาคกรณีที่แสงแสดงพฤติกรรมเป็นคลื่น เรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งจะประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกันดังรูปที่ 2.1 ตามปกติแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงแต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางแสงจะมีการเปลี่ยนทิศทางไปเรียกว่าการสะท้อน และถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกันเรียกว่า หักเหตของแสงซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการอธิบายว่าจะสามารถส่งสัญญาณแสง (Optical Signal) ออกไปยังช่องสัญญาณที่เป็นเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ได้เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูเปิดเล็กๆ หรือช่องแคบที่ปล่อยให้คลื่นแสงผ่านไปได้เรียกว่าการเลี้ยวเบน ส่วนการแทรกสอดนั้นเกิดจากการที่คลื่นแสงสองวงเคลื่อนที่มาพบกันเกิดการเสริมกันและหักล้างกัน โดยแหล่งกำเนิดแสงต้องให้กำเนิดแสงความถี่เดียวกันและความยาวคลื่นเท่ากัน แสงเดินทางผ่านอากาศด้วยความเร็วสามร้อยล้านเมตรต่อวินาทีและมีความถี่อยู่ในย่านที่ตามองเห็น (Visible) อาจรวมถึงอินฟราเรด (Infrared) และอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)



รูปที่ 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2 การสื่อสาร (Communication)

2.2.1 ความหมายของการสื่อสาร

การสื่อสาร หมายถึง กระบวนการที่ยินยอมให้ข้อมูลถูกส่งจากตำแหน่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งหรือจากผู้ส่งไปยังผู้รับสาร

2.2.2 ส่วนประกอบของการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลจะสัมฤทธิ์ผลและมีความสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อครบส่วนประกอบของระบบการสื่อสารดังรูปที่ 2.2 โดยส่วนประกอบของระบบการสื่อสารประกอบด้วย

1. ข่าวสาร (Message)

ข่าวสารหรือสารสนเทศต่างๆ ที่อาจเป็นข้อความ ตัวเลข รูปภาพ เสียง และวิดีโอ ข่าวสารที่ส่งไปจะต้องได้รับการเข้ารหัส (Encoding) เพื่อส่งผ่านสื่อกลาง เมื่อปลายทางได้รับข้อมูล ก็จะทำการถอดรหัส (Decoding) ให้กลับมามีข้อมูลดั้งเดิมเช่นเดียวกับที่ส่งมา

2. ผู้ส่ง (Sender/ Source)

ผู้ส่งหรือแหล่งกำเนิดข่าวสารคือ อุปกรณ์ที่ใช้ส่งข่าวสาร ซึ่งอาจเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ เวิร์กสเตชัน โทรศัพท์ กล้องวิดีโอ เป็นต้น

3. ผู้รับ (Receiver/Destination)

ผู้รับหรือจุดหมายปลายทางคือ อุปกรณ์ที่ใช้รับข่าวสาร ซึ่งอาจเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ เวิร์กสเตชัน โทรศัพท์ กล้องวิดีโอ เป็นต้น

4. สื่อกลางส่งข้อมูล (Transmission Medium)

สื่อกลางส่งข้อมูลคือ เส้นทางเชิงกายภาพที่ใช้การลำเลียงข่าวสารจากผู้ส่ง ไปยังผู้รับ เช่น สายโคแอกเชียล สายคู่บิดเกลียว สายไฟเบอร์ออปติก และคลื่นวิทยุ เป็นต้น

5. โพรโทคอล (Protocol)

โพรโทคอลคือ กลุ่มของกฎเกณฑ์หรือข้อปฏิบัติต่างๆ ที่กำหนดขึ้นมา เพื่อให้เป็นข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้ส่งหรือผู้รับเพื่อใช้ในการสื่อสารบรรลุผล ถึงแม้อุปกรณ์ทั้งสองฝั่งจะเชื่อมต่อกัน หากปราศจากโพรโทคอลก็จะไม่สามารถสื่อสารกัน ได้อย่างเข้าใจ และส่งผลให้การสื่อสารล้มเหลว เช่น คนหนึ่งพูดภาษาฝรั่งเศส ส่วนอีกคนหนึ่งพูดภาษาญี่ปุ่น ทำให้สื่อสารกันล้มเหลว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของการสื่อสาร

2.2.3 คุณสมบัติพื้นฐาน 3 ประการของการสื่อสารข้อมูล

(Fundamental Characteristics of Data Communications)

เมื่อการสื่อสารข้อมูลเกิดขึ้น อุปกรณ์การสื่อสารจะต้องถือเป็นส่วนหนึ่งของระบบการสื่อสารด้วย เพื่อให้สามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การดำเนินการจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพื้นฐาน 3 ประการดังนี้

1. การส่งมอบ (Delivery)

ระบบต้องสามารถส่งมอบข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้อย่างถูกต้อง ข้อมูลที่ส่งไปจะต้องไปยังอุปกรณ์ตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ

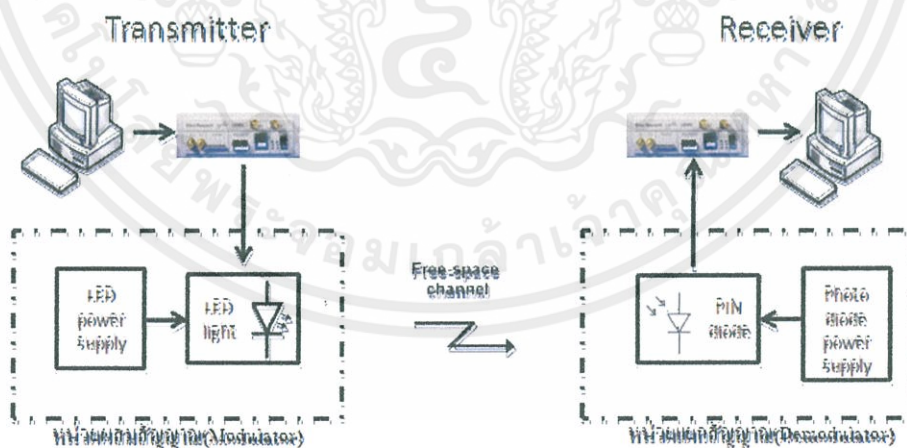
2. ความถูกต้องแม่นยำ (Accuracy)

ระบบสื่อสารจะต้องส่งมอบข้อมูลได้อย่างเที่ยงตรง สำหรับระบบการสื่อสารที่ดี ควรมีการส่งสัญญาณเตือนไปยังผู้ส่ง/ผู้รับให้รับทราบ กรณีที่การส่งข้อมูลในขณะนั้นล้มเหลวหรือข้อมูลสูญหาย

3. ระยะเวลา (Timeliness)

ระบบจะต้องมีการส่งมอบไปยังปลายทางภายในระยะเวลาที่เหมาะสม โดยค่าระยะเวลาที่เหมาะสมหมายถึง ทันต่อเหตุการณ์ในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้แต่ละระบบจะต้องตอบสนองเวลาที่เหมาะสมแตกต่างกันไป

2.3 หลักการของแสงเพื่อการสื่อสาร (Principle of Light for Communication)



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารเชิงแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สูงงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การสื่อสารผ่านช่องสัญญาณเชิงแสงมีหลักการเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสาร ไม่ว่าจะชนิดใดทั้งสิ้น ออกแบบให้คงเป็นอิสระและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้เชิงแสงดังรูปที่ 2.3 ขั้นตอนหนึ่งที่หนึ่งแหล่งกำเนิดข้อมูลหรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล โทรสาร เป็นต้น จะสร้างข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อก

(Analog) หรือสัญญาณดิจิทัล (Digital) ขั้นตอนที่สองภาคผสมสัญญาณจะทำการเพิ่มผสมสัญญาณรูปแบบเฉพาะเพื่อให้ทำให้เกิดความเหมาะสม จากนั้นส่งสัญญาณไปผ่านแหล่งกำเนิดแสงเพื่อทำการแปลงสัญญาณข้อมูลไฟฟ้าเข้ากับคลื่นพาห้มาจากความถี่ของแสงหลังจากทำการแปลงสัญญาณสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสง (Optical Signal) ที่มีลักษณะเป็นลำแสง ขั้นตอนที่สามจะส่งสัญญาณออกไปยังช่องสัญญาณเชิงแสงซึ่งอาจเป็นอากาศ (Free space) บรรยากาศ สัญญาณแสงนั้นจะถูกส่งไปยังภาครับสัญญาณเชิงแสง โดยในขั้นแรกสัญญาณแสงจะถูกรวมแสงจากเลนส์ด้านหน้า จากนั้นถูกส่งไปยังตัวตรวจจับแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า (O/E) โดยการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากคลื่นพาห้ จากนั้นส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง เพื่อทำการเปลี่ยนกลับคืนให้เป็นสัญญาณ เพื่อให้ได้ข้อมูลแบบเดียวกับที่แหล่งกำเนิดข้อมูลส่งออกมา

2.4 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเชิงแสง (Basic Elements of Optical Communication System)

2.4.1 แหล่งกำเนิดข้อมูล (Source)

แหล่งกำเนิดข้อมูลคืออุปกรณ์หรือแหล่งสร้างสัญญาณต่างๆ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณภาพ ข้อมูล หรือเสียง เป็นต้น

2.4.2 ภาคส่งสัญญาณเชิงแสง (Optical Transmitter)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ซึ่งเป็นอุปกรณ์ต้นทาง เช่น โมเด็มเชิงแสง คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงและส่งออกไปยังปลายทางผ่านช่องสัญญาณเชิงแสง ในส่วนของภาคส่งจะมีกระบวนการการผสมสัญญาณเชิงแสง (Optical Modulation) โดยสัญญาณต่างๆที่ได้รับมาจากแหล่งกำเนิดข้อมูล จะนำมาถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าและนำสัญญาณไฟฟ้านั้นไปผสมกับคลื่นพาห้ที่มีความถี่เชิงแสงเพื่อให้ได้สัญญาณแสงออกมา

ในการผสมสัญญาณเชิงแสงจะต้องมีแหล่งกำเนิดแสงที่ทำหน้าที่ให้กำเนิดแสงที่จะนำมาผสมสัญญาณ เช่น ไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diodes: LED) อุปกรณ์เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเป็นระเบียบ มีทิศทางที่แน่นอน และมีความเข้มสูง การผสมสัญญาณมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การผสมสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency Modulation: FM) การผสมสัญญาณเชิงเฟส (Phase Modulation: PM) หรือการผสมสัญญาณเชิงขนาด (Amplitude Modulation: AM) ซึ่งรูปแบบของการสื่อสารโดยใช้แสงที่มีใช้งานจริงจะถูกกำหนดโดยรูปแบบของการผสมสัญญาณ (Optical Modulation) และการตรวจจับเชิงแสง (Optical Detection) ซึ่งแบ่งเป็นสองประเภทหลัก คือ การผสมเชิงขนาดและตรวจจับแบบตรง (Intensity modulation/ Direct Detection: IM/DD)

2.4.3 ช่องสัญญาณเชิงแสง (Optical Channel)

โดยพื้นฐานช่องสัญญาณเชิงแสงแบ่งเป็นสองประเภทคือ ช่องสัญญาณแบบผ่านอากาศ โดยตรงและช่องสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสงในระบบการสื่อสารผ่านทางอากาศ (Space System) สัญญาณแสงจะถูกรวมและส่งออกไปในรูปแบบของลำแสงซึ่งข้อมูลจะถูกส่งออกไปในแนวเส้นตรงตามหลักการของแสงที่เดินทางเป็นเส้นตรง โดยจะมีจุดหมายปลายทางเพียงจุดเดียว

2.5 อุปกรณ์แสง (Optical Device)

เป็นอุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง) และตัวรับแสงที่เป็นส่วนประกอบของการสื่อสารทางแสง โดยการส่งด้านนี้จะมีอุปกรณ์ส่งแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าของสัญญาณให้เป็นพลังงานแสง แล้วส่งผ่านอากาศออกไปให้ยังด้านรับ ซึ่งด้านรับนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้กลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (Transmitter Devices) อุปกรณ์ให้กำเนิดแสงเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้แสงออกมาโดยเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ซึ่งอุปกรณ์ให้กำเนิดแสงที่นิยมใช้ในการสื่อสารด้วยแสง คือ LED

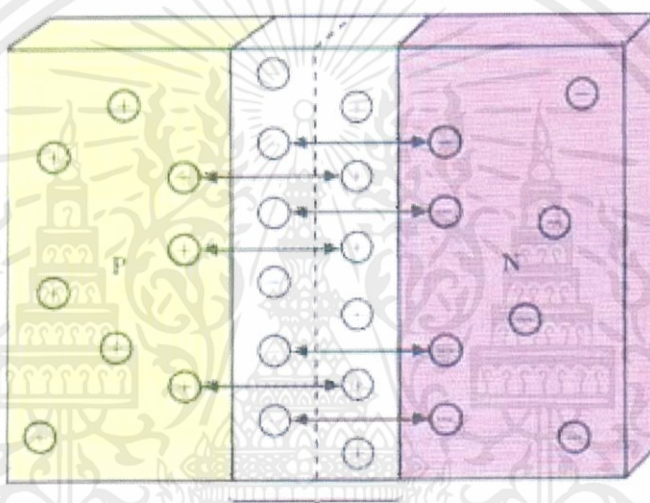
2.5.1 อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง)

แอลอีดี (LED) หรือไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode) ดังรูปที่ 2.4 LED มีหลายสี แต่สีที่เป็นที่ต้องการสำหรับการส่องสว่างมากที่สุดก็คือสีขาว แสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 480nm-750nm โดยสารเรืองแสง InGaN blue ที่เคลือบใน LED และจะถูกรวมกับสีฟ้าใน LED ซึ่งเกิดจากภายในของหลอดไฟ LED เมื่อได้รับเมื่อแรงดันจากภายนอก และเมื่อแสงสีฟ้ารวมกับสารเรืองแสงก็จะปล่อยแสงขาวออกมา



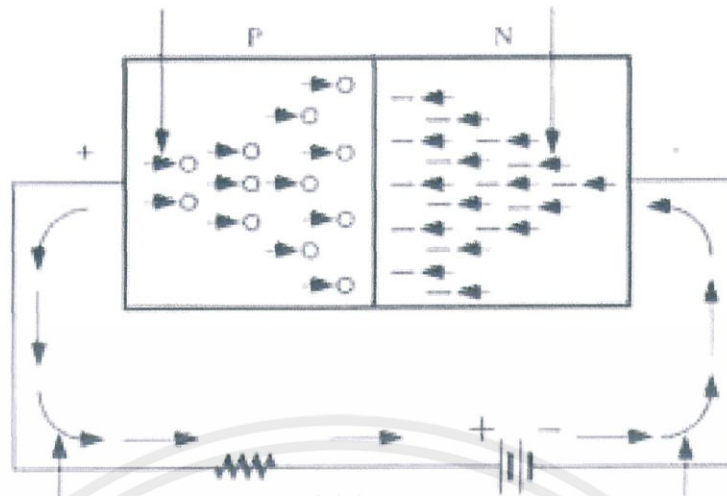
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแอลอีดี

แอลอีดี (LED) เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้ ปกติวัสดุสารกึ่งตัวนำเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เหลว เมื่อใส่สารเจือปนเข้าไปทำให้สามารถควบคุมการนำไฟฟ้าเรียกวิธีนี้ว่าการ โด๊ป (doping) โดยส่วนใหญ่หลอด LED ใช้สารอลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ (aluminium-gallium-arsenide) ย่อเป็น AlGaAs เป็นสารกึ่งตัวนำถ้ายังไม่ใส่สารเจือปนพันธะในอะตอมจะเกาะกันอย่างแข็งแรงไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ (ประจุไฟฟ้าลบ) จึงไม่นำกระแสแต่เมื่อทำการ โด๊ปโดยการเติมสารเจือปน จะทำให้ความสมดุลของวัสดุเปลี่ยนไป เมื่อใส่สารเจือปนแล้วทำให้อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้นเรียกว่าสารประกอบชนิด N ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ใส่สารเจือปนแล้วมีประจุไฟฟ้าบวกหรือ โฮล เพิ่มขึ้นเรียกว่าสารประกอบชนิด P

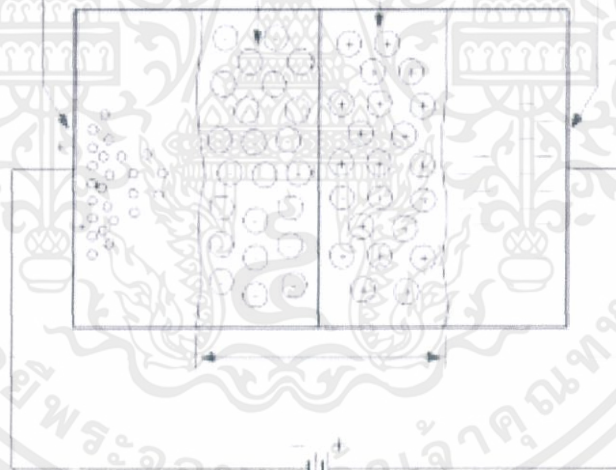


รูปที่ 2.5 อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ ไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิด โซนดีพลีชัน ซึ่งเป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน

ไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด N ติดเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P เชื่อมสายไฟเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อยังไม่มีการให้แรงดันไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระจาก N จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปที่ P เกิด โซนดีพลีชัน (depletion) ขึ้นเมื่อโซนนี้มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระยากขึ้นและอาจทำให้อิเล็กตรอนหยุดการเคลื่อนที่ได้ เพื่อจะทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านโซนนี้ได้สะดวกขึ้น จึงจำเป็นต้องทำให้โซนนี้แคบลงโดยการต่อขั้ว N ของไดโอดเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ และขั้วบวกเข้ากับขั้ว P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระใน N ถูกดันด้วยแรงดันทางไฟฟ้าและประจุบวกขั้ว P จะถูกดันด้วยแรงทางไฟฟ้าเช่นเดียวกันถ้าแรงดันทางไฟฟ้ามักพอโซนนี้จะแคบจนหายไปและอิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อได้สะดวกขึ้นในทางกลับกันถ้าต่อขั้วลบเข้ากับ P และขั้วบวกเข้ากับ N จะทำให้การไหลของอิเล็กตรอนจะเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม โซนดีพลีชันจะหนาเพิ่มขึ้น



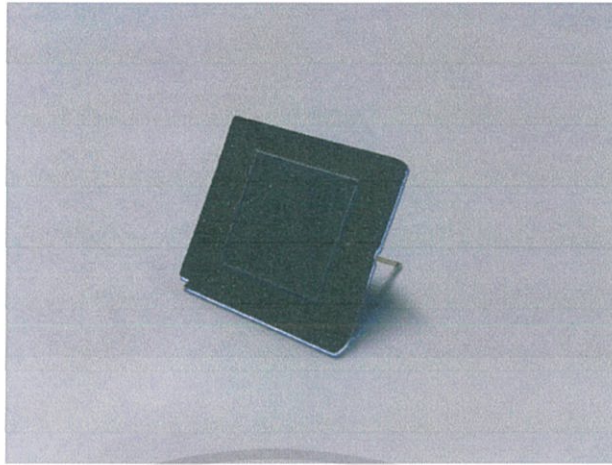
รูปที่ 2.6 เมื่อต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ



รูปที่ 2.7 เมื่อต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P โชนดิลิชั่นมีขนาดกว้างขึ้น อิเล็กตรอนและโฮลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

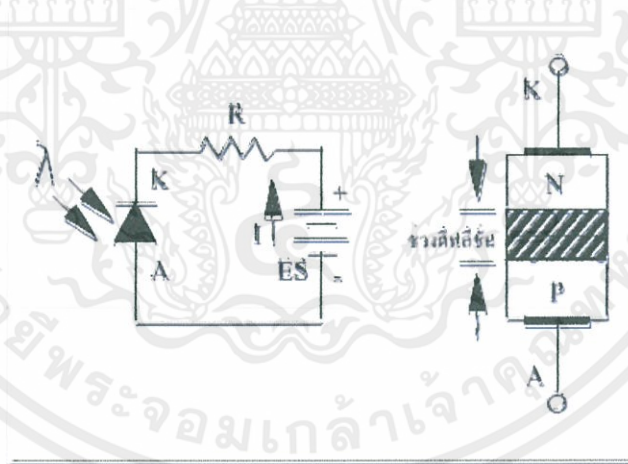
2.5.2 อุปกรณ์ตัวรับแสง

โฟโตไดโอด(Photo Diode) ดังรูปที่ 2.8 โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N โดยที่รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส เป็นต้น โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด (IR Photo Diode)



รูปที่ 2.8. แสดงลักษณะของโฟโตไดโอด (Photo Diode)

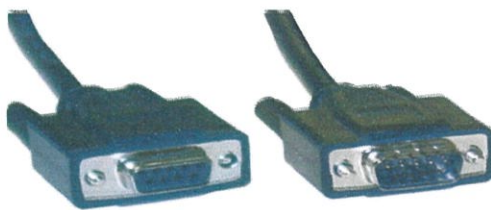
โฟโตไดโอด (Photo Diode) จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มากกระทบบมีความยาวคลื่นหรือมุมที่เหมาะสม จะทำให้มีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มากกระทบบ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9. แสดงลักษณะการไบอัสไบอัสกลับ (Reverse Bias) ของโฟโตไดโอด

2.6 อินเทอร์เน็ต EIA-232 หรือ RS-232

มาตรฐานอินเทอร์เน็ตหนึ่งที่สำคัญคือ EIA-232 ที่พัฒนาโดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association: EIA) เป็นอินเทอร์เน็ตที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ DTE (data terminal equipment) และ DCE (data circuit terminating equipment) ซึ่งแต่เดิมได้มีการใช้ชื่อเรียกว่า RS-232 (Recommended Standard) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของ EIA-232 หรือ RS-232

2.6.1 คุณสมบัติสำคัญของการอินเทอร์เฟซ EIA-232 หรือ RS-232

อินเทอร์เฟซ EIA-232 แบบดั้งเดิมจะเป็นแบบ 25 เข็มสำหรับปลั๊กตัวผู้ และแบบ 25 ซ็อกเก็ตสำหรับตัวเมีย โดยมาตรฐานจะครอบคลุมข้อกำหนดทั้ง 4 ประการดังนี้

1. ข้อกำหนดทางกลไกเป็นส่วนกายภาพของปลั๊ก EIA-232ที่ใช้เชื่อมต่อ
2. ข้อกำหนดทางไฟฟ้าเป็นข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับรายละเอียดของสัญญาณไฟฟ้าเป็นเรียงของสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ DTE หรือ DCE สัญญาณดิจิทัลที่ใช้จะมีทั้งสายกราวด์แรงดันไฟฟาลบที่น้อยกว่า -3 โวลต์ (-3 ถึง -15) เพื่อใช้แปลงไบนารี 1 และแรงดันไฟฟ้าบวกที่มากกว่า +3 โวลต์ (+3 ถึง +15) ในการแปลงเป็นไบนารี 0 โดยจะยอมรับสัญญาณที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 12 โวลต์ทั้งบวกและลบ ส่วนพื้นที่ที่จัดเป็น Undefined Area หรือ Dead Area จะอยู่ระหว่าง +3 ถึง -3 โวลต์

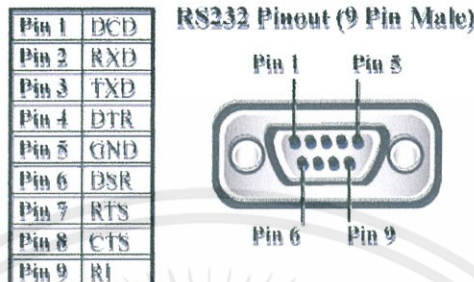
1. ข้อกำหนดด้านฟังก์ชันการทำงานถือเป็นสิ่งที่สำคัญหวั้เข็มแต่ละหัวจะมีการกำหนดหน้าที่การทำงานเฉพาะหน้าที่ของตน
2. ข้อกำหนดด้านขั้นตอนการทำงานเป็นรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการติดต่อการสื่อสารและขั้นตอนการทำงาน รวมถึงการควบคุมจังหวะและขั้นตอนการแลกเปลี่ยนข้อมูล

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232 (DB9)

CIRCUIT (EIA signal name)	DB9 pin #	SIGNAL NAME
AB	5	Signal Ground
BA	3	Transmitted Data
BB	2	Received Data
CA	7	Request to Send
CB	8	Clear to Send
CC	6	DCE Ready
CD	4	Data Terminal Ready (DTE Ready)
CE	9	Ring Indicator
CF	1	Carrier Detect

จากตารางที่ 2.1 เป็นรายละเอียดของสัญญาณต่างๆ ตามมาตรฐาน RS-232 โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของเซอร์กิตหลักๆ ดังนี้

RS232



รูปที่ 2.11 แสดงรายละเอียดของสัญญาณของ RS232 ที่ (PIN) ต่างๆ

1. สายกราวด์

เซอร์กิต AB (pin 5) เป็น Signal Ground ระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE ซึ่งอาจเรียกว่า Protective Ground ที่ช่วยป้องกันการช็อกทางไฟฟ้า (Electric Shock)

2. การถ่ายโอนข้อมูล (Data Transfer)

เซอร์กิต BA (pin 3)/Transmitted Data เป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ DTE ไปยังอุปกรณ์ DCE โดยสถานะทางลอจิกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล

เซอร์กิต BB (pin 2)/Received Data เป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับรับข้อมูลจากอุปกรณ์ DCE ไปยังอุปกรณ์ DTE โดยสถานะทางลอจิกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล

3. การตอบโต้กัน (Handshaking)

เซอร์กิต CA (pin 7)/Request to Send เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DTE ที่ส่งไปยังอุปกรณ์ DCE เพื่อให้รับรู้ว่าเตรียมพร้อมแล้วที่จะส่งข้อมูลซึ่งสัญญาณนี้จะใช้งานควบคู่กับเซอร์กิต CB

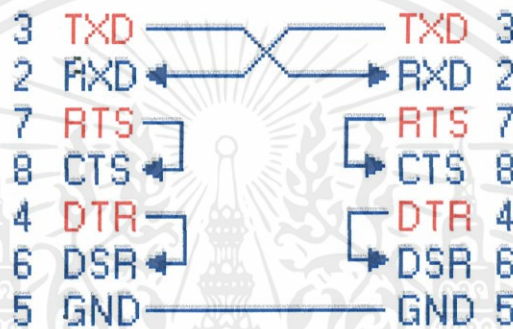
เซอร์กิต CB (pin 8)/Clear to Send เป็นสัญญาณตอบรับจากอุปกรณ์ DCE ที่ส่งให้กับอุปกรณ์ DTE ว่าพร้อมรับข้อมูลจากอุปกรณ์ DTE แล้ว

4. การควบคุม (ใช้สำหรับควบคุมโมเด็ม) เซอร์กิต CC (pin 6)/ DCE Ready เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DCE ที่บอกกับฝ่าย

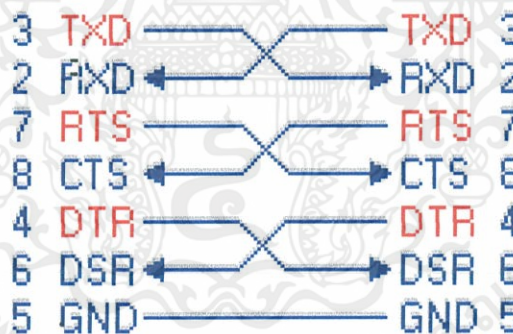
อุปกรณ์ DCE อยู่ในสถานะพร้อมที่จะส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่ได้ทำการเชื่อมต่อกล่าวคือ โมเด็มจะมีการสร้างการเชื่อมต่อกับโมเด็มระยะไกลของอีกฝ่ายหนึ่งเพื่อส่งผ่านข้อมูลระหว่างกัน

เซอร์กิต CF (pin 1)/Carrier Detect เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DCE ไปยังอุปกรณ์ DTE ว่าได้รับการตอบรับสัญญาณจากอุปกรณ์ทางไกลของอีกฝั่งหนึ่งแล้ว

เซอร์กิต CD (pin 4)/Data Terminal Ready (DTE Ready) เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DTE ว่าพร้อมแล้วจะทำงานโดย RS-232 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลสื่อสารระหว่าง DTE และ DCE ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์นี้รองรับอัตราการส่งบิตถึง 115,200 bps ในการสื่อสารแบบอนุกรม โดยพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุต โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง, ปริมาณ และสัญญาณรบกวนโดยพอร์ตอนุกรมของ PC จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวผู้ (Male) ดังรูปที่ 2.12 ส่วนพอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอกจะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวเมีย (FeMale) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9



รูปที่ 2.13 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

2.7 Universal Serial Bus (USB)

USB จัดเป็นมาตรฐานใหม่สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ โมเด็มและ

อุปกรณ์อื่นๆ โดยจะพบว่าคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันจะผนวกพอร์ตมาตรฐาน USB มาให้รวมถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่นองานใดให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
 อุปกรณ์รอบข้างที่นำมาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่พอร์ต USB แทบทั้งสิ้น USB เป็น
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง, เบื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 อุปกรณ์อินเทอร์เน็ตที่ใช้สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่สร้างความสะดวกและความยืดหยุ่นต่อผู้ใช้งาน

ผังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของ Universal Serial Bus (USB)

สำหรับข้อเสียของ USB คือการรับส่งข้อมูลมีความเร็วต่ำโดย USB เวอร์ชัน 1.1 จะมีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลเพียง 12 Mbps แต่ปัจจุบัน USB เวอร์ชัน 2.0 (Hi-Speed USB) ซึ่งเป็นเวอร์ชันใหม่ได้มีการพัฒนาความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลสูงขึ้นโดยความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 480 Mbps และยังคงใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่เป็นอินเทอร์เฟซ USB รุ่นเก่าความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลก็จะเท่ากับ 12 Mbps แต่ USB 2.0 ซึ่งมีความเร็วถึง 480 Mbps ส่วนภายในสายเคเบิล USB จะประกอบด้วยสายสัญญาณจำนวน 4 เส้น โดยชื่อที่กำกับไว้ในสัญญาณแต่ละเส้นจะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. GND คือสายกราวด์
2. VBUS คือสายสัญญาณที่ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ไปยังอุปกรณ์
3. D+ คือสายส่งข้อมูลสัญญาณบวก (Positive) ที่มีการเข้ารหัสแบบ NRZ-L
4. D- คือสายส่งข้อมูลสัญญาณลบ (Negative) ที่มีการเข้ารหัสแบบ NRZ-L พร้อมกับกำหนดระยะวัดของสัญญาณลบเพื่อลดการแทรกแซงของสัญญาณรบกวนและข้อผิดพลาด

2.8 พื้นฐานข้อมูลและสัญญาณ

2.8.1 ข้อมูล

คือ สิ่งที่มีความหมายในตัวโดยข้อมูลทั่วไปที่ใช้งานในระบบคอมพิวเตอร์จะเป็นข้อมูลชนิดตัวเลขด้วยอักษรภาพจนถึงภาพเคลื่อนไหวต่างในการส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำแปลเบื้องต้นที่พอต้องอ้างอิงถึงเนื้อหาของเอกสารที่ครั้งที่มีการนำไปใช้ผ่านทางสายสื่อสารหรือคลื่นวิทยุข้อมูลที่ต้องการส่งจะต้องได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่เหมาะสมกับระบบการสื่อสาร

2.8.2 สัญญาณ

คือปริมาณใดๆที่สามารถเปลี่ยนแปลงและสัมพันธ์ไปกับเวลา โดยสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารคือกระแสไฟฟ้าหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นการสนทนาผ่านระบบโทรศัพท์การส่งพิมพ์งานการควมโน้มลคข้อมูล

2.9 สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล

การส่งข้อมูลในระบบสื่อสารจำเป็นต้องมีการเข้ารหัสข้อมูลมาเป็นสัญญาณในรูปแบบหนึ่งที่เหมาะสมเช่นระบบสื่อสารบางระบบซึ่งไม่สามารถส่งสัญญาณดิจิทัลได้ดังนั้นจะต้องแปลงสัญญาณจากเป็นแอนะล็อกแล้วจึงส่งผ่านไปยังสายสื่อสารเมื่อปลายทางได้รับสัญญาณจะสามารถอ่านค่าที่ส่งมาได้ด้วยการแปลงสัญญาณที่รับเข้ามาเข้าไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.9.1 ความหมายของสัญญาณแอนะล็อก

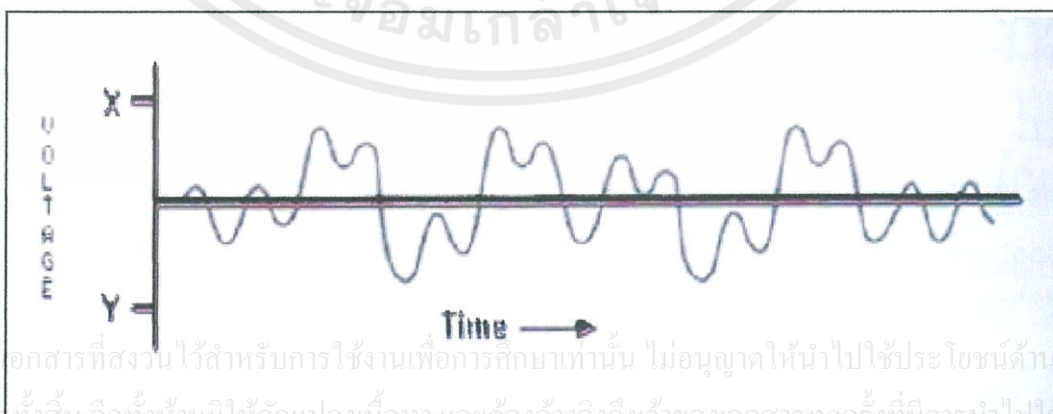
สัญญาณแอนะล็อก หมายถึง สัญญาณชนิดมีคาบ เนื่องจากมีสัญญาณมาแกว่งขึ้นลงสลับกันแบบซ้ำๆ ที่มีรูปแบบต่อเนื่องและแน่นอนตามความสัมพันธ์กับเวลา ดังนั้นจึงเกิดคาบ (Period) ซึ่งก็คือเวลาที่ลูกคลื่นมีการเปลี่ยนแปลง ณ จุด เริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด

2.9.2 ความหมายสัญญาณดิจิทัล (Digital Single)

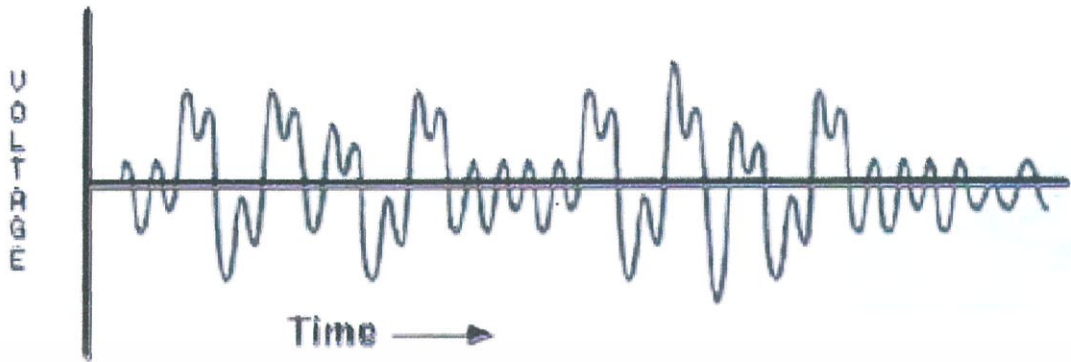
สัญญาณดิจิทัล หมายถึง สัญญาณชนิดไม่มีคาบ เนื่องจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทุกเมื่อ และไม่จำเป็นต้องเป็นลูกคลื่น

2.9.3 ข้อมูลแอนะล็อกและสัญญาณแอนะล็อก

ข้อมูลแอนะล็อกและสัญญาณแอนะล็อกดังรูปที่ 2.15 จะสามารถถูกรบกวนได้ง่ายจากสัญญาณรบกวน (Noise) หากมีสัญญาณรบกวนปะปนมากับสัญญาณแอนะล็อกแล้วจะส่งผลให้การส่งข้อมูลช้าลงและทำให้การจำแนกหรือตัดสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลต้นฉบับทำได้ยากดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างคลื่นสัญญาณแอนะล็อก



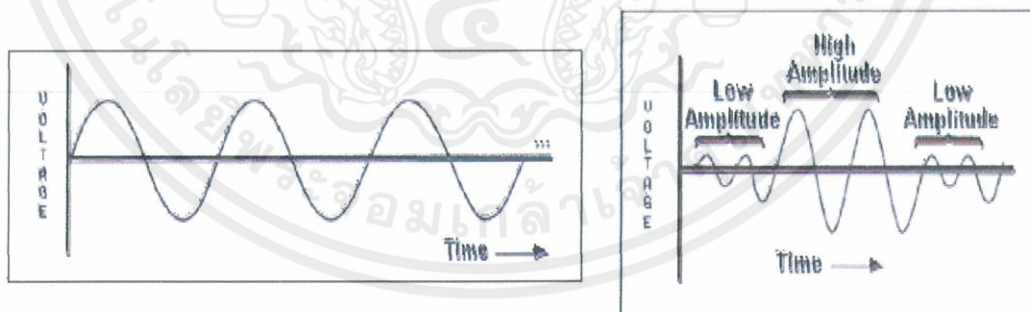
รูปที่ 2.16 แสดงสัญญาณแอนะล็อกที่ถูกผสมผสานระหว่างข้อมูลและสัญญาณรบกวน

เมื่อสัญญาณแอนะล็อกถูกส่งบนระยะทางที่ไกลออกไประดับสัญญาณจะถูกลดทอนลง ดังนั้นจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าแอมพลิไฟเออร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มกำลังหรือความเข้มให้สัญญาณทำให้สามารถส่งสัญญาณในระยะทางที่ไกลออกไปแต่การเพิ่มกำลังของสัญญาณของแอมพลิไฟเออร์จะส่งผลให้สัญญาณรบกวนขยายเพิ่มขึ้นด้วย

2.9.4 พื้นฐานของสัญญาณแอนะล็อก

1. แอมพลิจูด (Amplitude)

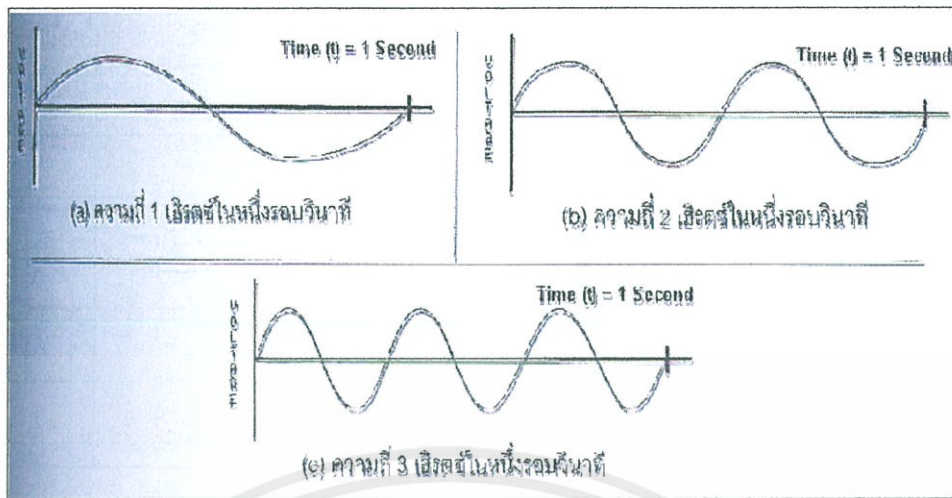
สัญญาณแอนะล็อกที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นรูปคลื่นขึ้นลงสลับกันและก้าวไปตามเวลาแบบสมบูรณ์นั้นเรียกว่าคลื่นไซน์ (Sine Wave) แอมพลิจูดจะเป็นค่าที่วัดจากแรงดันไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นระดับของคลื่นจุดสูงสุด (High Amplitude) หรือจุดต่ำสุด (Low Amplitude) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สัญญาณแอนะล็อกกับความแตกต่างของระดับแอมพลิจูด

2. ความถี่ (Frequency)

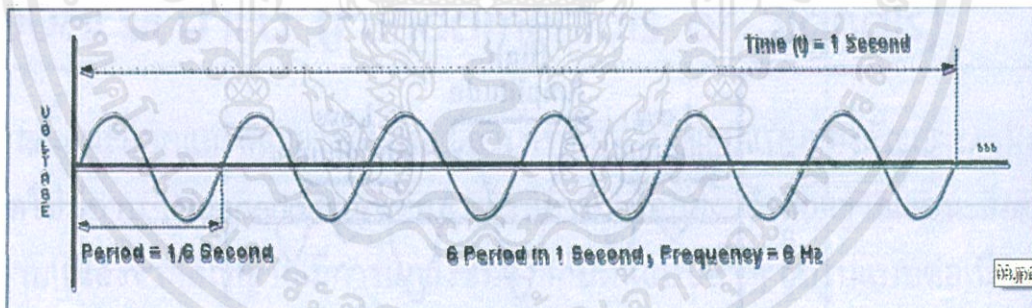
หมายถึงอัตราการขึ้นลงของคลื่นซึ่งเกิดขึ้นจำนวนกี่รอบใน 1 วินาที โดยความถี่นั้นจะใช้แทนหน่วยวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hertz : Hz) พิจารณาจากรูปที่ 2.18 ที่แสดงถึงความแตกต่างของสัญญาณแอนะล็อกทั้งสาม โดยที่ t คือ เวลาภายใน 1 วินาที



รูปที่ 2.18 แสดงถึงความแตกต่างของสัญญาณแอนะล็อกทั้งสาม

3. คาบ (Period)

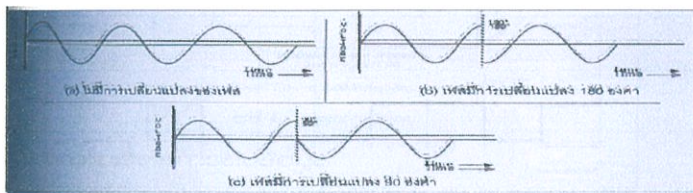
เป็นระยะเวลาของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปจนครบรอบ โดยจะมีรูปแบบซ้ำๆ กัน ในทุกช่วงเวลา โดยหน่วยวัดของคาบเวลาจะใช้เป็นวินาที และเมื่อคลื่นสัญญาณทำงานครบ 1 รอบ จะเรียกว่า Cycle ดังรูปที่ 2.19 จะพบว่า Period หนึ่งๆจะมีค่าเท่ากับ $1/6$ โดยรอบของคลื่นสัญญาณนี้จะมีทั้งสิ้น 6 คาบ ใน 1 วินาทีที่ความถี่ 6 เฮิรตซ์



รูปที่ 2.19 รูปคาบสัญญาณ

4. เฟส (Phase)

เฟสเป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณซึ่งจะวัดจากตำแหน่งองศาของสัญญาณเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฟสสามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (Phase Shift) ในลักษณะเลื่อนไปข้างหน้าหรือถอยหลังก็ได้ การเลื่อนไปข้างหน้าจำนวนครึ่งหนึ่งของลูกคลื่นจะถือว่าเฟสเปลี่ยนแปลงไป 180 องศา ดังรูปที่ 2.20(b) ในขณะที่เฟสได้เปลี่ยนแปลงด้วยการเลื่อนไปข้างหน้าจำนวนหนึ่งในสี่ของลูกคลื่น ก็ถือว่าเฟสนั้นได้เปลี่ยนแปลงไป 90 องศา ดังรูปที่ 2.20 (c)



รูปที่ 2.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสสัญญาณ

2.9.5 สัญญาณดิจิทัลและข้อมูลดิจิทัล

เป็นคลื่นแบบไม่ต่อเนื่องมีรูปแบบของระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม โดยสัญญาณสามารถเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะก้าวกระโดด

1. ข้อดีของสัญญาณดิจิทัล

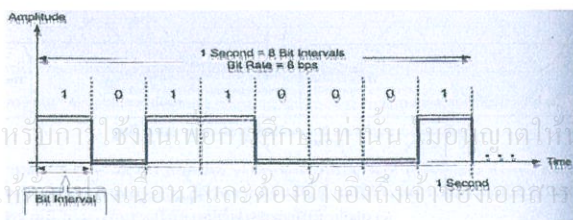
สามารถสร้างสัญญาณด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่าและทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าและยังสามารถจำแนกระหว่างข้อมูลกับสัญญาณได้ง่ายกว่าหากมีสัญญาณรบกวนไม่มากก็ยังสามารถคงรูปสัญญาณเดิมได้

2. ข้อเสียของสัญญาณดิจิทัล

สัญญาณจะถูกลดทอนหรือเบาบางลงเมื่อถูกส่งในระยะทางไกลๆ ซึ่งในการส่งข้อมูลระยะไกลสัญญาณแอนะล็อกจะทำได้ดีกว่าสำหรับอุปกรณ์ที่ช่วยขยายระยะทางในการส่งข้อมูลดิจิทัลเรียกว่าเครื่องทวนสัญญาณ(Repeater) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ regenerate สัญญาณที่ถูกลดทอนลงให้คงรูปเดิมเหมือนต้นฉบับและสามารถส่งสัญญาณได้ระยะไกลขึ้นสัญญาณรบกวนที่ปะปนมาพร้อมกับข้อมูลถึงจะสามารถใช้อุปกรณ์กั้นกรองสัญญาณเพื่อช่วยให้สัญญาณมีคุณภาพรวมถึงลดความเบาบางของสัญญาณรบกวนลงได้แต่หากสัญญาณรบกวนมีปริมาณสูงมากย่อมส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของข้อมูล

3. Bit Interval ซึ่งมีความหมายเช่นเดียวกับคาบ โดย Bit Interval คือเวลาที่ส่งข้อมูล 1 บิต

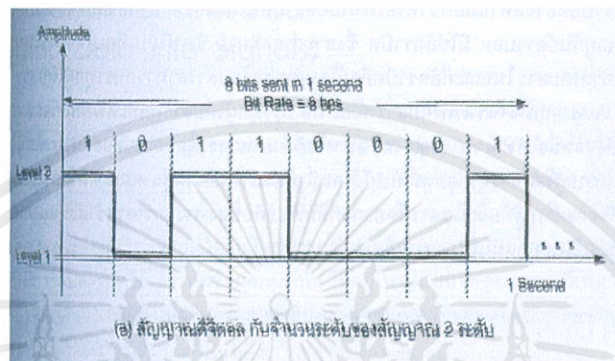
4. Bit Rate จำนวนของ Bit Interval ต่อวินาทีโดยมีหน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที (bps)



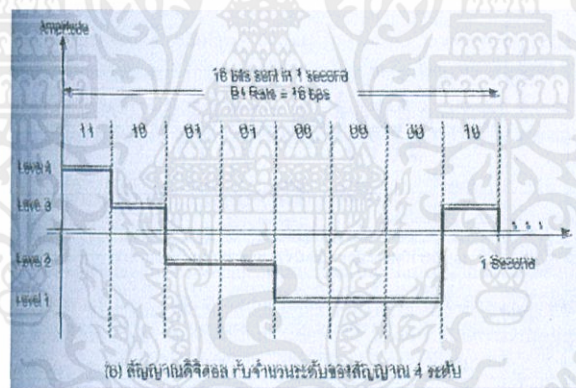
รูปที่ 2.21 Bit Rate และBit Interval(ไบนารี 1 แทนแรงดันบวกและไบนารี 0 แทนแรงดันศูนย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาาใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขอสงวนเอาไว้ไม่ให้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเข้าใช้เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณดิจิทัลสามารถมีจำนวนระดับสัญญาณมากกว่า 2 ระดับโดยในแต่ละระดับสามารถส่งบิตมากกว่าหนึ่งบิตพิจารณาจากรูปที่ 2.22 ที่แสดงจำนวนของ 2 ระดับสัญญาณที่ส่งข้อมูล 1 บิตต่อระดับ ในขณะที่รูปที่ 2.23 แสดงจำนวนของ 4 ระดับสัญญาณ ที่ส่งข้อมูล 2 บิตต่อระดับ โดยทั่วไปถ้าสัญญาณมีจำนวน L ระดับในแต่ละระดับของสัญญาณก็จะสามารถส่งข้อมูลได้จำนวน $\log_2 L$ บิต



รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณดิจิทัลกับจำนวนของสัญญาณ 2 ระดับ



รูปที่ 2.23 แสดงสัญญาณดิจิทัลกับจำนวนของสัญญาณ 4 ระดับ

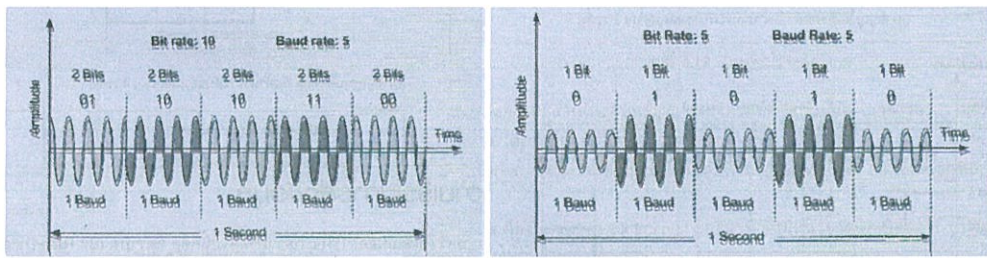
2.10. หน่วยความเร็วในการรับส่งข้อมูล

2.10.1 อัตราบิต(Bit Rate/Data Rate)

คือ จำนวนบิตที่สามารถส่งได้ภายในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second:bps)

2.10.2 อัตราบอด (Baud Rate)

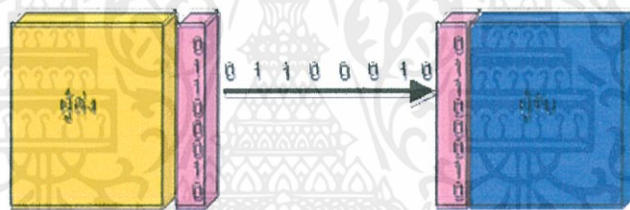
คือจำนวนของสัญญาณที่สามารถส่งได้ต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในหนึ่งหน่วยเวลา (baud per second:bps) โดยปกติอัตราบอด(Baud Rate) อาจมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ(Bit Rate)ก็ได้ โดยแบนวิธในระบบการสื่อสารขึ้นอยู่กับอัตราบอด(Baud Rate)ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตและอัตราบอด

2.11 รูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและอัตราบอด (Baud Rate)

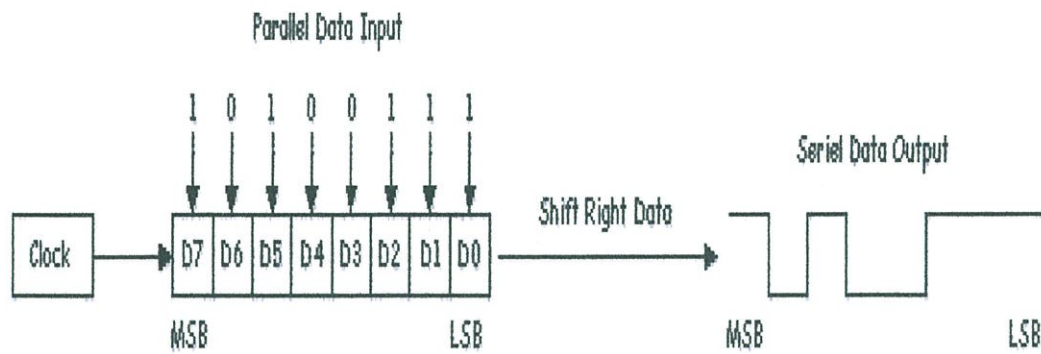
อัตราบอด (Baud Rate) คือความเร็วในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที ซึ่งจะบอกจำนวนบิตที่รับและส่งในเวลา 1 วินาที เช่น ส่งข้อมูลด้วยอัตรา 9600 บิตต่อวินาที ก็คือการส่งข้อมูลตัวอักษรขนาด 10 บิต (บิต Start 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต บิต Stop 1 บิต) ได้ 960 ตัวอักษรใน 1 วินาที



รูปที่ 2.25 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

ตารางที่ 2.2 แสดงอัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป

อัตราบอด	ช่วงเวลาของแต่ละบิต
110	9.91 ms
150	6.67 ms
300	3.33 ms
600	1.67 ms
1200	0.833 ms
2400	0.417 ms
4800	0.208 ms
9600	0.104 ms
19200	0.052 ms



รูปที่ 2.26 การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.26 เป็นการแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม โดยเริ่มแรกข้อมูลแบบขนานจะถูกนำไปเก็บไว้ใน Shift Register หลังจากนั้นจะใช้สัญญาณนาฬิกาในการเลื่อนค่าในรีจิสเตอร์ออกมาทีละบิต (โดยการเลื่อนค่าไปทางขวามือ) โดยบิตแรกที่ถูกเลื่อนออกมาคือบิต LSB ของข้อมูลและบิตที่สองที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิตที่อยู่ถัดจากบิต LSB และบิตต่อไปสำหรับบิตสุดท้ายที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิต MSB ของข้อมูล

การแปลงข้อมูลแบบอนุกรมไปเป็นข้อมูลแบบขนานนั้นจะมีขั้นตอนตรงกันข้ามกับที่กล่าวมานั้นคือข้อมูลแบบอนุกรมจะถูกเคลื่อนเข้าไปใน Shift Register โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุมและหลังจากที่มีการเคลื่อนข้อมูลทุกบิตเข้าไปใน Shift Register ได้หมดแล้วข้อมูลในรีจิสเตอร์นี้จะถูกนำออกมาแบบขนานเพื่อนำไปใช้งานต่อไปอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลแบบอนุกรมเป็นข้อมูลแบบขนานและแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรมเรียกว่า UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) ซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ในการแปลงข้อมูลแล้ว UART ยังมีหน่วยควบคุมและหน่วยตรวจสอบการทำงานอีกด้วยในการส่งข้อมูลขนาด 8 บิตแบบอนุกรมนี้จะต้องมีบิตเริ่มต้น (Start Bit) และบิตหยุด (Stop Bit) เพิ่มขึ้นมาซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ถูกส่งไปจริงๆ นั้นมีขนาด 10 บิต

2.12 การแปลงข้อมูลให้เป็นสัญญาณ

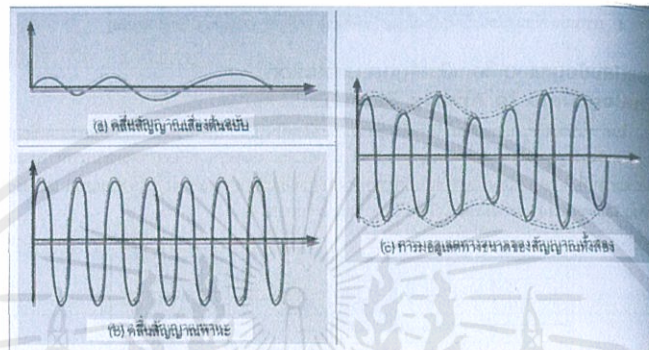
โดยปกติแล้วสัญญาณดิจิทัลจะรับส่งข้อมูลดิจิทัลและสัญญาณแอนะล็อกก็จะรับส่งข้อมูลแอนะล็อกแต่เราสามารถใช้งานสัญญาณแอนะล็อกเพื่อรับส่งข้อมูลดิจิทัลและใช้สัญญาณดิจิทัลเพื่อรับส่งข้อมูลแอนะล็อกได้ การส่งผ่านด้วยสัญญาณแอนะล็อกหรือดิจิทัลจะขึ้นอยู่กับสื่อกลางที่ใช้ ในระบบสื่อสาร โดยที่สามารถส่งข้อมูลด้วยรูปแบบใดก็ได้ เพียงแต่จำเป็นต้องมีการแปลงรูปหรือเข้ารหัสข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่เหมาะสมกับสื่อกลางเสียก่อน

2.12.1 การแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณแอนะล็อก

การนำสัญญาณแอนะล็อกมาออกสู่กับสัญญาณพาหะสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การมอดูเลตทางขนาด (Amplitude Modulation : AM)

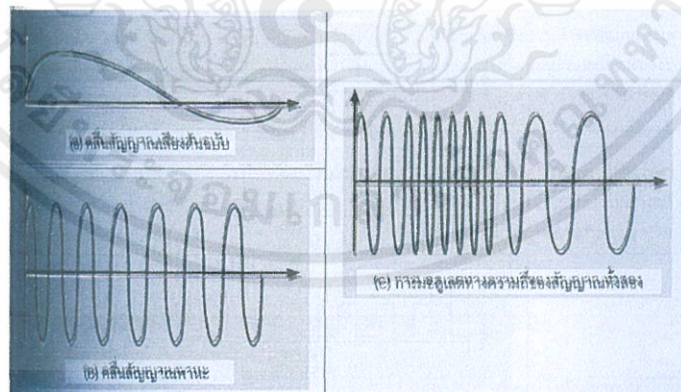
ที่ใช้กับคลื่นวิทยุ AM ซึ่งขนาดของคลื่นพาหะจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามรูปสัญญาณที่ต้องการส่ง ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงการการมอดูเลตทางขนาด (AM)

2. การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM)

ที่ใช้กับคลื่นวิทยุ FM ซึ่งความถี่ของคลื่นพาหะจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่มอดูเลต โดยขนาดของรูปคลื่นสัญญาณที่ต้องการจะไม่มีเปลี่ยนแปลงไปตามการลดของระดับสัญญาณดังรูปที่ 2.28



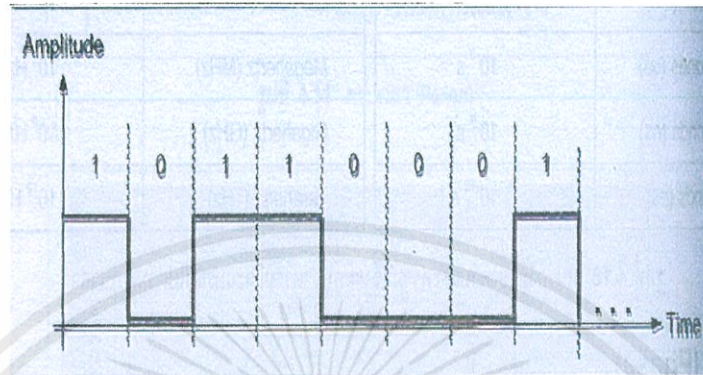
รูปที่ 2.28.แสดงการมอดูเลตความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.12.2 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัล

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สำหรับสัญญาณดิจิทัลที่เป็นไปได้คือค่าไบนารี 0 หรือ 1 เท่านั้น โดยสามารถแทนไบนารี 1 เป็นแรงดันระดับสูงหรือต่ำก็ได้และแทนไบนารี 0 เป็นแรงดันระดับตรงกันข้ามเช่นไบนารี 1

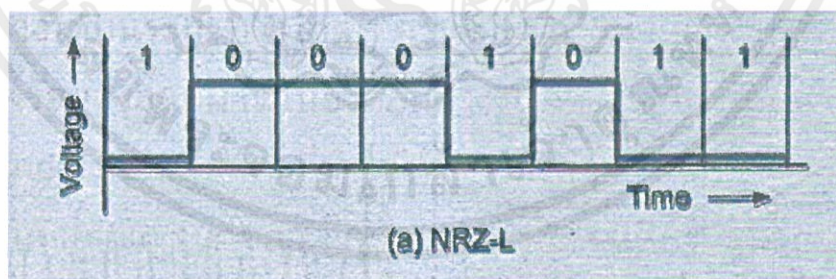
แทนแรงดันระดับสูงไปนารี 0 จะแทนแรงดันระดับต่ำและในการแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 2.29 ด้วยอุปกรณ์ Digital Transmitter ในการแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัลมีเทคนิคการเข้ารหัสหลายวิธี



รูปที่ 2.29 รูปแบบของสัญญาณดิจิทัล

1. การเข้ารหัสแบบ NRZ-L (NonReturn-to-Zero-Level)

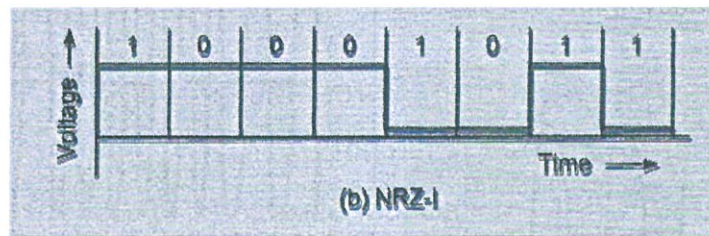
เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยสัญญาณจะขึ้นอยู่กับสถานะของบิตเช่นหากบิตข้อมูลมีค่าเป็น 1 จะแทนระดับแรงดันต่ำหรือหากบิตข้อมูลมีค่าเป็น 0 จะแทนระดับแรงดันสูงซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ตรงไปตรงมาแต่ข้อเสียคือทำให้ตัดคลื่นใจได้ยากว่าจุดใดเป็นจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดของช่วงสัญญาณที่ใช้แทนค่าบิตหนึ่งและหากเกิดบิตข้อมูลมีค่าเดียวกันต่อเนื่องกันจะทำให้การควบคุมจังหวะ (Synchronized) เป็นไปได้ยาก ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30.แสดงลักษณะการการเข้ารหัสแบบ NRZ-L

2. การเข้ารหัสแบบ NRZ-I (NonReturn-to-Zero-Invert)

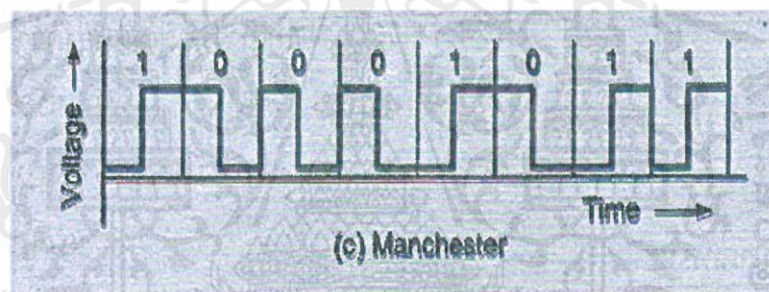
เป็นเทคนิคการเข้ารหัสที่คล้ายกับการเข้ารหัสแบบ NRZ-L แต่จะแม่นยำกว่าโดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะเกิดขึ้นณจุดเริ่มต้นของบิตและการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะเกิดขึ้นต่อเมื่อพบบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 และหากพบบิตที่มีค่าเป็น 0 ก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 แสดงลักษณะการเข้ารหัสแบบ NRZ-I

3. การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)

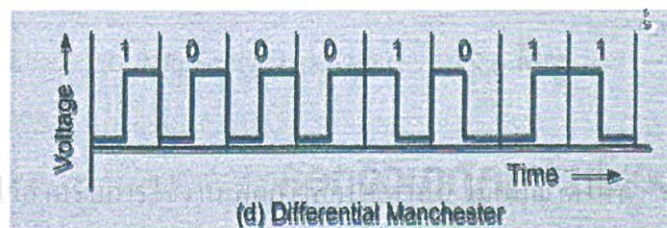
มีการใช้เทคนิคนี้บนเครือข่ายท้องถิ่น (Ethernet) ซึ่งการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่จุดกึ่งกลางของบิตเพื่อนำไปใช้ทั้งการแทนบิตข้อมูลและกำหนดจังหวะ โดยการเปลี่ยนแปลงจากต่ำไปสูงจะแทนค่า 1 ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงจากสูงไปต่ำจะแทนค่า 0 ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงลักษณะการเข้ารหัสแบบ Manchester

4. การเข้ารหัสแบบดิฟเฟอเรนเชียลแมนเชสเตอร์ (Differential Manchester)

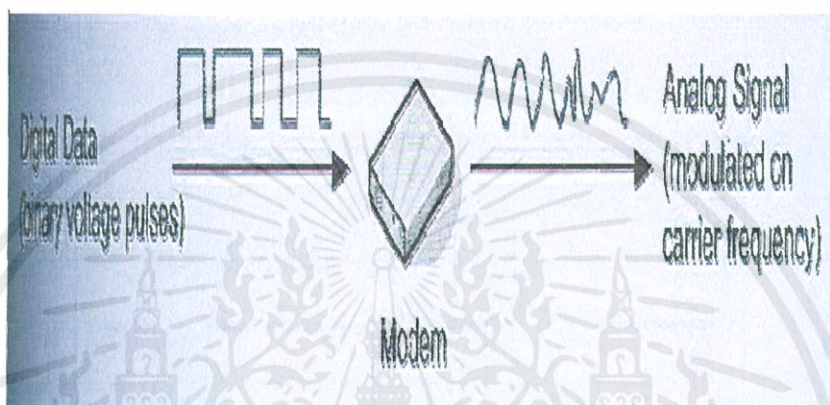
การเข้ารหัสนี้จะเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่จุดกึ่งกลางของบิตแต่ละบิตเพื่อนำไปใช้เพื่อการกำหนดจังหวะเท่านั้น โดยการเปลี่ยนสัญญาณจะเกิดจุดเริ่มต้นของบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 0 เท่านั้นดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงลักษณะการเข้ารหัสแบบ Differential Manchester

2.12.3 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

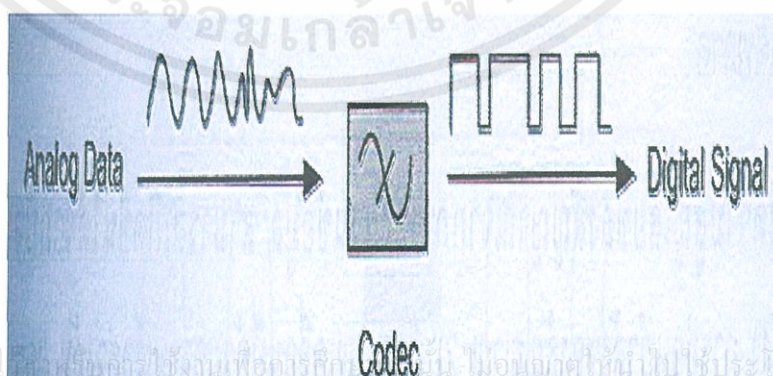
อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกและแปลงสัญญาณแอนะล็อกกลับมาเป็นข้อมูลดิจิทัลเรียกว่าโมเด็ม (Modulator/Demodulator) ดังรูปที่ 2.34 โมเด็มต้นทางจะทำการแปลงข้อมูลคอมพิวเตอร์ (ดิจิทัล) มาเป็นสัญญาณแอนะล็อกเพื่อส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารโทรศัพท์จากนั้นเมื่อส่งถึงปลายทาง โมเด็มปลายทางจะทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกกลับมาเป็นข้อมูลดิจิทัลเพื่อส่งให้กับคอมพิวเตอร์ใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.34 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกโดยใช้โมเด็ม

2.12.4 การแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

อุปกรณ์ที่เรียกว่าโคเดค (Coder/Decoder) เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้สำหรับแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 2.35 ด้วยการใช้นิเทศ Voice Digitization และยังสามารถแปลงกลับมาเป็นสัญญาณแอนะล็อกได้ด้วยอย่างอุปกรณ์โคเดคเช่นชาวคาร์ทสแกนเนอร์และวีดีโอคอนเฟอเรนซ์



รูปที่ 2.35 การแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้โคเดค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดของข้อมูลที่แปลงเป็นสัญญาณต่างๆกับตัวอย่างที่ใช้ในระบบ

ข้อมูล	สัญญาณ	เทคนิคทั่วไปที่นำมาใช้ สำหรับการแปลงสัญญาณ	อุปกรณ์ใช้งาน	ใช้งานในระบบ
Analog	Analog	Amplitude Modulation Frequency Modulation	Radio Tuner TV Tuner	Telephone Cable TV Broadcast TV AM & FM Radio
Digital	Digital	NRZ-L, NRZ-I, Manchester, Differential Manchester	Digital Encoder	LAN Digital Telephone Systems
Digital	Analog	Amplitude Modulation Frequency Modulation Phase Modulation	Modem	Home Internal Access
Analog	Digital	Pulse Code Modulation	Codec	Telephone Systems Music System

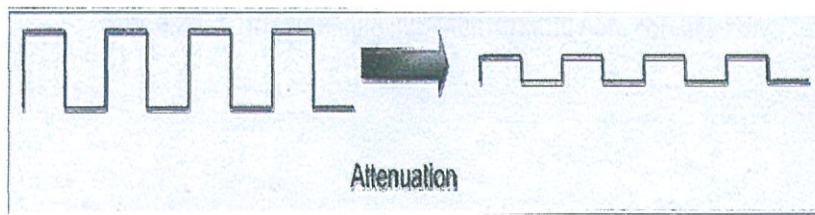
2.13 การสูญเสียสัญญาณจากการส่งผ่านข้อมูล

คุณภาพของสัญญาณที่เดินทางผ่านสื่อกลางอาจถูกลดทอนลงไปได้ทำให้เกิดความสูญเสียสัญญาณทั้งนี้สัญญาณที่เสียหายอาจเกิดขึ้นจากความต้านทานภายในสายสัญญาณหรือจากสิ่งรบกวนภายนอกดังนั้นเมื่อสัญญาณเสียหายทำให้สุดท้ายเมื่อถึงปลายทางสัญญาณอาจทำให้ได้รับข้อมูลที่ผิดพลาด

2.13.1 ปัจจัยนี้สำหรับความสูญเสียของสัญญาณจากการส่งผ่านข้อมูล

1. การอ่อนกำลังของสัญญาณ (Attenuation)

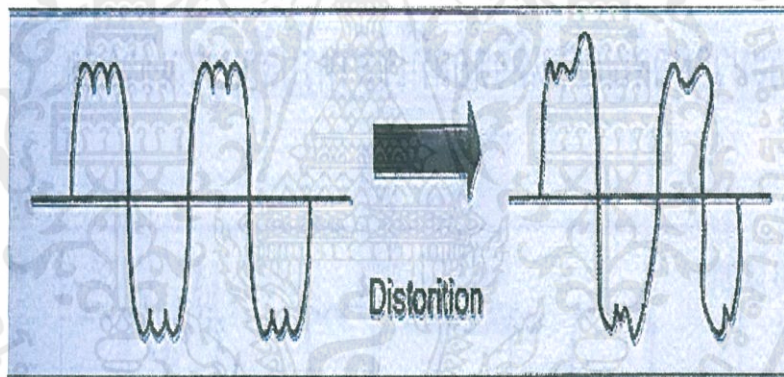
เมื่อสัญญาณข้อมูลเดินทางผ่านสื่อกลางไปในระยะทางไกลๆย่อมเกิดการสูญเสียพลังงานทำให้ความเข้มของสัญญาณลดลงและลดลงมากขึ้นหากระยะทางไกลขึ้นไปอีกดังนั้นเมื่อความเข้มของสัญญาณเบาบางลงหรือลดลงดังรูปที่ 2.35 จะส่งผลต่ออุปกรณ์รับเนื่องจากสัญญาณที่รับเข้ามาจำเป็นต้องมีระดับความเข้มของสัญญาณมากพอที่จะทำให้อุปกรณ์สามารถตรวจสอบสัญญาณและนำไปใช้งานได้ดังนั้นหากต้องการส่งสัญญาณไปในระยะทางไกลๆจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยเช่น หากส่งสัญญาณแอนะล็อกจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าแอมพลิไฟเออร์ (Amplifier) เพื่อขยายกำลังส่งของสัญญาณหรือหากส่งสัญญาณดิจิทัลจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่ารีพีตเตอร์ที่จะช่วยซ่อมแซมสัญญาณให้คงอยู่ในรูปเดิมเหมือนต้นฉบับทำให้สามารถส่งทอดสัญญาณต่อไปบนระยะทางไกลขึ้น



รูปที่ 2.36 การอ่อนกำลังของสัญญาณ

2. สัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกัน (Distortion)

เป็นเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้กับสัญญาณประเภท Composite Signal ที่สัญญาณแต่ละความถี่เคลื่อนที่ผ่านสื่อกลางด้วยความเร็วแตกต่างกันคือสัญญาณแต่ละความถี่ได้ถูกลดทอนลงในอัตราที่แตกต่างกันภายในสื่อกลางและเกิดการรวมกันของสัญญาณขึ้นทำให้สัญญาณบิดเบี้ยวเพี้ยนไปจากเดิมและส่งผลต่อฝั่งรับที่จะได้รับสัญญาณแต่ละความถี่ไม่พร้อมกันสำหรับความสูญเสียของสัญญาณแบบนี้ดังรูปที่ 2.36 สามารถป้องกันได้ด้วยการเพิ่มวงจร Equalizes เพื่อตรวจสัญญาณที่เข้ามาและปรับความถี่ของแต่ละสัญญาณให้มีความเร็วเท่ากัน



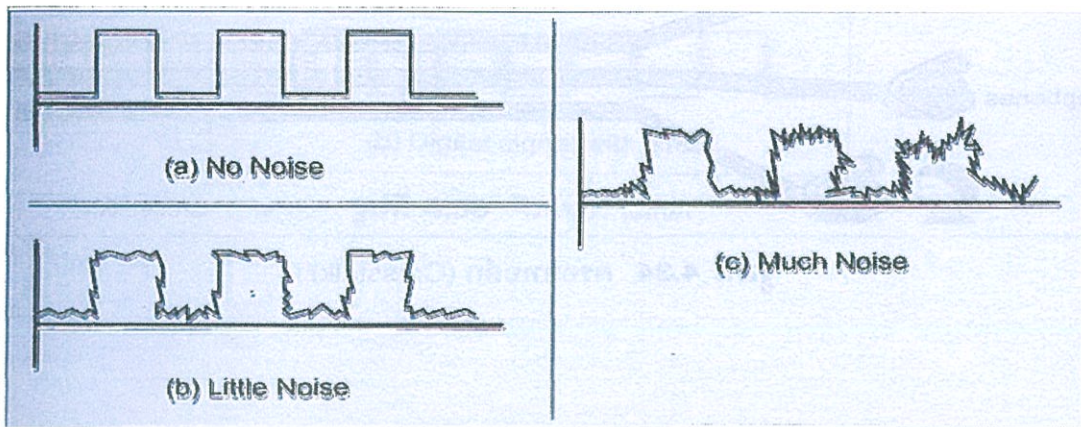
รูปที่ 2.37 สัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกันทำให้สัญญาณบิดเบี้ยวเพี้ยนไปจากเดิม

2.14 สัญญาณรบกวน (Noise)

เป็นผลกระทบอีกด้านหนึ่งที่ทำให้สัญญาณข้อมูลเกิดความสูญเสียโดยสัญญาณรบกวนมีอยู่หลายชนิดประกอบด้วย

2.14.1 เทอร์มัลนอยส์ (Thermal Noise)

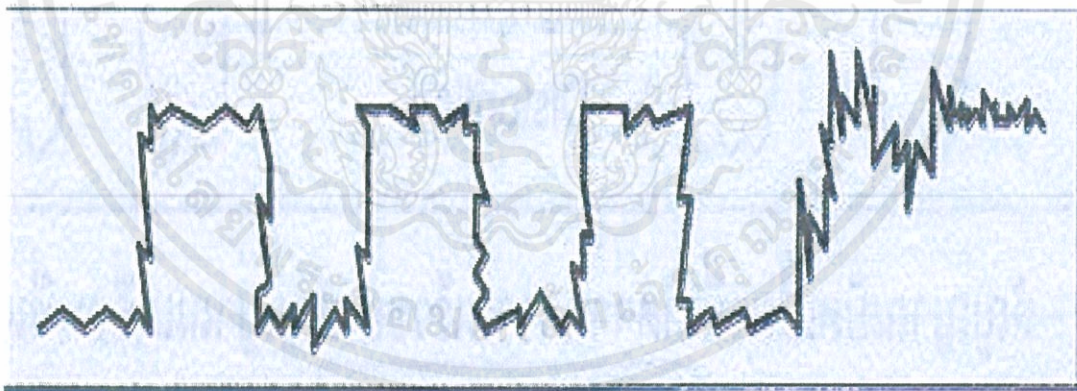
เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อนหรืออุณหภูมิซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนบนลวดตัวนำ โดยหากอุณหภูมิสูงขึ้นระดับของสัญญาณรบกวนก็จะสูงขึ้นตามสัญญาณรบกวนชนิดนี้ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนและอาจมีการกระจายไปทั่วย่านความถี่ต่างๆสำหรับการป้องกันอาจทำได้ด้วยการใช้อุปกรณ์กรองสัญญาณ (Filters) สำหรับสัญญาณแอนะล็อกหรืออุปกรณ์ปรับสัญญาณ (Regenerate) สำหรับสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 2.38 รูปสัญญาณเทอร์มินอลอยส์

2.14.2 อิมพัลส์นอยส์ (Impulse Noise)

เป็นเหตุการณ์ที่ทำให้คลื่นสัญญาณ โด่ง (Spikes) ขึ้นอย่างฉับพลันอย่างรวดเร็วจัดเป็นสัญญาณรบกวนแบบไม่คงที่ตรวจสอบได้ยากเนื่องจากอาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆแล้วหายไปส่วนใหญ่เกิดจากการรบกวนของสิ่งแวดล้อมภายนอกและหากสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์นอยส์เข้าแทรกแซงกับสัญญาณดิจิทัลจะทำให้สัญญาณต้นฉบับบางส่วนถูกลบส้างหายไปจนหมดและไม่สามารถกู้กลับมาได้ การป้องกันสัญญาณรบกวนชนิดนี้ทำได้ด้วยการใช้อุปกรณ์กรองสัญญาณพิเศษที่ใช้สำหรับสัญญาณแอนะล็อกหรืออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ใช้สำหรับสัญญาณดิจิทัล

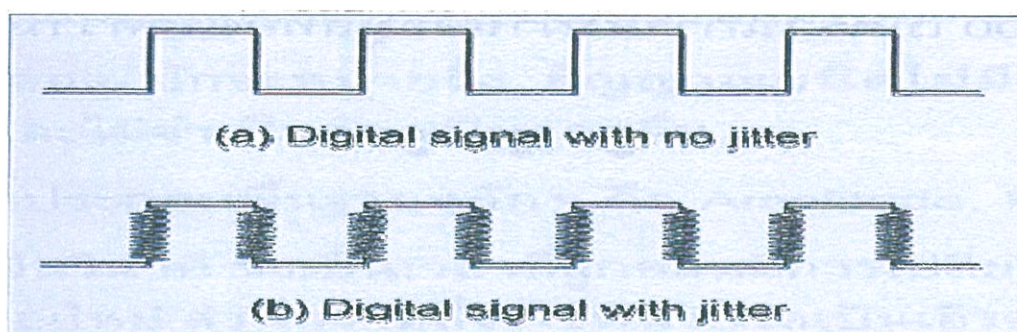


รูปที่ 2.39 รูปสัญญาณอิมพัลส์นอยส์

2.14.3 จิตเตอร์ (Jitter)

เป็นเหตุการณ์ที่ความถี่ของสัญญาณได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่องซึ่งก่อให้เกิดการเลื่อนเฟสไปเป็นค่าอื่นๆอย่างต่อเนื่องด้วยการป้องกันสามารถทำได้ด้วยการเลือกใช้ช่วงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพหรืออาจใช้อุปกรณ์รีพิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 รูปสัญญาณดิจิทัล

2.15 การป้องกันสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ฝ่ายรับได้รับสัญญาณข้อมูลที่ผิดเพี้ยนไปจากเดิม ไม่เหมือนกับข้อมูลที่ส่งมาจากผู้ส่ง ดังนั้นในการส่งผ่านข้อมูลทุกระบบจำเป็นต้องมีการป้องกันสัญญาณรบกวน โดยเทคนิคดังต่อไปนี้จะช่วยลดสัญญาณรบกวนได้

1. ใช้สายเคเบิลชนิดที่มีฉนวนป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยลดการแทรกแซงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและครอสทอล์กได้เป็นอย่างดี
2. สายโทรศัพท์ควรอยู่ในสถานะที่เหมาะสมเช่นมีอุปกรณ์กรองสัญญาณที่ช่วยลดสัญญาณที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งบริษัทที่รับผิดชอบโครงข่ายโทรศัพท์สามารถจัดหาให้ได้หรือใช้สายเช่าความเร็วสูง (Lease Line) ที่จะช่วยลดข้อผิดพลาดจากการส่งผ่านข้อมูลระยะไกลได้
3. ใช้อุปกรณ์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพและทันสมัยกว่าเพื่อทดแทนอุปกรณ์เดิมที่หมดอายุการใช้งาน ประสิทธิภาพต่ำถึงอุปกรณ์จะมีราคาแพงแต่ก็ได้ผลของการส่งผ่านข้อมูลที่ดีขึ้น
4. เมื่อต้องการเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูลดิจิทัลให้ใช้รีพีตเตอร์หรือใช้แอมพลิไฟเออร์ หากส่งข้อมูลแอนะล็อกซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะช่วยเพิ่มระยะทางและมีส่วนช่วยลดข้อผิดพลาดของสัญญาณลงได้
5. พิจารณาข้อกำหนดและข้อจำกัดของสายสัญญาณแต่ละชนิดเช่น UTP สามารถเชื่อมต่อได้ไม่เกิน 100 เมตรและส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุดที่ 100 Mbps

2.16 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งาน

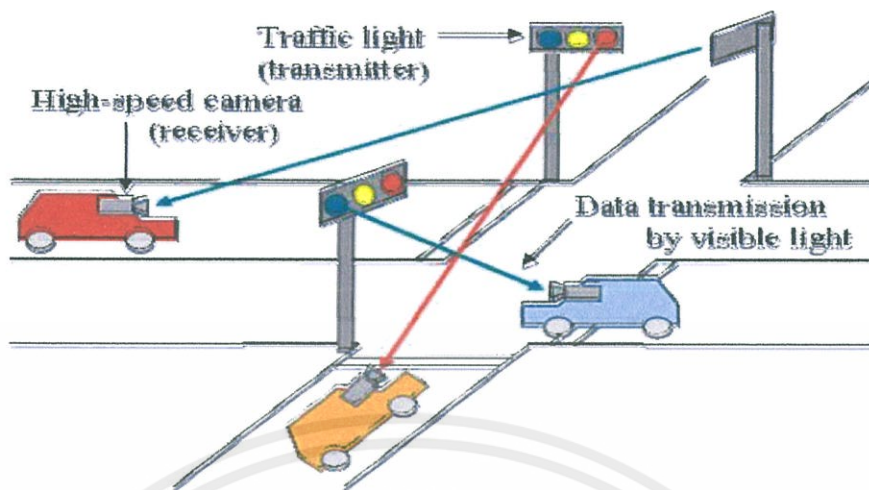
2.16.1 การสื่อสารด้วยกล้องความเร็วสูงบนถนน

ไฟ LED ที่เป็นสัญญาณจราจรจะนำมาใช้ในการควบคุมยานพาหนะบนถนนจากรูปที่ 2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักพิมพ์

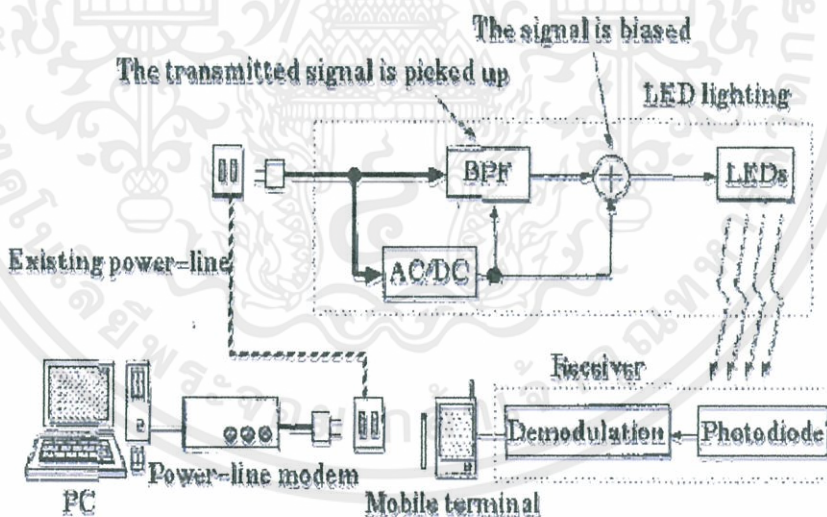
เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักพิมพ์



รูปที่ 2.41 แสดงการใช้แสงในการรับส่งข้อมูลบนถนน

2.16.2 การบูรณาการระบบการสื่อสารด้วย LED และการสื่อสารผ่านสายไฟ

การสื่อสารโดยใช้สายไฟภายในอาคารแสดงสายไฟสำหรับการสื่อสารด้วย LED สีขาว และเครือข่ายพื้นฐานอื่นๆนั้น จะใช้สายไฟที่มีอยู่แล้วตามอาคารรูปที่ 2.42



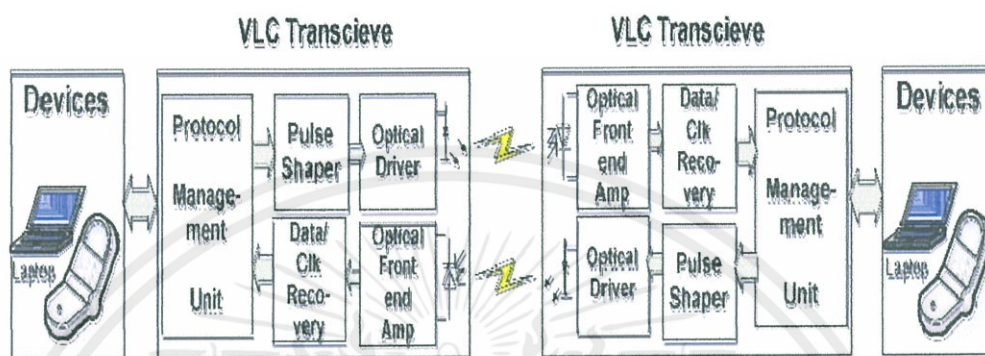
รูปที่ 2.42 คลื่นสัญญาณในสายไฟ

แผนภาพระบบในขณะที่ Modulation ความเข้มแสงการส่งสัญญาณจะเพิ่มสัญญาณด้วย

แอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับสัญญาณที่ถูกส่งออกผ่านสายไฟจะถูกตรวจจับโดย BPF จากนั้นค่อยส่งไปยัง LED และส่งไปยังโฟโตไดโอด โฟโตไดโอดแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามสัญญาณแสงที่ได้รับ

2.16.3 ระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับการสื่อสารด้วยแสง

สำหรับการสื่อสารด้วยแสงนอกอาคารนั้น ได้มีการกล่าวถึงและประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่สามารถใช้ในการรับและส่งข้อมูลได้ ดังรูป 2.43 การรับและส่งสัญญาณจะใช้ LED และโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.43 แผนภาพแสดงการรับและส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

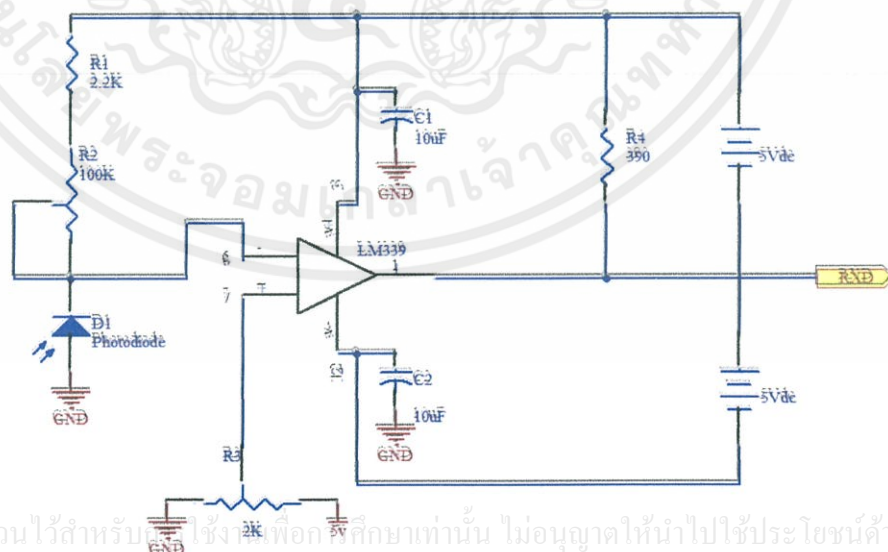
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยโครงการพิเศษในหัวข้อ การพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายสำหรับการใช้งานภายในอาคารได้ทำการออกแบบวงจรภาคส่งสัญญาณทางแสงและวงจรภาครับสัญญาณทางแสงของโมเดลต้นแบบ (VLC) โดยใช้ White LEDเป็นตัวส่งสัญญาณทางแสง และใช้ตัวรับสัญญาณทางแสง 2 ชนิดคือ Photodiode ชนิด VBPW24R และ Photodiode ชนิด FDS10x10 จากนั้นทำการทดลองและประเมินความสามารถด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลของโมเดลต้นแบบเมื่อใช้ตัวรับแสงที่แตกต่างกัน 2 ชนิด และทางด้าน การส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณซึ่งการพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายสำหรับการใช้งานภายในอาคารมีการดำเนินงานดังนี้

3.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณ

ในขั้นตอนการสร้างวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณเป็นการศึกษาและออกแบบวงจร เพื่อให้ได้วงจรมีกระแส, แรงดันและคุณลักษณะ ที่เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ

3.1.1 วงจรภาครับสัญญาณ

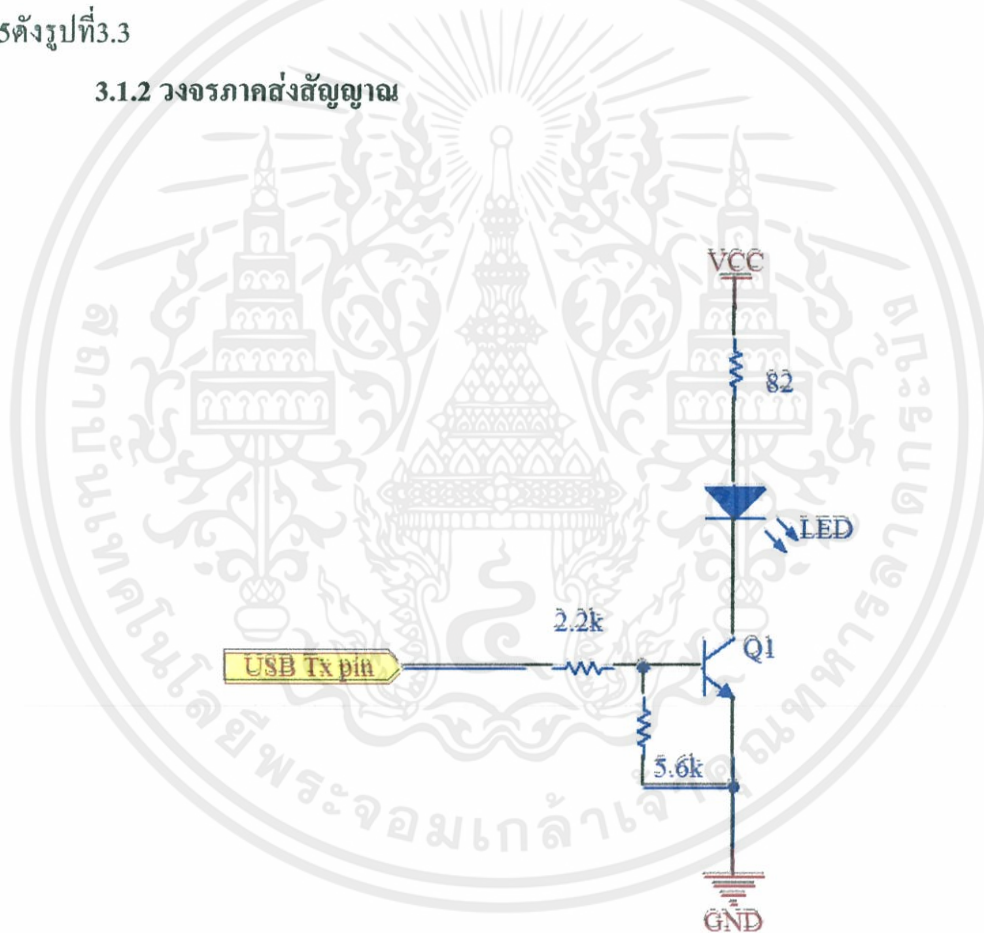


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 วงจรภาครับสัญญาณ

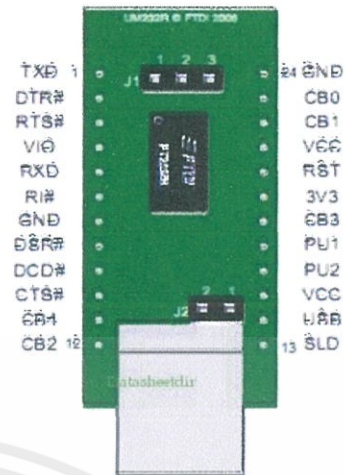
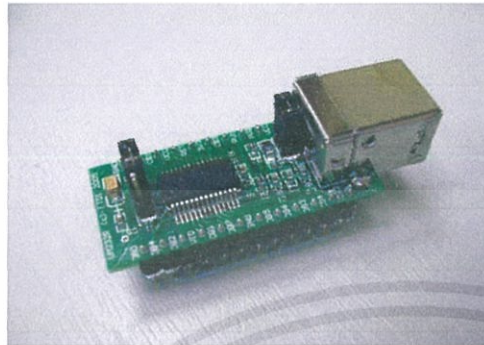
หลักการการทำงานของวงจรรภาครับสัญญาณดังรูปที่ 3.1 นี้ สำหรับวงจรรภาครับสัญญาณเป็นวงจรถ่ายเทียบแรงดัน (Voltage comparator) โดยจะใช้ LM 339 ซึ่งมีทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดัน (Quad comparator) โดยป้อนแรงดันอินพุต V_{in} ที่ขา 6 (non-inverting input) และป้อนแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) เข้าที่อินพุตขา 7 (inverting input) จะทำให้เกิดผลต่างระหว่างแรงดันอินพุต (V_d) ถ้าหากป้อนแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) เข้าที่อินพุต ขา 7 (inverting input) ด้วยค่า 0 และป้อนแรงดันอินพุตเข้าที่ ขา 6 (non-inverting input) ด้วยค่าที่มากกว่า 0V จะทำให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $+V_{sat}$ แต่ถ้าป้อนแรงดันอินพุตเข้าที่ ขา 6 (non-inverting input) ด้วยค่าที่น้อยกว่า 0V จะทำให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $-V_{sat}$ ซึ่งเอาต์พุตที่ได้มีกระแสค่อนข้างน้อยมากจึงใช้ R4 390 Ω ต่อระหว่างขาเอาต์พุตที่ขา 1 กับไฟเลี้ยง +5V เพื่อเพิ่มกระแสให้เพียงพอสำหรับต่อเข้ากับอุปกรณ์ UM232 ที่ขา 5 ดังรูปที่ 3.3

3.1.2 วงจรรภาคส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.2 วงจรรภาคส่งสัญญาณ

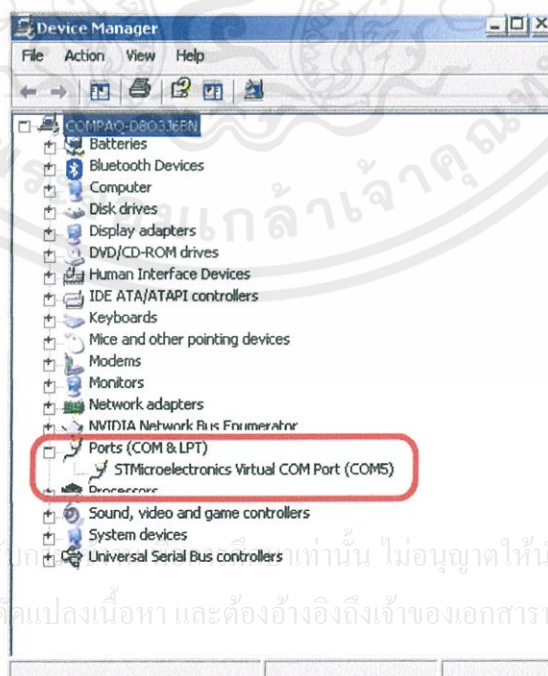
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 การทำงานของวงจรรภาคส่งสัญญาณดังรูปที่ 3.2 นี้ โดย LEDs จะถูกควบคุมการทำงาน
 ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ด้วย switching transistor เบอร์ 2N4401 โดยทรานซิสเตอร์ในวงจรรภาคส่งสัญญาณนี้ทำหน้าที่เป็น
 สวิตช์ของ LEDs โดยที่ขา Base ของทรานซิสเตอร์จะต่อเข้ากับอุปกรณ์ UM232R ที่ขา 1 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ UM232R

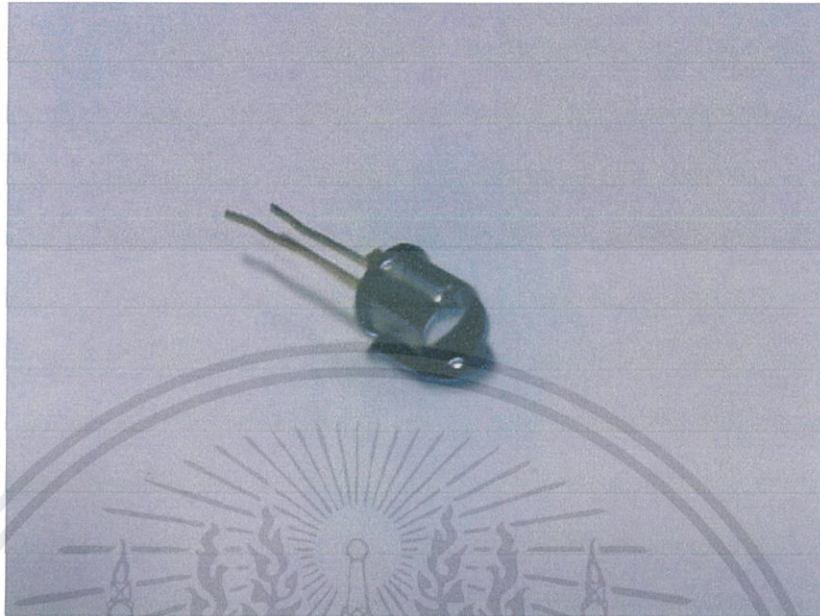
3.2 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของโมเดลต้นแบบ (VLC)

1. ติดตั้งวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณในแนวตั้ง โดยให้วงจรภาครับสัญญาณอยู่ด้านล่างและวงจรภาคส่งสัญญาณอยู่ด้านบน
2. เชื่อมต่อวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง โดยผ่านโปรแกรม Terminal v1.9b ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4. การเชื่อมต่อวงจรภาครับสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน PORT (COM5)

3. ทดลองโดยใช้ Photodiode ชนิดVBPW24R ในวงจรภาครับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิดVBPW2

4. ปรับระยะความสูงที่สูงสุดของการรับและส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ (VLC) และเลื่อนPhotodiode ให้ได้มุม field of view (FOV) ที่ตำแหน่ง 0° องศา

5. ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าที่เหมาะสมกับระยะการรับและส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ (VLC) ดังรูปที่ 3.6



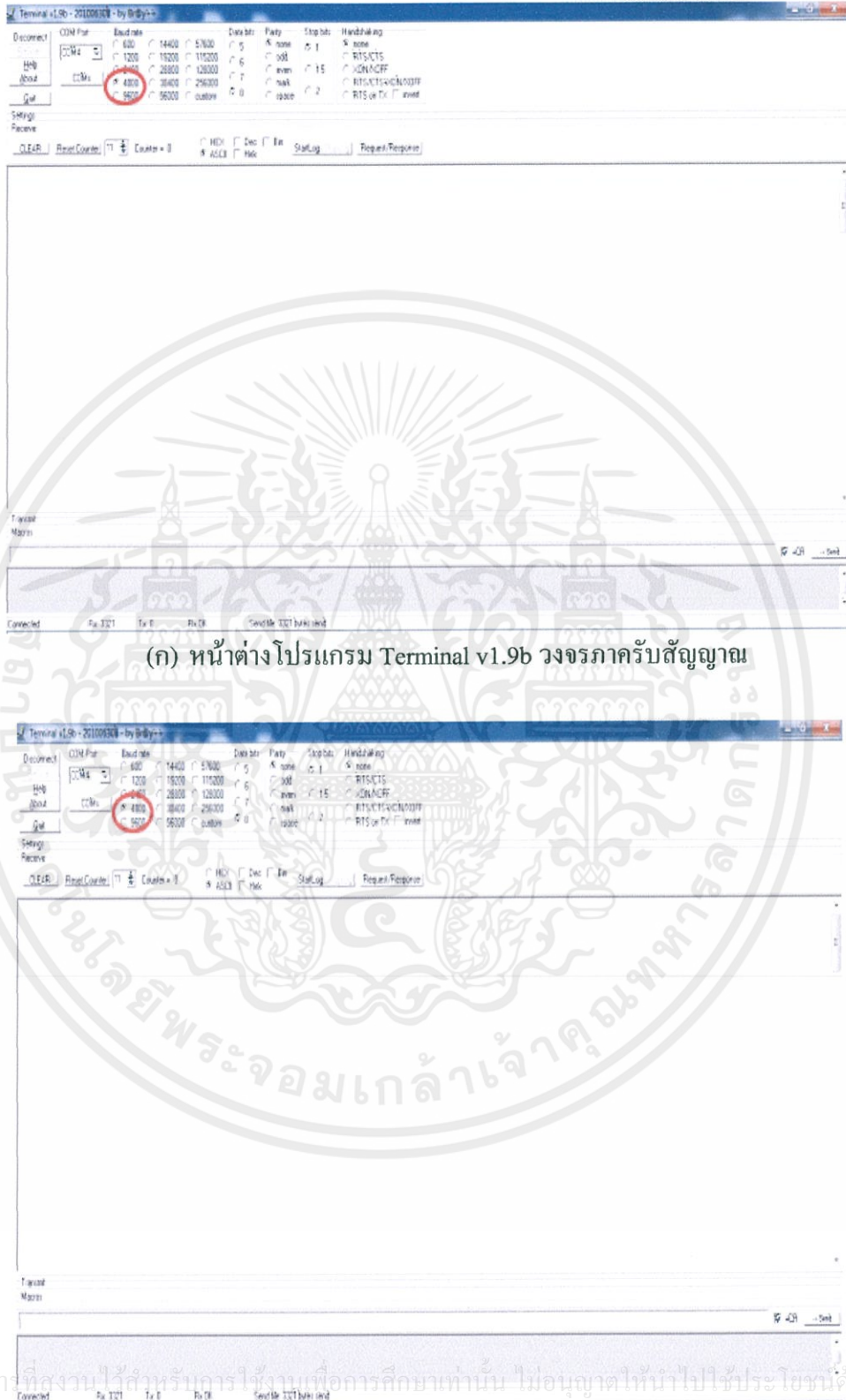
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงการปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าที่เหมาะสมกับระยะการรับ

และส่งสัญญาณ โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปในการดูคลื่นสัญญาณ

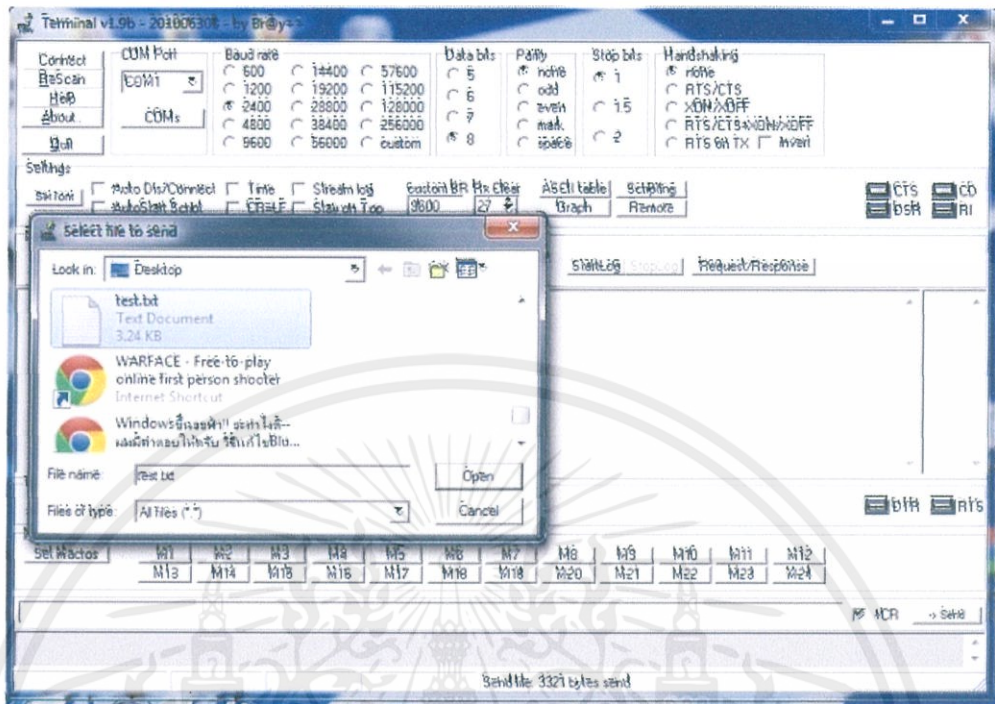
6. ทำการทดสอบการรับและส่งสัญญาณ โดยตั้งค่า Baud rate ที่โปรแกรม Terminal v1.9b ทั้งวงจรถอดรับสัญญาณและวงจรถอดส่งสัญญาณให้ตรงกัน ดังรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ (ข) หน้าต่าง โปรแกรม Terminal v1.9b วงจรถอดส่งสัญญาณ

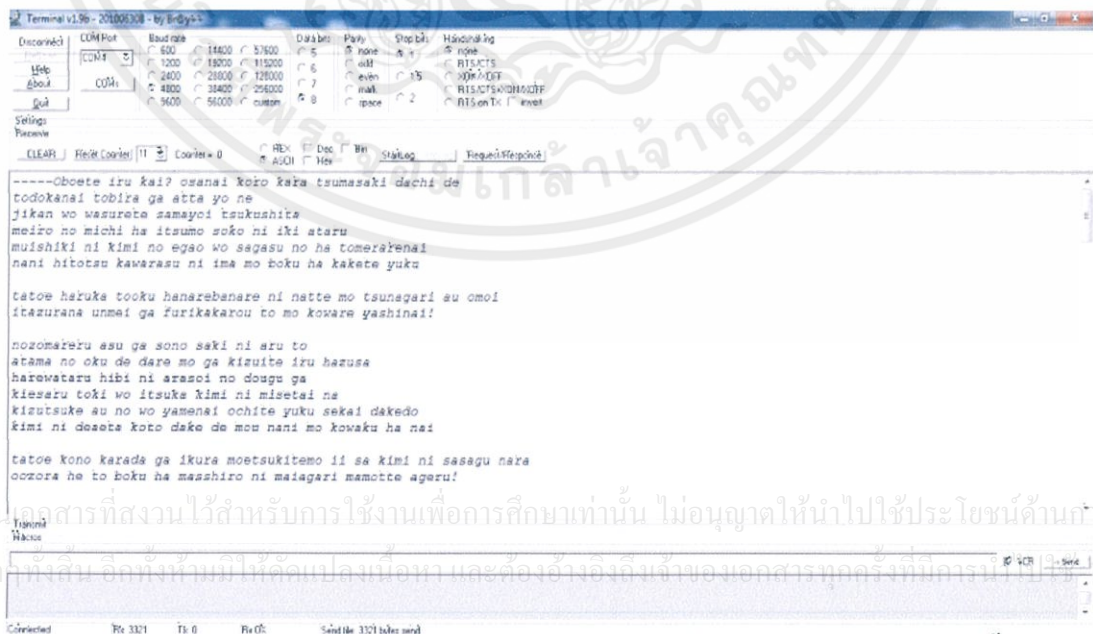
รูปที่ 3.7 แสดงการตั้งค่า Baud rate ของวงจรถอดรับ.(ก) และภาคส่งสัญญาณ (ข) ให้ตรงกัน

7. ส่งไฟล์ข้อมูลจากวงจรภาคส่งสัญญาณ โดยผ่าน โปรแกรม Terminal v1.9b ดังรูปที่3.8



รูปที่ 3.8 หน้าต่างการส่งไฟล์ข้อมูลจากวงจรภาคส่งสัญญาณ โดยผ่าน โปรแกรม Terminal v1.9b

8. ตรวจสอบความถูกต้องของ ไฟล์ข้อมูลของวงจรภาครับสัญญาณจาก โปรแกรม Terminal v1.9b ดังรูปที่3.9 (หาก ไฟล์ข้อมูลมีความผิดพลาด ให้ปรับตัวตัวทานให้น้อยลงและตั้งค่า Baud rate ลดลง)



รูปที่ 3.9 โปรแกรม Terminal v1.9b ของวงจรภาครับสัญญาณเมื่อทำการรับส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว

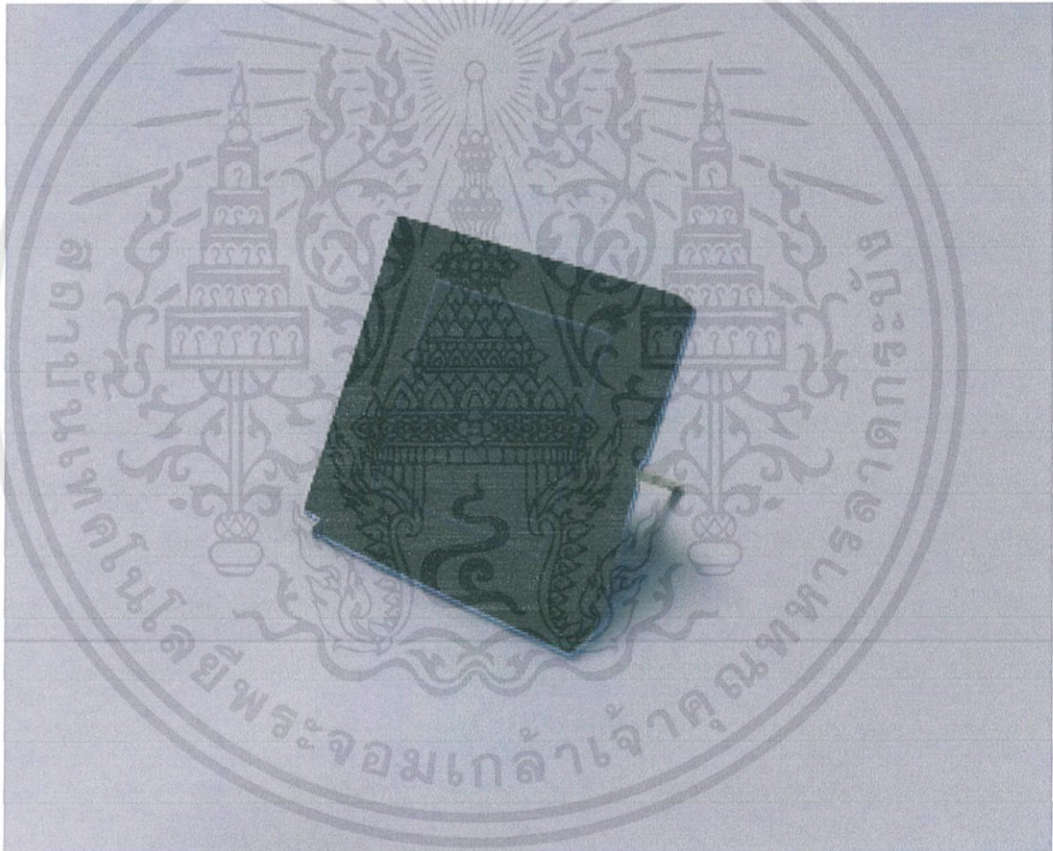
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงนิตยสาร และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณี

9. บันทึกค่าของตัวต้านทาน, มุม field of view (FOV) และ Data rate ที่มีค่ามากที่สุดในการรับส่งข้อมูลโดยไม่มีควมผิดพลาด

10. เปลี่ยน Photodiode ให้มีมุม FOV ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่สามารถรับและส่งสัญญาณของ โมเดล ต้นแบบ (VLC) และทำการทดลองซ้ำข้อที่ 6-9

11. ลดระยะความสูงของการรับและส่งสัญญาณลงครึ่งละ 10 cm จนถึงที่ระยะความสูง 20 cm. แล้วจึงลดระยะความสูงของการรับและส่งสัญญาณลงให้เหลือครึ่งละ 5 cm. และเปลี่ยน Photodiode ให้มีมุม Half angle ที่ตำแหน่ง 0° องศา และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 5-10

12. ทดลองโดยใช้ Photodiode ชนิด FDS10x10 ในวงจรภาครับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.10 และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 4-11

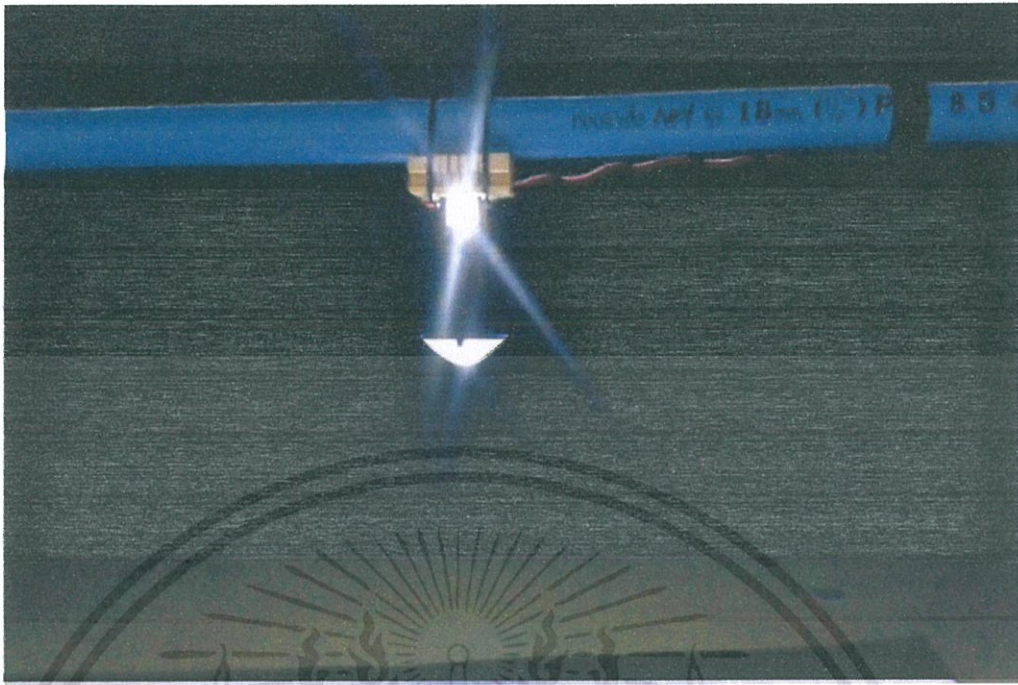


รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด FDS10x10

3.3 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (FOV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรภาคส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ (VLC)
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณในแนวตั้ง โดยให้วงจรภาคส่งสัญญาณอยู่ด้านบนดังรูปที่



รูปที่ 3.11 ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณในแนวตั้ง

2. เชื่อมต่อวงจรภาคส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ดังรูปที่ 3.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อภาคส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

3. วัดค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission) โดย ใช้ Lux meter ดังรูปที่ 3.13 ในตำแหน่งต่างๆที่สามารถรับและส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ (VLC)



รูปที่ 3.13 Lux Meter

4. ใช้ Lux meter หาค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission) ที่ได้จากตำแหน่ง (X,Y) ต่างๆและบันทึกค่ามุม (FOV) ที่ได้จากตำแหน่ง (X,Y) ต่างๆ โดยจะเก็บที่ระยะตั้งแต่ 210,190,170,150,130,110,90,70,50,40,30,20,15,5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อทำการออกแบบวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบความสามารถด้านต่างๆ โดยมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ

4.2 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ (VLC)

4.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ

4.1.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ

ตารางที่ 4.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 50 cm., $R=484 \text{ k}\Omega$

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	4800	-	-
2.290610	4800	-2.290610	2400
3.237688	4800	-3.237688	2400
4.573921	4800	-4.573921	1200
5.111090	4200	-5.111090	300
6.454830	2400	-6.454830	0
7.209121	1200	-7.209121	0
6.842773	2400	-6.842773	0
8.206727	450	-8.206727	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูล และต้องอ้างอิงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
9.090277	0	-9.090277	0

ตารางที่ 4.2 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 40 cm., R=356 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	14400	-	-
2.862405	14400	-2.862405	9600
4.044691	9600	-4.044691	7200
5.710593	9600	-5.710593	1200
6.379370	7800	-6.379370	1800
8.049467	2400	-8.049467	0

ตารางที่ 4.3 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 30 cm., R=200 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	28800	-	-
3.814075	28800	-3.814075	19600
5.385977	24200	-5.385977	9600
7.594643	4800	-7.594643	1200
8.478713	4200	-8.478713	0
10.67841	0	-10.67841	0

ตารางที่ 4.4 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 20 cm., R=110 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	57600	-	-
5.710593	47550	-5.710593	9600
8.049467	35550	-8.049467	14400
11.30993	2400	-11.30993	0
12.60438	1200	-12.60438	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยให้เอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ลบล้างเนื้อหาและต่ออายุจนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 15 cm., R=65 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	57600	-	-
3.814075	57600	-3.814075	57600
5.385977	38400	-5.385977	29000

ตารางที่ 4.6 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 10 cm., R=30.6 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	128000	-	-
8.04947	128000	-8.04947	121600
5.71059	0	-5.71059	0

ตารางที่ 4.7 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 5 cm., R=12 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	256000	-	-
11.3099	28800	-11.3099	19200
15.7932	0	-15.7932	0

4.1.2 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ

ตารางที่ 4.8 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 210 cm., R=484 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	1200	-	-
1.363927532	1200	-1.363927532	1200

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
1.928520625	1200	-1.928520625	1200
2.726310994	1200	-2.726310994	1200
3.047533696	1200	-3.047533696	1200
3.852681365	1200	-3.852681365	1200
4.305808282	900	-4.305808282	1200
4.08561678	900	-4.08561678	1050
4.906610105	900	-4.906610105	900
5.440332031	600	-5.440332031	900
5.606714848	600	-5.606714848	900
5.768181186	600	-5.768181186	900
6.077920619	300	-6.077920619	750
6.788974574	300	-6.788974574	450

ตารางที่ 4.9 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรถ่ายส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 190 cm., $R=484 \text{ k}\Omega$

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	1200	-	-
1.507435759	1200	-1.507435759	1200
2.13134448	1200	-2.13134448	1200
3.012787504	1200	-3.012787504	1200
3.367623452	1200	-3.367623452	1200
4.256806676	1200	-4.256806676	1200
4.757069595	1200	-4.757069595	1200
4.513988458	1200	-4.513988458	1200
5.420164707	1050	-5.420164707	1200
6.009005957	900	-6.009005957	1200
6.19252593	900	-6.19252593	1050
6.370601131	900	-6.370601131	900
6.712138565	750	-6.712138565	900

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
7.49585764	300	-7.49585764	750
8.467132095	300	-8.467132095	300

ตารางที่ 4.10 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรากส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 170 cm., R=484 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	2400	-	-
1.684684	2400	-9.44623	2400
2.381817	2400	-8.36589	2400
3.366461	2400	-7.49329	2400
3.762736	2100	-7.11281	2400
4.755431	1800	-6.91437	1800
5.313689	1500	-6.70984	1800
5.042451	1200	-6.05334	1500
6.053343	1200	-5.31369	1200
6.709837	900	-5.04245	1200
6.914372	900	-4.75543	1050
7.112805	900	-3.76274	900
7.493293	900	-3.36646	900
8.365886	450	-2.38182	750
9.446233	300	-1.68468	300

ตารางที่ 4.11 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรากส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 150 cm., R=385 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	2400	-	-
1.909152433	2400	-1.909152433	2400
2.698950909	2400	-2.698950909	2400

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
3.814074834	2400	-3.814074834	2400
4.262693045	2100	-4.262693045	2400
5.385977099	1800	-5.385977099	1800
5.710593137	1500	-5.710593137	1800
6.017284864	1200	-6.017284864	1500
6.853224835	1200	-6.853224835	1200
7.594643369	900	-7.594643369	1200
7.825525625	900	-7.825525625	1050
8.049466976	900	-8.049466976	900
8.478713147	900	-8.478713147	900
9.462322208	450	-9.462322208	750
10.67841492	300	-10.67841492	300

ตารางที่ 4.12 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล(data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 130cm., R=280 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	4800	-	-
1.762391024	4800	-1.762391024	4800
2.491611823	4800	-2.491611823	4800
3.521453377	3600	-3.521453377	4800
3.935866851	3600	-3.935866851	4800
4.973835334	2400	-4.973835334	2400
5.557433917	2100	-5.557433917	2400
5.273895957	2400	-5.273895957	2100
6.330509401	1500	-6.330509401	1800
7.016501745	600	-7.016501745	1200
7.230192839	750	-7.230192839	900
7.437492753	600	-7.437492753	900
7.834934925	450	-7.834934925	750

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
8.746162263	0	-8.746162263	0
9.873815697	0	-9.873815697	0

ตารางที่ 4.13 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรากส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 110 cm., R=200 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	9600	-	-
2.08256528	4800	-2.08256528	7200
2.943896419	4800	-2.943896419	7200
4.159642294	3600	-4.159642294	4800
4.648582565	3600	-4.648582565	4200
5.872330774	3000	-5.872330774	3000
6.559739205	2100	-6.559739205	3600
6.225829064	1200	-6.225829064	2100
7.469498416	1200	-7.469498416	1200
8.275892827	1200	-8.275892827	1200
8.526905525	600	-8.526905525	900
8.770322786	1200	-8.770322786	0
9.236759197	300	-9.236759197	0
10.30484647	0	-10.30484647	0
11.62381883	0	-11.62381883	0

ตารางที่ 4.14 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรากส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 90 cm., R=115 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	14400	-	-
1.909152433	9600	-1.909152433	9600
2.698950909	9600	-2.698950909	9600

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
3.814074834	4800	-3.814074834	7200
4.262693045	6000	-4.262693045	6000
5.385977099	3600	-5.385977099	3600
6.017284864	3000	-6.017284864	4800
5.710593137	1200	-5.710593137	3300
6.853224835	1800	-6.853224835	2400
7.594643369	1200	-7.594643369	2400
7.825525625	600	-7.825525625	900
8.049466976	1200	-8.049466976	1200
8.478713147	300	-8.478713147	0
9.462322208	0	-9.462322208	0
10.67841492	0	-10.67841492	0

ตารางที่ 4.15.ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรถ่ายส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 70 cm., R=73 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	19200	-	-
1.636577042	19200	-1.636577042	19200
2.313840414	19400	-2.313840414	17000
3.270487923	14400	-3.270487923	14400
3.655524979	15700	-3.655524979	12000
4.620158166	12000	-4.620158166	9600
5.162701244	10800	-5.162701244	9600
4.899092454	12000	-4.899092454	6000
5.881620561	9600	-5.881620561	3600
6.519801752	7200	-6.519801752	2400
6.718650453	7200	-6.718650453	1800
6.911576313	4800	-6.911576313	1200
7.281529855	4800	-7.281529855	600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
8.130102354	3000	-8.130102354	0
9.181002364	0	-9.181002364	0

ตารางที่ 4.16 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรากส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 50 cm., R=33 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	56000	-	-
2.290610	38400	-2.290610	47200
3.237688	29000	-3.237688	47200
4.573921	29000	-4.573921	29000
5.111090	12100	-5.111090	28900
6.454830	4800	-6.454830	17000
7.209121	2400	-7.209121	12200
6.842773	7200	-6.842773	12000
8.206727	0	-8.206727	7300
9.090277	0	-9.090277	0
9.365159	0	-9.365159	0
9.631652	0	-9.631652	0
10.14211	0	-10.14211	0
11.30993	0	-11.30993	0
12.74985	0	-12.74985	0

ตารางที่ 4.17 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรากส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 40 cm., R=25 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	57600	-	-

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
2.862405	57600	-2.862405	57600
2.862405	57600	-2.862405	57600
4.044691	57600	-4.044691	57600
5.710593	38400	-5.710593	38400
6.37937	26400	-6.37937	26400
8.049467	9600	-8.049467	7200

ตารางที่ 4.18.ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรถ่ายส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 30 cm., R=12 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	128000	-	-
3.814075	121600	-3.814075	92800
5.385977	48000	-5.385977	57600
7.594643	28800	-7.594643	14400
8.478713	0	-8.478713	3600
10.67841	0	-10.67841	0

ตารางที่ 4.19 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรถ่ายส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 20 cm., R=5.31 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	128000	-	-
5.710593	128000	-5.710593	47800
8.049467	64000	-8.049467	9600
11.30993	0	-11.30993	0
12.60438	0	-12.60438	0
15.79317	0	-15.79317	0

ตารางที่ 4.20 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 15 cm., R=2.5 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	256000	-	-
3.814075	256000	-3.814075	128000
5.385977	192000	-5.385977	128000

ตารางที่ 4.21 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 10 cm. ,R=0 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	251000	-	-
8.04947	251000	-8.04947	121600
5.71059	128000	-5.71059	128000

ตารางที่ 4.22 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 5 cm. ,R=0 k Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	128000	-	-
11.3099	128000	-11.3099	121600
15.7932	92800	-15.7932	128000

4.2 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ(VLC)

4.2.1 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรรภาคส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ(VLC) ที่ระดับความสูงต่างๆ

ตารางที่ 4.23 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของ โมเดลต้นแบบที่ระยะ 210 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	27.3	-	-		
5	0	1.363928	26.9	15	-5	4.305808	21.8
10	0	2.726311	24.9	15	-10	4.90661	20.5
15	0	4.085617	21.6	15	-15	5.768181	18.8
20	0	5.440332	17.8	15	-20	6.788975	16.6
-5	0	-1.363928	26.7	20	-5	5.606715	25.6
-10	0	-2.726311	26.1	20	-10	6.077921	24.5
-15	0	-4.085617	25.1	20	-15	6.788975	22.7
-20	0	-5.440332	23.7	20	-20	7.670835	20.2
0	5	1.363928	26.5	-5	5	-1.928521	26.3
0	10	2.726311	25.0	-5	10	-3.047534	25.1
0	15	4.085617	23.2	-5	15	-4.305808	23.5
0	20	5.440332	20.6	-5	20	-5.606715	20.9
0	-5	1.363928	27.2	-10	5	-3.047534	25.6
0	-10	2.726311	26.3	-10	10	-3.852681	24.5
0	-15	4.085617	24.0	-10	15	-4.90661	22.7
0	-20	5.440332	21.3	-10	20	-6.077921	20.2
5	5	1.928521	25.7	-15	5	-4.305808	24.7
5	10	3.047534	23.9	-15	10	-4.90661	23.2
5	15	4.305808	21.7	-15	15	-5.768181	21.1
5	20	5.606715	19.1	-15	20	-6.788975	18.7
10	5	3.047534	23.4	-20	5	5.606715	23.2
10	10	3.852681	21.2	-20	10	-6.077921	21.8
10	15	4.906610	19.7	-20	15	-6.788975	19.3
10	20	6.077921	16.8	-20	20	-7.670835	16.8
15	5	4.305808	20.3	-5	5	-1.928521	27.0
15	10	4.90661	18.7	-5	10	-3.047534	26.3

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
15	15	5.768181	17.1	-5	15	-4.305808	24.4
15	20	6.788975	14.8	-5	20	-5.606715	22.2
20	5	5.606715	15.8	-10	-5	-3.047534	26.3
20	10	6.077921	14.4	-10	-10	-3.852681	25.6
20	15	6.788975	13.4	-10	-15	-4.906610	24.3
20	20	7.670835	12.2	-10	-20	-6.077921	21.1
5	-5	1.928521	26.7	-15	-5	-4.305808	25.2
5	-10	3.047534	25.5	-15	-10	-4.90661	24.2
5	-15	4.305808	23.1	-15	-15	-5.768181	22.9
5	-20	5.606715	20.1	-15	-20	-6.788975	20.6
10	-5	3.047534	24.7	-20	-5	-5.606715	23.3
10	-10	3.852681	23.5	-20	-10	-6.077921	22.0
10	-15	4.90661	21.2	-20	-15	-6.788975	20.3
10	-20	6.077921	18.6	-20	-20	-7.670835	18.5

ตารางที่ 4.24. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 190 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	34.3	-	-		
5	0	1.507436	32.4	15	-5	4.75707	29.3
10	0	3.012788	29.1	15	-10	5.420165	27.4
15	0	4.513988	24.8	15	-15	6.370601	24.1
20	0	6.009006	19.9	15	-20	7.495858	20.8
-5	0	-1.507436	32.6	20	-5	6.192526	24.0
-10	0	-3.012788	31.6	20	-10	6.712139	23.1
-15	0	-4.513988	30.2	20	-15	7.495858	20.6
-20	0	-6.009006	28.2	20	-20	8.467132	17.7
0	5	1.507436	32.2	-5	5	-2.131344	19.2

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	10	3.012788	30.2	-5	10	-3.367623	18.0
0	15	4.513988	27.3	-5	15	-4.757070	16.0
0	20	6.009006	23.6	-5	20	-6.192526	13.9
0	-5	1.507436	32.2	-10	5	-3.367623	32.0
0	-10	3.012788	30.2	-10	10	-4.256807	30.3
0	-15	4.513988	27.3	-10	15	-5.420165	27.8
0	-20	6.009006	23.6	-10	20	6.712139	23.8
5	5	1.928521	33.0	-15	5	-4.757070	31.0
5	10	3.047534	31.5	-15	10	-5.420165	29.2
5	15	4.305808	27.9	-15	15	-6.370601	26.7
5	20	5.606715	24.4	-15	20	-7.495858	22.9
10	5	3.047534	30.7	-20	5	-6.192526	29.5
10	10	3.852681	28.0	-20	10	-6.712139	27.4
10	15	4.906610	25.2	-20	15	-7.495858	24.5
10	20	6.077921	21.0	-20	20	-8.467132	20.9
15	5	4.305808	27.4	-5	5	-2.131344	27.2
15	10	4.906610	24.7	-5	10	-3.367623	24.8
15	15	5.768181	22.0	-5	15	-4.757070	21.7
15	20	6.788975	18.3	-5	20	-6.192526	18.6
20	5	5.606715	22.7	-10	-5	-3.367623	32.8
20	10	6.077921	21.1	-10	-10	-4.256807	31.5
20	15	6.788975	19.1	-10	-15	-5.420165	28.7
20	20	7.670835	15.6	-10	-20	-6.712139	25.5
5	-5	2.131344	18.6	-15	-5	-4.757070	31.9
5	-10	3.367623	17.1	-15	-10	-5.420165	30.5
5	-15	4.757070	15.4	-15	-15	-6.370601	28.3
5	-20	6.192526	12.2	-15	-20	-7.495858	25.1
10	-5	3.367623	32.3	-20	-5	-6.192526	30.0
10	-10	4.256807	30.4	-20	-10	-6.712139	28.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น | ป้อนยูเอชไอทีไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารฉบับนี้ทุกครั้งที่ไม่ใช่

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
10	-15	5.420165	26.8	-20	-15	-7.495858	26.2
10	-20	6.712139	22.9	-20	-20	-8.467132	23.1

ตารางที่ 4.25 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 170 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	41.4	-	-		
5	0	1.684684	39.9	15	-5	5.313689	27.0
10	0	3.366461	36.8	15	-10	6.053343	24.9
15	0	5.042451	27.5	15	-15	7.112805	22
20	0	6.709837	20.7	15	-20	8.365886	18.2
-5	0	-1.684684	40.6	20	-5	6.914372	20.0
-10	0	-3.366461	39.3	20	-10	7.493293	18.4
-15	0	-5.042451	37.4	20	-15	8.365886	16.0
-20	0	-6.709837	33.6	20	-20	9.446233	12.9
0	5	1.684684	39.8	-5	5	-2.381817	39
0	10	3.366461	36.9	-5	10	-3.762736	37.2
0	15	5.042451	32.6	-5	15	-5.313689	33.5
0	20	6.709837	25.4	-5	20	-6.914372	26.7
0	-5	1.684684	41	-10	5	-3.762736	38.2
0	-10	3.366461	38.5	-10	10	-4.755431	35.5
0	-15	5.042451	32.9	-10	15	-6.053343	31.3
0	-20	6.709837	28	-10	20	-7.493293	25.8
5	5	2.381817	42	-15	5	-5.313689	36.2
5	10	3.762736	36.4	-15	10	-6.053343	33.1
5	15	5.313689	28.9	-15	15	-7.112805	28.6
5	20	6.914372	21.7	-15	20	-8.365886	23.4
10	5	3.762736	31.9	-20	5	-6.914372	31.9

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
10	10	4.755431	28.1	-20	10	-7.493293	29
10	15	6.053343	24.4	-20	15	-8.365886	24.7
10	20	7.493293	19.3	-20	20	-9.446233	20.0
15	5	5.313689	25.8	-5	5	-2.381817	40.7
15	10	6.053343	23.3	-5	10	-3.762736	38.6
15	15	7.112805	20.3	-5	15	-5.313689	34.6
15	20	8.365886	15.1	-5	20	-6.914372	29.3
20	5	6.914372	19.7	-10	-5	-3.762736	39.3
20	10	7.493293	17.6	-10	-10	-4.755431	37.4
20	15	8.365886	14.9	-10	-15	-6.053343	34.0
20	20	9.446233	10.6	-10	-20	-7.493293	28.5
5	-5	2.381817	39.2	-15	-5	-5.313689	36.4
5	-10	3.762736	35.8	-15	-10	-6.053343	33.8
5	-15	5.313689	30.9	-15	-15	-7.112805	30.8
5	-20	6.914372	25.6	-15	-20	-8.365886	26.0
10	-5	3.76273	34.0	-20	-5	-6.9143720	31.9
10	-10	4.755431	31.3	-20	-10	-7.493293	29.7
10	-15	6.053343	27.1	-20	-15	-8.365886	25.9
10	-20	7.493293	28.8	-20	-20	-9.446233	21.9

ตารางที่ 4.26 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 150 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	52.6	-	-		
5	0	1.684684	51.9	15	-5	5.313689	35.2
10	0	3.366461	45.3	15	-10	6.053343	31.1
15	0	5.042451	35.1	15	-15	7.112805	27.2
20	0	6.709837	25.2	15	-20	8.365886	21.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นให้ดัดแปลงเนื้อหา และของอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่ครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
-5	0	-1.684684	50.5	20	-5	6.914372	24.6
-10	0	-3.366461	48.5	20	-10	7.493293	22.2
-15	0	-5.042451	43.7	20	-15	8.365886	18.1
-20	0	-6.709837	35.7	20	-20	9.446233	13.9
0	5	1.684684	50.4	-5	5	-2.381817	49.2
0	10	3.366461	46.0	-5	10	-3.762736	45.2
0	15	5.042451	38.3	-5	15	-5.313689	38.3
0	20	6.709837	27.6	-5	20	-6.914372	28.1
0	-5	1.684684	52.2	-10	5	-3.762736	33.0
0	-10	3.366461	47.8	-10	10	-4.755431	28.8
0	-15	5.042451	41.2	-10	15	-6.053343	23
0	-20	6.709837	33.6	-10	20	-7.493293	17.1
5	5	2.381817	48.1	-15	5	-5.313689	51.2
5	10	3.762736	42.5	-15	10	-6.053343	28.0
5	15	5.313689	34.5	-15	15	-7.112805	42.1
5	20	6.914372	24.1	-15	20	-8.365886	33.6
10	5	3.762736	40.7	-20	5	-6.914372	39.4
10	10	4.755431	34.9	-20	10	-7.493293	31.5
10	15	6.053343	29.2	-20	15	-8.365886	34
10	20	7.493293	20.3	-20	20	-9.446233	31.5
15	5	5.313689	32.3	-5	5	-2.381817	41.6
15	10	6.053343	28.8	-5	10	-3.762736	37.8
15	15	7.112805	23.0	-5	15	-5.313689	33.4
15	20	8.365886	15.5	-5	20	-6.914372	25.8
20	5	6.914372	23.8	-10	-5	-3.762736	34.0
20	10	7.493293	21.0	-10	-10	-4.755431	30.3
20	15	8.365886	15.3	-10	-15	-6.053343	26.7
20	20	9.446233	10.5	-10	-20	-7.493293	20.8
5	-5	2.381817	51.0	-15	-5	-5.313689	21.3

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
5	-10	3.762736	46.0	-15	-10	-6.053343	24.6
5	-15	5.313689	38.1	-15	-15	-7.112805	22.2
5	-20	6.914372	31.2	-15	-20	-8.365886	18.1
10	-5	3.762736	44.1	-20	-5	-6.914372	13.9
10	-10	4.755431	40.3	-20	-10	-7.493293	49.2
10	-15	6.053343	33.2	-20	-15	-8.365886	45.2
10	-20	7.493293	27.2	-20	-20	-9.446233	38.3

ตารางที่ 4.27 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 130 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	52.6	-	-		
4	0	1.762391	51.9	12	-4	5.557434	50.9
8	0	3.521453	45.3	12	-8	6.330509	43.1
12	0	5.273896	35.1	12	-12	7.437493	40.3
16	0	7.016502	25.2	12	-16	8.746162	32.5
-4	0	-1.762391	50.5	16	-4	7.230193	38.3
-8	0	-3.521453	48.5	16	-8	7.834935	35.2
-12	0	-5.273896	43.7	16	-12	8.746162	29.9
-16	0	-7.016502	35.7	16	-16	9.873816	23.8
0	4	1.762391	50.4	-4	4	-2.491612	67.3
0	8	3.521453	46.0	-4	8	-3.935867	63.5
0	12	5.273896	38.3	-4	12	-5.557434	55.8
0	16	7.016502	27.6	-4	16	-7.230193	43.5
0	-4	1.762391	52.2	-8	4	-3.935867	64.7
0	-8	3.521453	47.8	-8	8	-4.973835	59.2
0	-12	5.273896	41.2	-8	12	-6.330509	50.9
0	-16	7.016502	33.6	-8	16	-7.834935	40.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
4	4	2.491612	48.1	-12	4	-5.557434	58.6
4	8	3.935867	42.5	-12	8	-6.330509	52.6
4	12	5.557434	34.5	-12	12	-7.437493	44.4
4	16	7.230193	24.1	-12	16	-8.746162	35.9
8	4	3.935867	40.7	-16	4	-7.230193	48.9
8	8	4.973835	34.9	-16	8	-7.834935	44.4
8	12	6.330509	29.2	-16	12	-8.746162	36.8
8	16	7.834935	20.3	-16	16	-9.873816	28.8
12	4	5.557434	32.3	-4	-4	-2.491612	51.2
12	8	6.330509	28.8	-4	-8	-3.935867	48.0
12	12	7.437493	23.0	-4	-12	-5.557434	42.1
12	16	8.746162	15.5	-4	-16	-7.230193	33.6
16	4	7.230193	23.8	-8	-4	-3.935867	39.4
16	8	7.834935	21.0	-8	-8	-4.973835	31.5
16	12	8.746162	15.3	-8	-12	-6.330509	34.0
16	16	9.873816	10.5	-8	-16	-7.834935	31.5
4	-4	2.491612	51.0	-12	-4	-5.557434	41.6
4	-8	3.935867	46.0	-12	-8	-6.330509	37.8
4	-12	5.557434	38.1	-12	-12	-7.437493	33.4
4	-16	7.230193	31.2	-12	-16	-8.746162	25.8
8	-4	3.935867	44.1	-16	-4	-7.230193	34.0
8	-8	4.973835	40.3	-16	-8	-7.834935	30.3
8	-12	6.330509	33.2	-16	-12	-8.746162	26.7
8	-16	7.834935	27.2	-16	-16	-9.873816	20.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 110 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	98.6	-	-		
4	0	2.082565	88.2	12	-4	6.559739	45.9
8	0	4.159642	69.7	12	-8	7.469498	40.3
12	0	6.225829	47.8	12	-12	8.770323	30.8
16	0	8.275893	28.9	12	-16	10.30485	21.3
-4	0	-2.082565	97.2	16	-4	8.526906	28.1
-8	0	-4.159642	92.6	16	-8	9.236759	22.8
-12	0	-6.225829	86.0	16	-12	10.30485	17.5
-16	0	-8.275893	71.2	16	-16	11.62382	10.5
0	4	2.082565	93.2	-4	4	-2.943896	94.3
0	8	4.159642	83.3	-4	8	-4.648583	86.2
0	12	6.225829	69.2	-4	12	-6.559739	70.3
0	16	8.275893	44.6	-4	16	-8.526906	48.3
0	-4	2.082565	94.9	-8	4	-4.648583	90.3
0	-8	4.159642	86.7	-8	8	-5.872331	80.7
0	-12	6.225829	60.1	-8	12	-7.469498	66.4
0	-16	8.275893	52.2	-8	16	-9.236759	47.5
4	4	2.943896	81.8	-12	4	-6.559739	83.2
4	8	4.648583	71.2	-12	8	-7.469498	72.3
4	12	6.559739	56.5	-12	12	-8.770323	58.4
4	16	8.526906	36.7	-12	16	-10.30485	45.8
8	4	4.648583	64.1	-16	4	-8.526906	68.5
8	8	5.872331	55.8	-16	8	-9.236759	59.7
8	12	7.469498	44.0	-16	12	-10.30485	46.9
8	16	9.236759	28.3	-16	16	-11.62382	32.8
12	4	6.559739	47.0	-4	-4	-2.943896	96.4
12	8	7.469498	40.0	-4	-8	-4.648583	86.3

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
12	12	8.770323	29.0	-4	-12	-6.559739	72.5
12	16	10.30485	16.8	-4	-16	-8.526906	55.0
16	4	8.526906	28.2	-8	-4	-4.648583	92.5
16	8	9.236759	22.9	-8	-8	-5.872331	84.1
16	12	10.30485	15.6	-8	-12	-7.469498	70.0
16	16	11.62382	9.2	-8	-16	-9.236759	50.4
4	-4	2.943896	84.6	-12	-4	-6.559739	82.0
4	-8	4.648583	72.4	-12	-8	-7.469498	72.0
4	-12	6.559739	59.6	-12	-12	-8.770323	61.0
4	-16	8.526906	45.9	-12	-16	-10.30485	43.3
8	-4	4.648583	67.0	-16	-4	-8.526906	65.4
8	-8	5.872331	58.6	-16	-8	-9.236759	57.3
8	-12	7.469498	47.6	-16	-12	-10.30485	49.3
8	-16	9.236759	34.8	-16	-16	-11.62382	35.7

ตารางที่ 4.29 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 90 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	146.5	-	-		
3	0	1.909152	142.3	9	-3	6.017285	88.3
6	0	3.814075	124.0	9	-6	6.853225	79.3
9	0	5.710593	94.2	9	-9	8.049467	66.4
12	0	7.594643	67.0	9	-12	9.462322	49.4
-3	0	-1.909152	142.3	12	-3	7.825526	61.6
-6	0	-3.814075	136.7	12	-6	8.478713	53.4
-9	0	-5.710593	124.8	12	-9	9.462322	44.4
-12	0	-7.594643	105	12	-12	10.67841	30.6
0	3	1.909152	143.2	-3	3	-2.698951	139.4

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	6	3.814075	131.8	-3	6	-4.262693	128.9
0	9	5.710593	112.2	-3	9	-6.017285	111.5
0	12	7.594643	82.5	-3	12	-7.825526	83.1
0	-3	1.909152	114.5	-6	3	-4.262693	113.3
0	-6	3.814075	127.7	-6	6	-5.385977	121.5
0	-9	5.710593	108.6	-6	9	-6.853225	103.5
0	-12	7.594643	86.1	-6	12	-8.478713	77.6
3	3	2.698951	135.1	-9	3	-6.017285	121.9
3	6	4.262693	118.2	-9	6	-6.853225	108.2
3	9	6.017285	101.8	-9	9	-8.049467	91.6
3	12	7.825526	75.2	-9	12	-9.462322	69.5
6	3	4.262693	111.5	-12	3	-7.825526	98.7
6	6	5.385977	100.2	-12	6	-8.478713	59.1
6	9	6.853225	81.1	-12	9	-9.462322	76.2
6	12	8.478713	58.7	-12	12	-10.67841	55.7
9	3	6.017285	87.9	-3	-3	-2.698951	142.6
9	6	6.853225	79.0	-3	-6	-4.262693	132.2
9	9	8.049467	63.1	-3	-9	-6.017285	115.1
9	12	9.462322	43.8	-3	-12	-7.825526	90.1
12	3	7.825526	63.5	-6	-3	-4.262693	135.9
12	6	8.478713	55.9	-6	-6	-5.385977	125.4
12	9	9.462322	41.2	-6	-9	-6.853225	110.1
12	12	10.67841	26.6	-6	-12	-8.478713	81.0
3	-3	2.698951	137.8	-9	-3	-6.017285	119.7
3	-6	4.262693	121.8	-9	-6	-6.853225	108.7
3	-9	6.017285	101.5	-9	-9	-8.049467	92.2
3	-12	7.825526	82.9	-9	-12	-9.462322	72.6
6	-3	4.262693	115.2	-12	-3	-7.825526	96.8
6	-6	5.385977	108.2	-12	-6	-8.478713	87.9

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
6	-9	6.853225	88.5	-12	-9	-9.462322	73.1
6	-12	8.478713	66.7	-12	-12	-10.67841	56.0

ตารางที่ 4.30 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 70 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	230	-	-		
2	0	1.636577	225	6	-2	-5.162701	165
4	0	3.270488	210	6	-4	-5.881621	145
6	0	4.899092	193	6	-6	-6.911576	122
8	0	6.519802	163	6	-8	-8.130102	99
-2	0	1.636577	229	12	-2	-6.71865	139
-4	0	-3.270488	214	12	-4	-7.28153	121
-6	0	-4.899092	188	12	-6	-8.130102	100
-8	0	-6.519802	162	12	-8	-9.181002	74
0	2	1.636577	225	-2	2	-2.31384	225
0	4	3.270488	216	-2	4	-3.655525	219
0	6	4.899092	206	-2	6	-5.162701	206
0	8	6.519802	187	-2	8	-6.71865	183
0	-2	1.636577	225	-4	2	-3.655525	216
0	-4	3.270488	200	-4	4	-4.620158	209
0	-6	4.899092	170	-4	6	-5.881621	191
0	-8	6.519802	128	-4	8	-7.28153	165
2	2	2.31384	222	-6	2	-5.162701	194
2	4	3.655525	214	-6	4	-5.881621	191
2	6	5.162701	203	-6	6	-6.911576	175
2	8	6.71865	183	-6	8	-8.130102	152
4	2	3.655525	210	-8	2	-6.71865	171

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
4	4	4.620158	201	-8	4	-7.28153	164
4	6	5.881621	187	-8	6	-8.130102	152
4	8	7.28153	163	-8	8	-9.181002	129
6	2	5.162701	184	-2	-2	-2.31384	222
6	4	5.881621	178	-2	-4	-3.655525	203
6	6	6.911576	162	-2	-6	-5.162701	170
6	8	8.130102	144	-2	-8	-6.71865	128
8	2	6.71865	159	-4	-2	-3.655525	205
8	4	7.28153	149	-4	-4	-4.620158	184
8	6	8.130102	139	-4	-6	-5.881621	154
8	8	9.181002	115	-4	-8	-7.28153	118
2	-2	2.31384	216	-6	-2	-5.162701	178
2	-4	3.655525	190	-6	-4	-5.881621	156
2	-6	5.162701	160	-6	-6	-6.911576	134
2	-8	6.71865	124	-6	-8	-8.130102	104
4	-2	3.655525	195	-8	-2	-6.71865	150
4	-4	4.620158	172	-8	-4	-7.28153	137
4	-6	5.881621	143	-8	-6	-8.130102	113
4	-8	7.28153	115	-8	-8	-9.181002	86

ตารางที่ 4.31 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 50 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	471	-	-		
2	0	2.29061	466	6	-2	7.209121	370
4	0	4.573921	430	6	-4	8.206727	256
6	0	6.842773	368	6	-6	9.631652	170
8	0	9.090277	246	6	-8	11.30993	94

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
-2	0	-2.29061	434	12	-2	9.365159	206
-4	0	-4.573921	351	12	-4	10.14211	158
-6	0	-6.842773	267	12	-6	11.30993	108
-8	0	-9.090277	168	12	-8	12.74985	57
0	2	2.29061	461	-2	2	-3.237688	429
0	4	4.573921	431	-2	4	-5.11109	382
0	6	6.842773	353	-2	6	-7.209121	302
0	8	9.090277	274	-2	8	9.365159	228
0	-2	2.29061	433	-4	2	-5.11109	361
0	-4	4.573921	353	-4	4	-6.45483	317
0	-6	6.842773	243	-4	6	-8.206727	362
0	-8	9.090277	134	-4	8	-10.14211	188
2	2	3.237688	443	-6	2	-7.209121	255
2	4	5.11109	417	-6	4	-8.206727	229
2	6	7.209121	357	-6	6	-9.631652	175
2	8	9.365159	257	-6	8	-11.30993	121
4	2	5.11109	421	-8	2	-9.365159	162
4	4	6.45483	384	-8	4	-10.14211	136
4	6	8.206727	316	-8	6	11.30993	113
4	8	10.14211	228	-8	8	-12.74985	75
6	2	7.209121	350	-2	-2	-3.237688	222
6	4	8.206727	317	-2	-4	-5.11109	203
6	6	9.631652	257	-2	-6	7.209121	170
6	8	11.30993	179	-2	-8	-9.365159	128
8	2	9.365159	241	-4	-2	-5.11109	205
8	4	10.14211	231	-4	-4	-6.45483	184
8	6	11.30993	193	-4	-6	-8.206727	154
8	8	12.74985	119	-4	-8	-10.14211	118
2	-2	3.237688	433	-6	-2	-7.209121	178

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
2	-4	5.11109	356	-6	-4	-8.206727	156
2	-6	7.209121	254	-6	-6	-9.631652	134
2	-8	9.365159	156	-6	-8	-11.30993	104
4	-2	5.11109	380	-8	-2	-9.365159	150
4	-4	6.45483	293	-8	-4	-10.14211	137
4	-6	8.206727	220	-8	-6	-11.30993	113
4	-8	10.14211	134	-8	-8	-12.74985	86

ตารางที่ 4.32 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 40 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	666	-	-		
2	0	2.862405	629	2	-2	4.04469	577
4	0	5.710593	484	2	-4	6.37937	452
-2	0	-2.862405	655	4	-2	6.37937	442
-4	0	-5.710593	548	4	-4	8.049467	375
0	2	2.862405	635	-2	2	-4.04469	617
0	4	5.710593	529	-2	4	-6.37937	500
0	-2	2.862405	640	-4	2	--6.37937	517
0	-4	5.710593	525	-4	4	-8.04946	410
2	2	4.044691	589	-2	-2	-4.04469	632
2	4	6.37937	484	-2	-4	-6.37937	537
4	2	6.37937	454	-4	-2	-6.37937	503
4	4	8.049467	365	-4	-4	-8.049467	429

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 30 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	1165	-	-		
2	0	3.814075	1097	2	-2	5.385977	996
4	0	7.594643	758	2	-4	8.478713	658
-2	0	-3.814075	1019	4	-2	8.478713	672
-4	0	-7.594643	683	4	-4	10.67841	416
0	2	3.814075	1064	-2	2	-5.385977	895
0	4	7.594643	705	-2	4	-8.478713	587
0	-2	3.814075	1077	-4	2	-8.478713	551
0	-4	7.594643	711	-4	4	-10.67841	343
2	2	5.385977	989	-2	-2	-5.385977	922
2	4	8.478713	620	-2	-4	-8.478713	650
4	2	8.478713	666	-4	-2	-8.478713	616
4	4	10.67841	380	-4	-4	-10.67841	369

ตารางที่ 4.34 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 20 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	2230	-	-		
2	0	5.710593	1930	2	-2	8.049467	1320
4	0	11.30993	860	2	-4	12.60438	400
-2	0	-5.710593	1600	4	-2	12.60438	620
-4	0	-11.30993	600	4	-4	15.79317	220
0	2	5.710593	2010	-2	2	-8.049467	1340
0	4	11.30993	1100	-2	4	-12.60438	720
0	-2	5.710593	1700	-4	2	-12.60438	370
0	-4	11.30993	610	-4	4	-15.79317	170

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
2	2	8.049467	1800	-2	-2	-8.049467	1060
2	4	12.60438	690	-2	-4	-12.60438	320
4	2	12.60438	830	-4	-2	-12.60438	310
4	4	15.79317	340	-4	-4	-15.79317	110

ตารางที่ 4.35 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 15 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		HALF ANGLE	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	3200	-	-		
1	0	3.814075	3110	1	1	5.385977	3150
-1	0	-3.814075	2730	1	-1	5.385977	2510
0	1	3.814075	3170	-1	1	-5.385977	2790
0	-1	3.814075	2490	-1	-1	-5.385977	2260

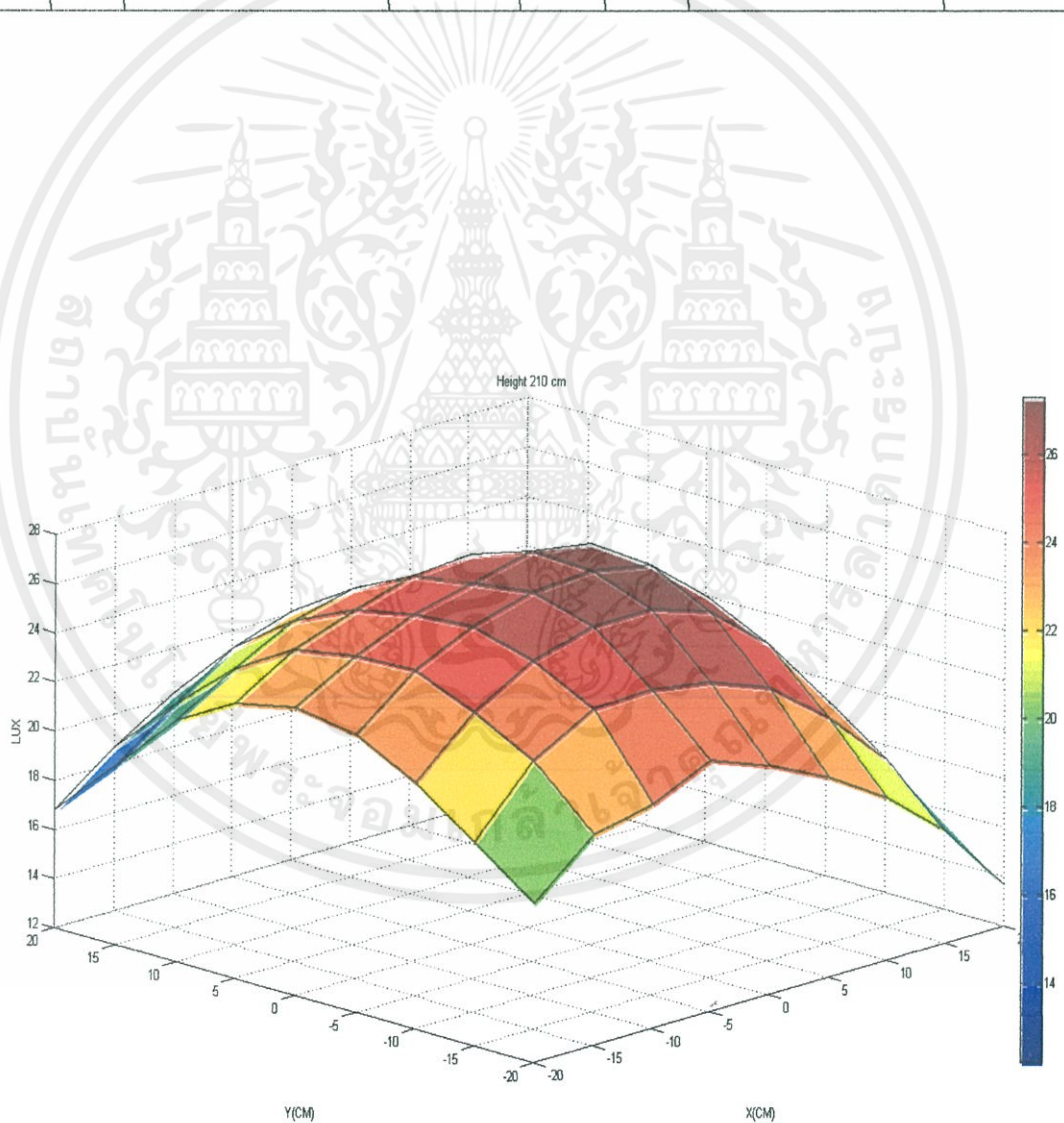
ตารางที่ 4.36 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 10 cm.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	5940	-	-		
1	0	5.71059	5130	1	1	8.049467	4170
-1	0	-5.71059	4770	1	-1	8.049467	3870
0	1	5.71059	5230	-1	1	-8.049467	4490
0	-1	5.71059	4830	-1	-1	-8.049467	4170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.37 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 5 cm.

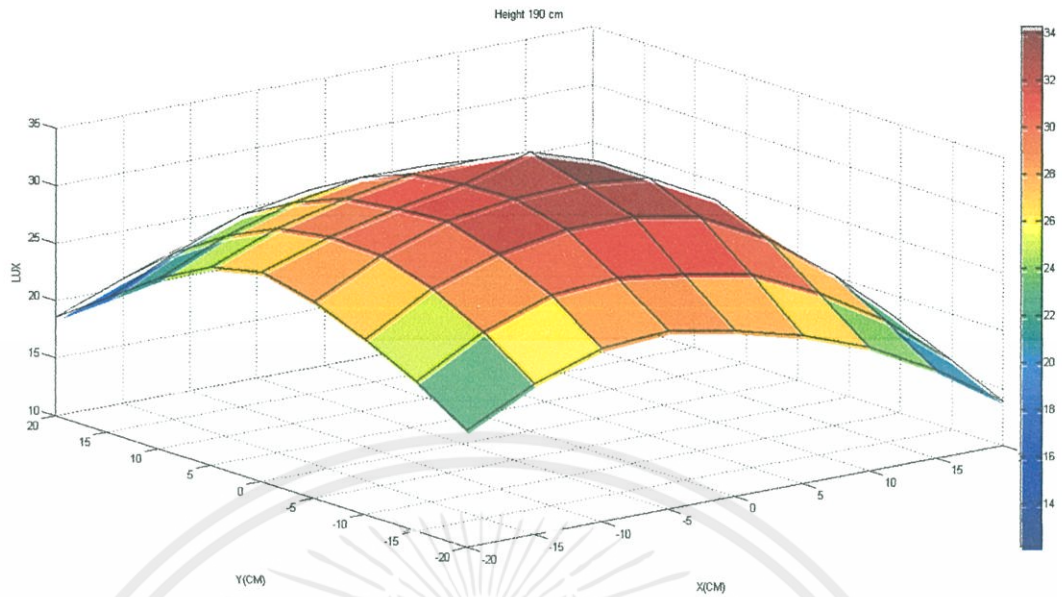
ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	7246	-	-		
1	0	11.30993	7180	1	1	15.79317	7710
-1	0	-11.30993	6550	1	-1	15.79317	6140
0	1	11.30993	7000	-1	1	-15.79317	3340
0	-1	11.30993	5640	-1	-1	-15.79317	5330



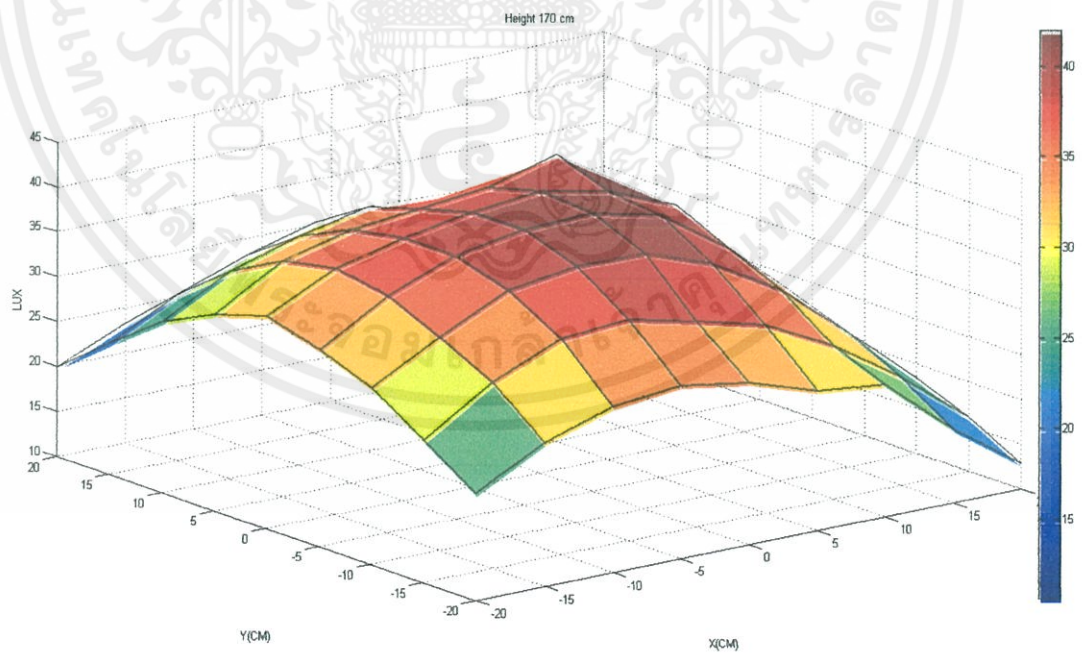
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ที่นำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทันทีที่ทราบไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากสี่เหลี่ยม

(Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 210 cm.



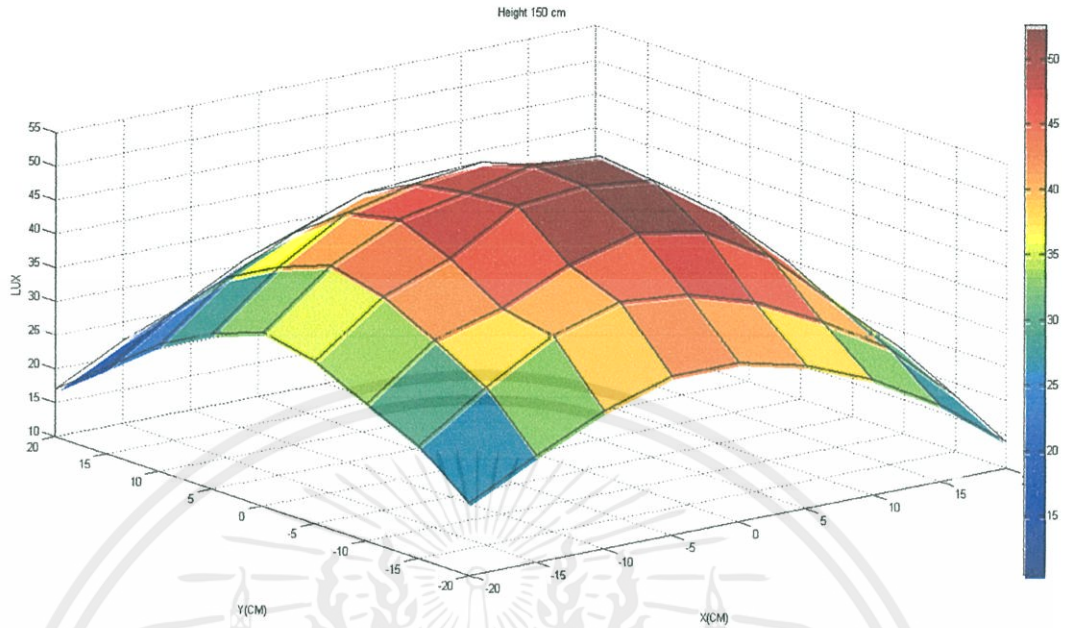
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 190 cm.



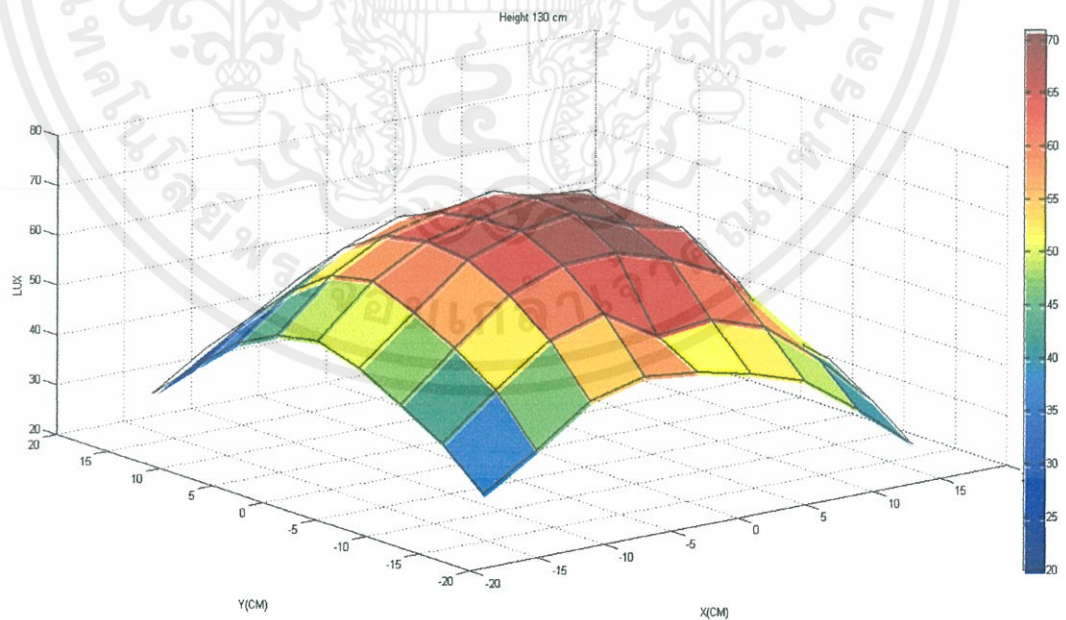
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าทั้งห้ามีให้คำปรึกษาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ

(Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 170 cm.

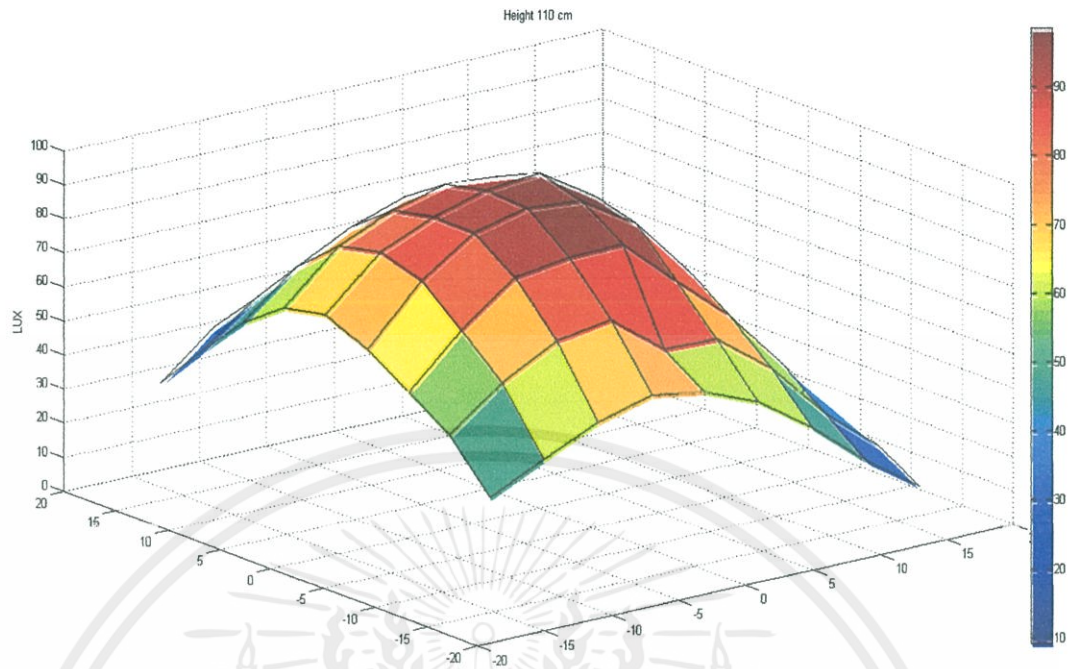


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 150 cm.

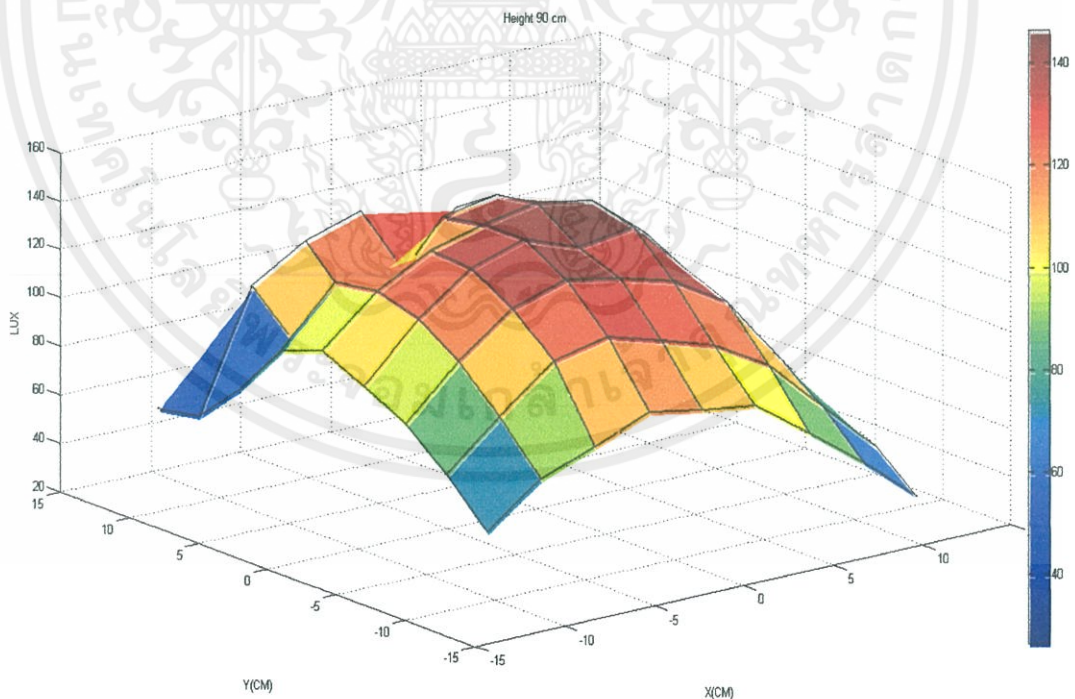


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้จัดทำมีให้คำปรึกษาฟรี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 130 cm.

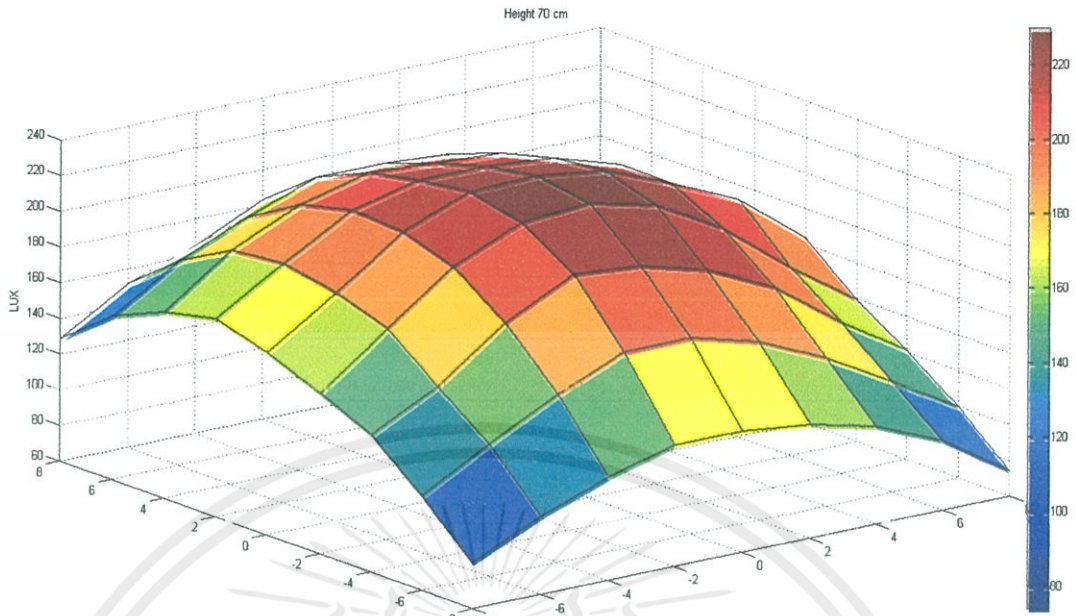


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจระภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 110 cm.

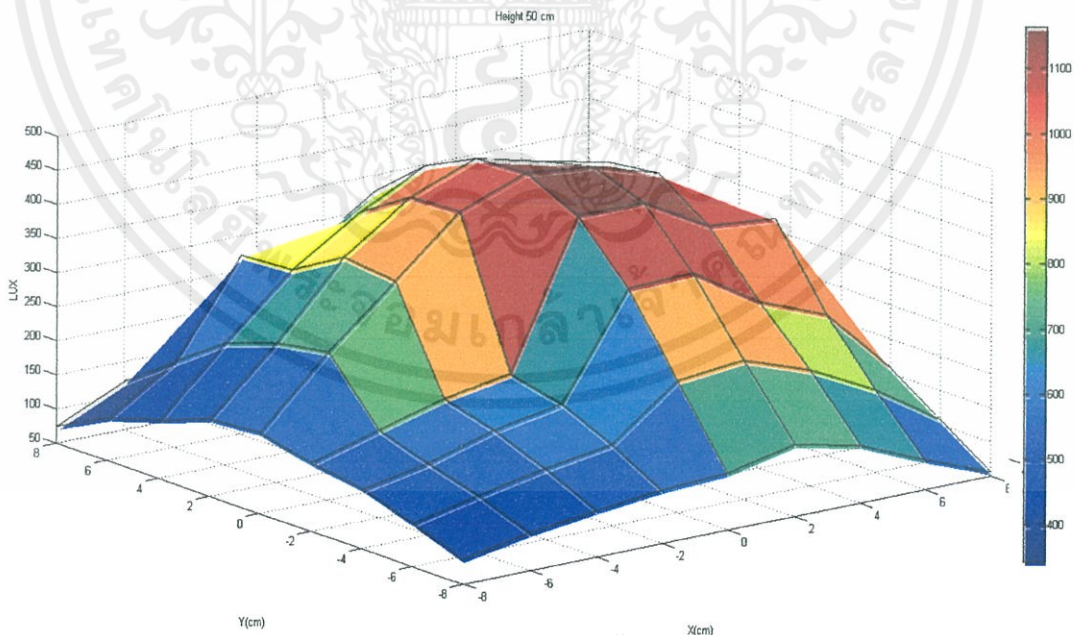


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจระภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 90 cm.

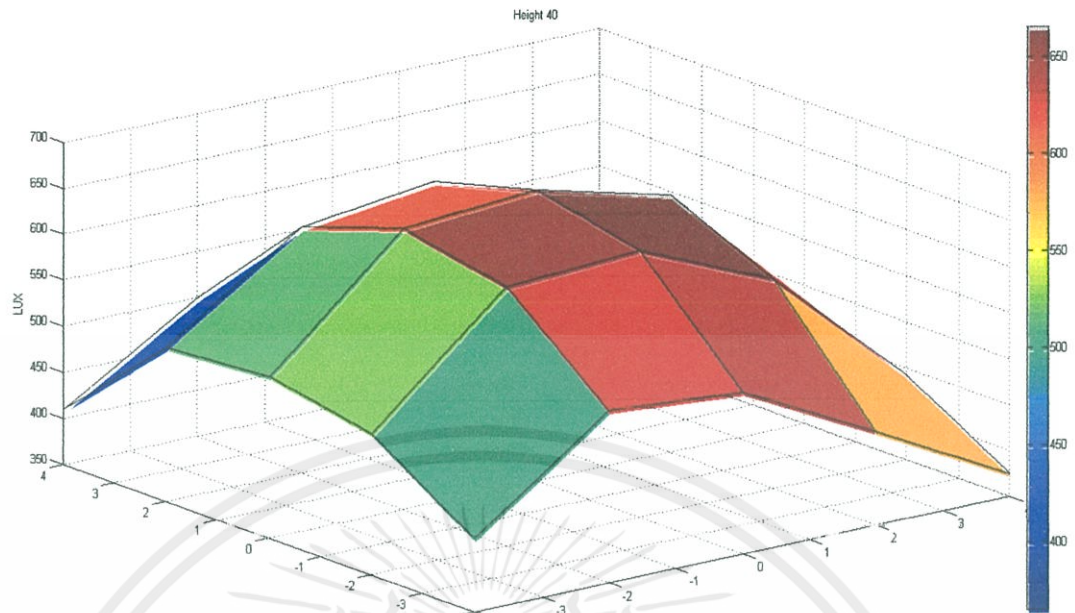


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง70 cm.

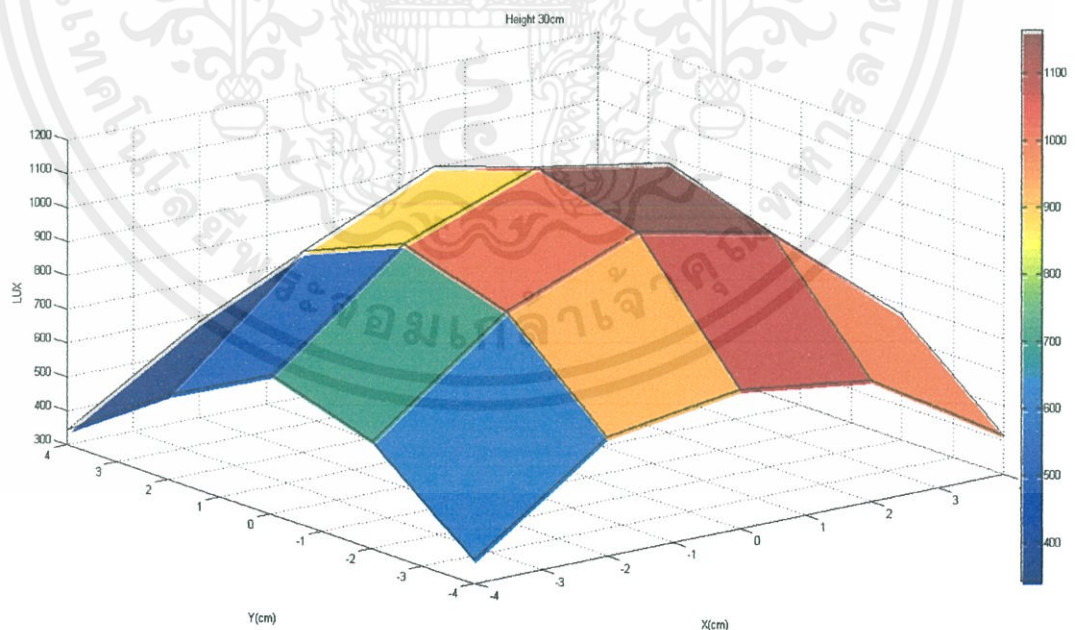


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคุณนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 50 cm.



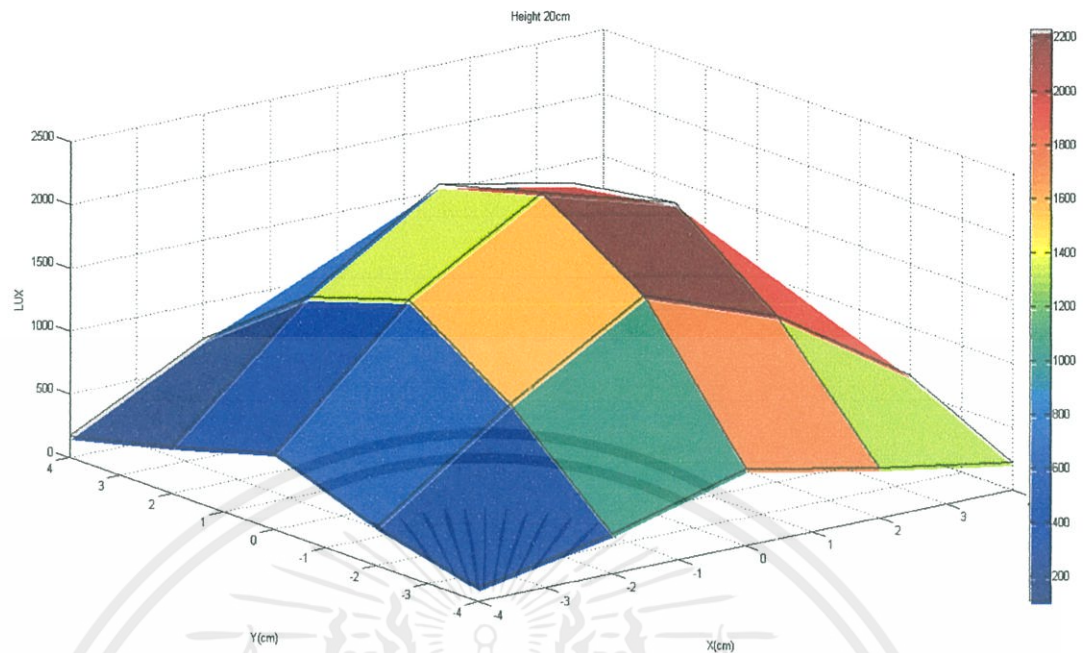
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าค่า ความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากสี่สัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 40 cm.



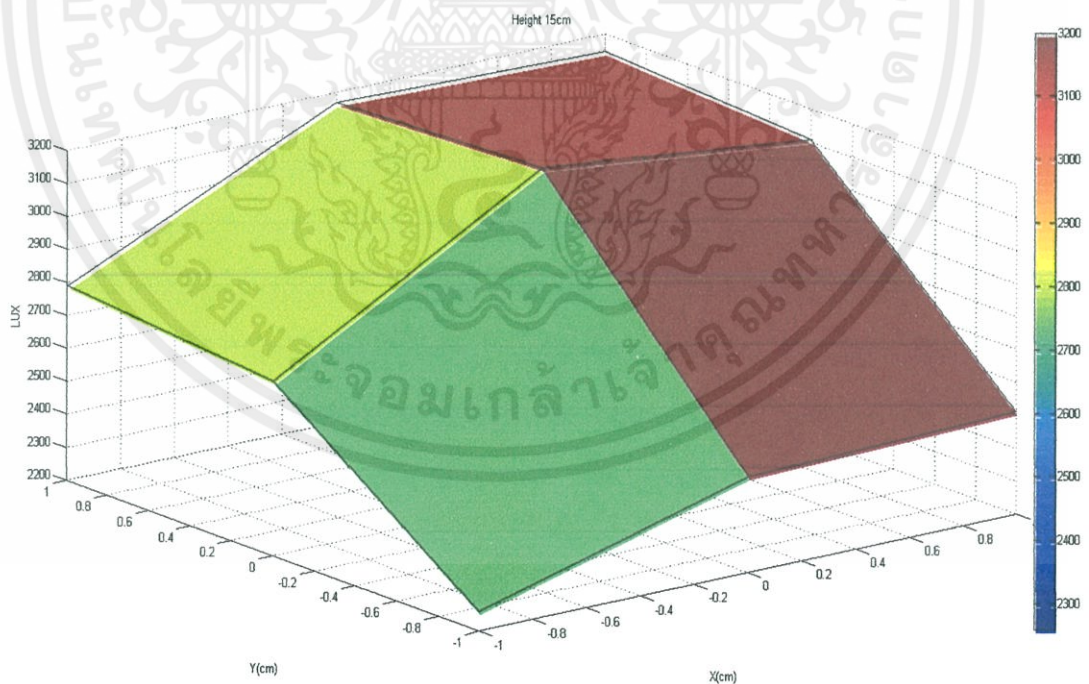
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่าค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากสี่สัญญาณ

(Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 30 cm.

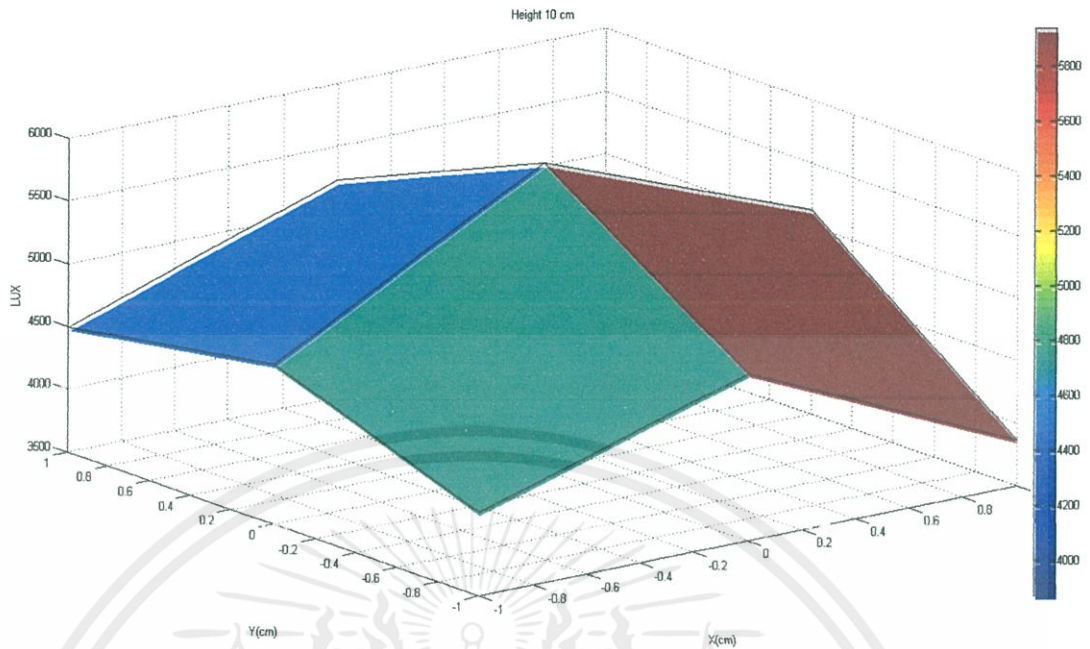


รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรักษาสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 20 cm.

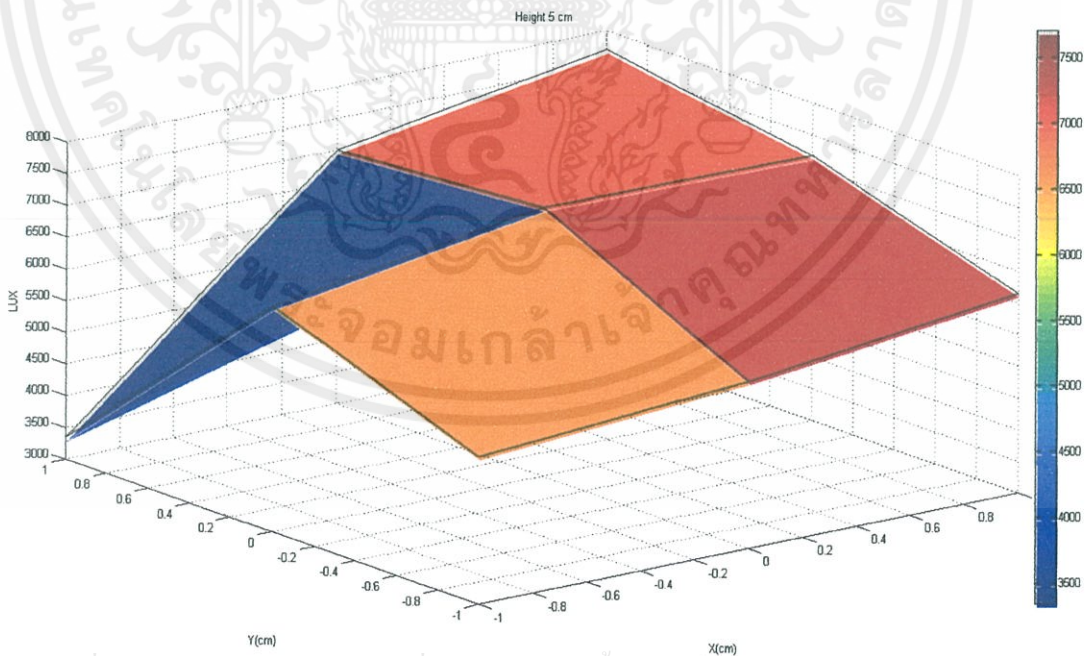


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรักษาสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 15 cm.

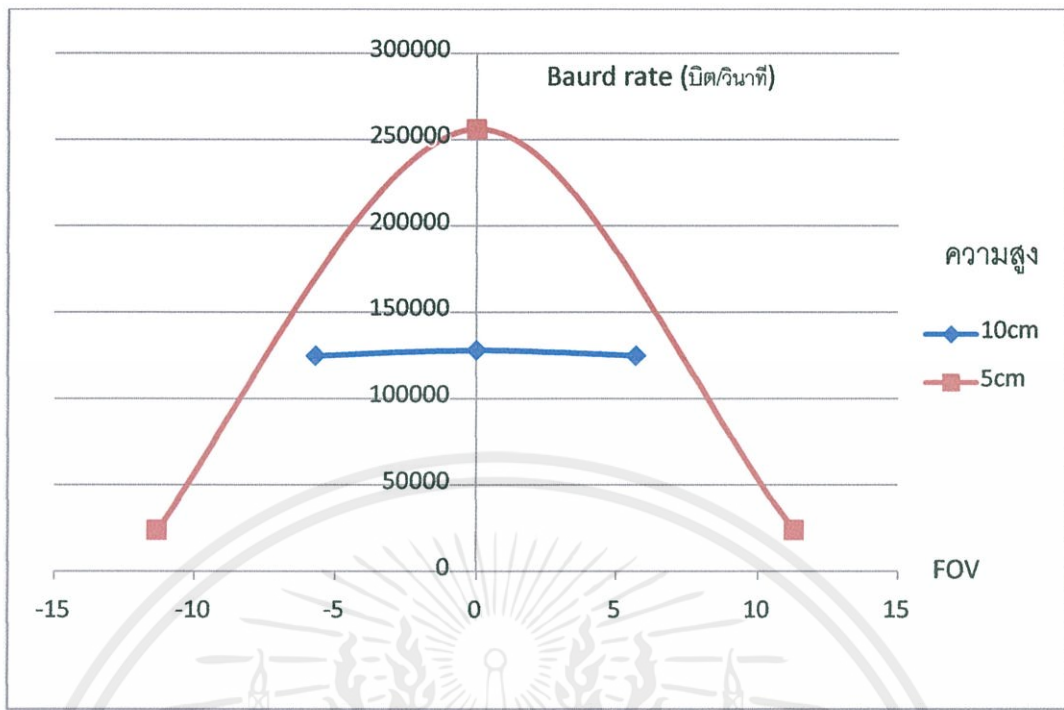


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรถักส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 10 cm.

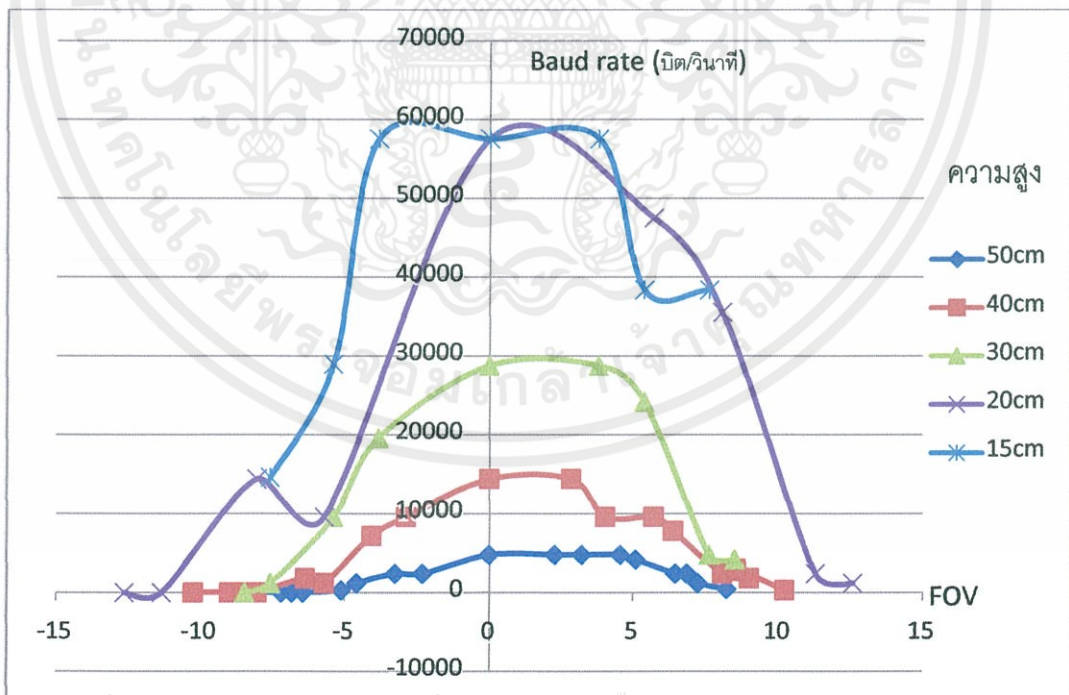


รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรถักส่งสัญญาณ (IlluminationTransmission)กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

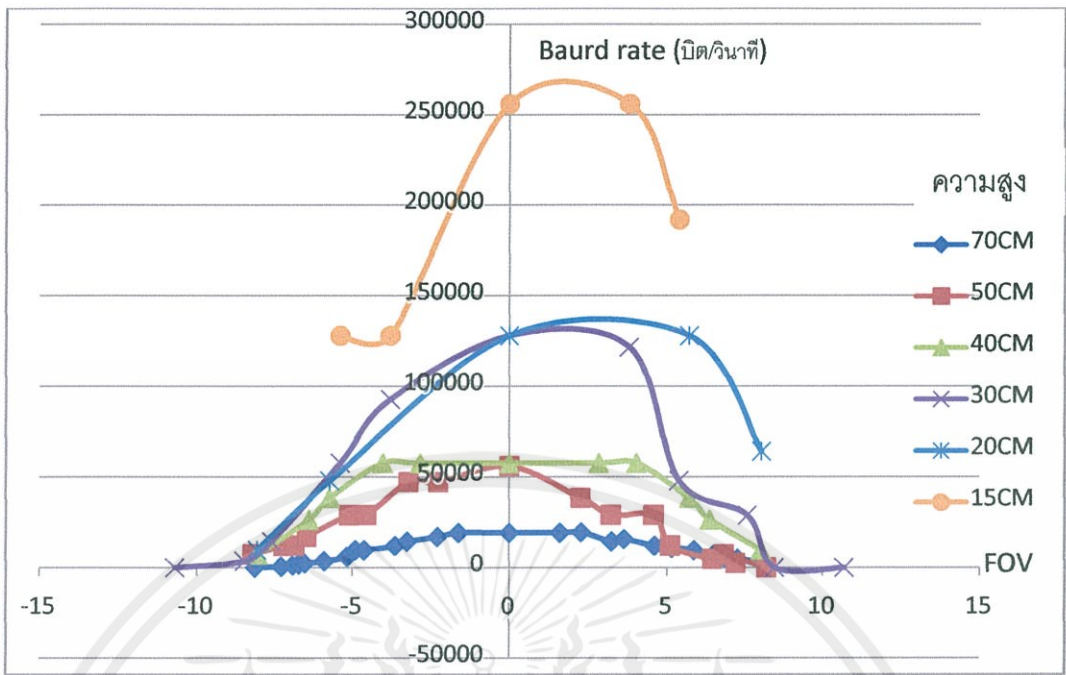


รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Data rate ที่ระยะความสูง 5,10 cm. ของ Photodiode ชนิด VBPW24R

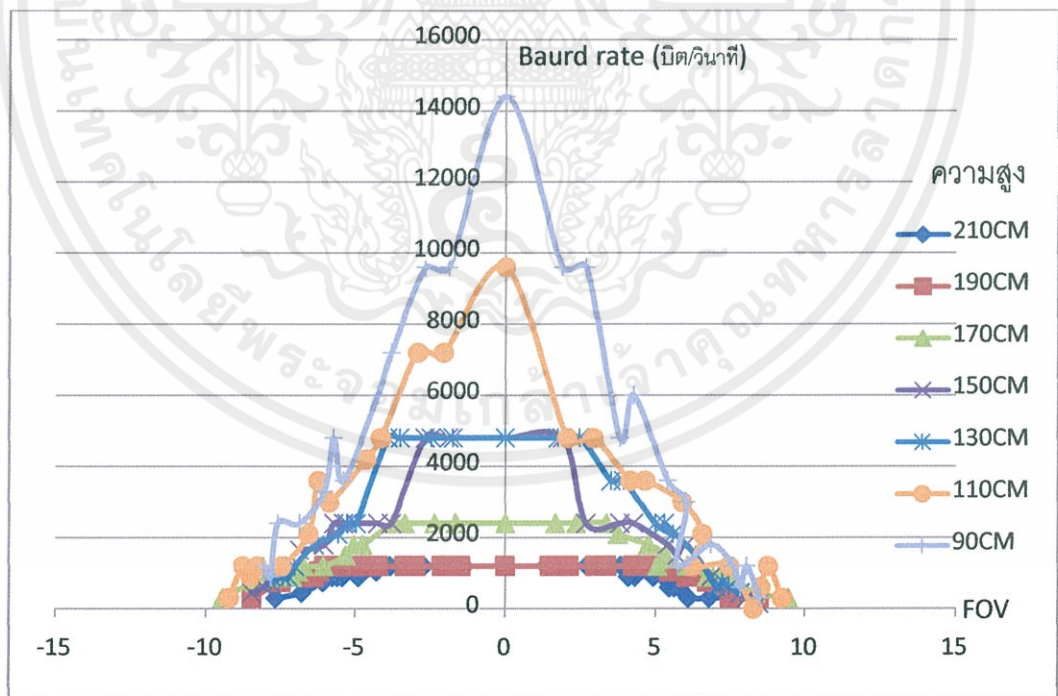


รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Data rate ที่ระยะความสูง

15,20,30,40,50 cm. ของ photodiode ชนิด VBPW24R

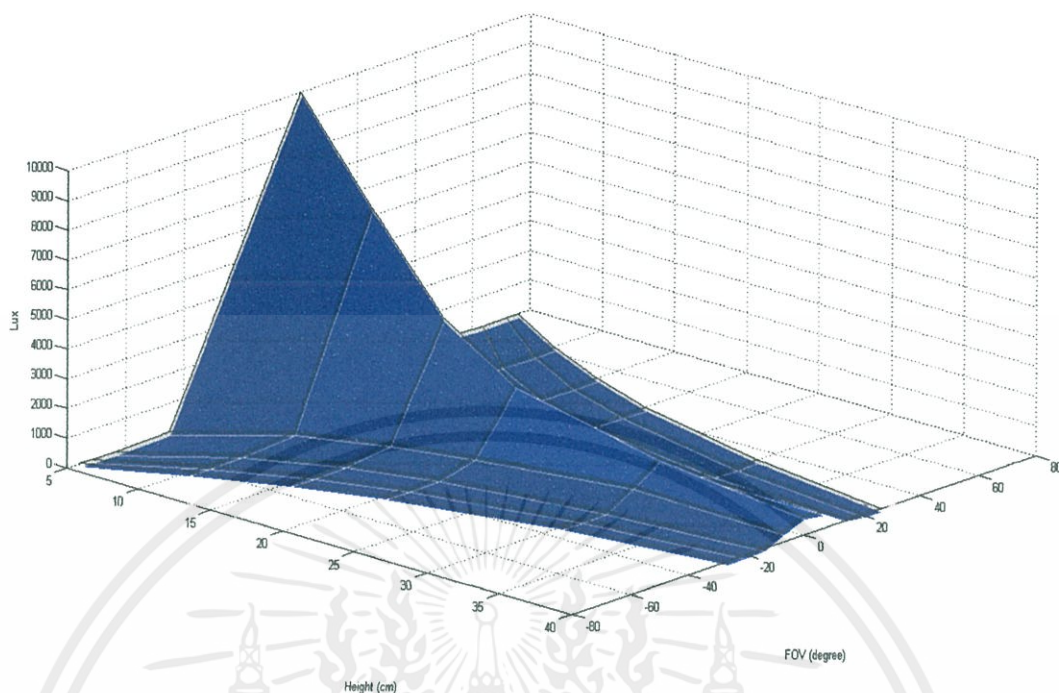


รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Data rate ที่ระยะความสูง 15,20,30,40,50,70 cm. ของ FDS10X10 Photo diode

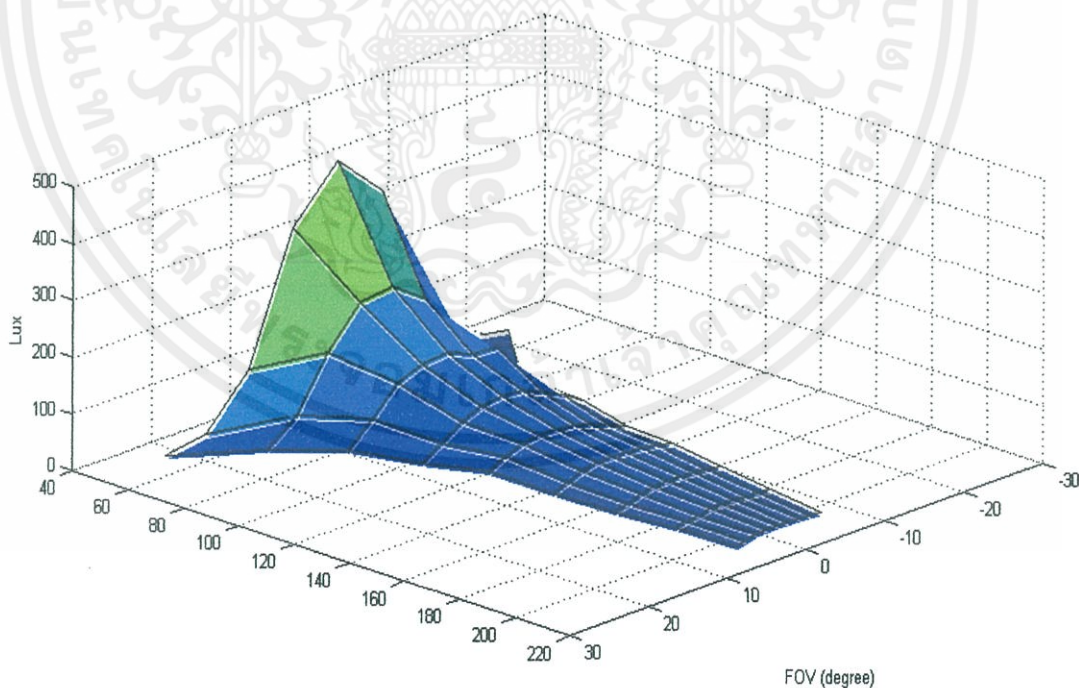


รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Data rate ที่ระยะความสูง 90,110,130,150,170,190,210 cm. ของ Photodiode ชนิด FDS10X10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างความสูง และ มุม field of view (FOV) ที่ระยะ ความสูง 5-40 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างความสูง และ มุม field of view (FOV) ที่ระยะ

ความสูง 50 -210 cm.

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการออกแบบประกอบวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณ และทำการทดสอบความสามารถในด้านการส่องสว่างและทางด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลของโมเดลต้นแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำให้ทราบถึงปัญหา และอุปสรรคในการดำเนินงาน โดยมีการสรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1.สรุปผลการดำเนินงาน

5.2.ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ

จากผลการทดลองและเปรียบเทียบค่า Baud rate ของตัวรับแสงทั้งสองชนิด ที่ระดับความสูงที่ต่างกัน ทำให้สรุปได้ว่า Photodiode ชนิด FDS10x10 มีความสามารถในการรับข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ได้เร็วกว่า Photodiode ชนิด VBPW24R เนื่องจาก Photodiode ชนิด FDS10x10 มีพื้นที่การรับแสงที่เยอะกว่าชนิด VBPW24R และมีความไวในการรับแสงสูงกว่าชนิด VBPW24R และสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) แปรผกผัน กับความสูงระหว่างตัวรับและตัวส่งข้อมูล และแปรผกผันกับมุม field of view อีกด้วย

5.1.2 ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ (VLC)

จากการทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาครับสัญญาณและส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ โดย Lux meter วัดค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) ที่ตำแหน่ง (X,Y) ต่างๆพบว่าเมื่อวางวงจรถูกส่งสัญญาณแสงให้อยู่ในตำแหน่งที่สูงมากขึ้น ค่าความสว่างที่ Lux meter วัดได้จะมีค่าความสว่างน้อยลง และเมื่อเลื่อน Lux meter ขยับไปทางด้านข้าง โดยทำมุม field of view ต่างๆกับวงจรภาคส่งสัญญาณ ก็ส่งผลให้ค่าความสว่างที่ Lux meter วัดได้ มีค่าน้อยลงด้วยเช่นกัน ทำให้สรุปได้ว่า ความส่องสว่างของตัวส่งสัญญาณแสง แปรผกผันกับระยะความสูง โดยการตรวจสอบ Baud Rate ที่ระยะความสูงต่างๆว่ามีความสามารถในการรับข้อมูล (Data Rate) สามารถคำนวณได้ดังนี้

ยกตัวอย่างจากตารางที่ 4.7 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 5 cm., $R=12\text{ k}\Omega$

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	256000	-	-
11.3099	28800	-11.3099	19200
15.7932	0	-15.7932	0

วิธีการคำนวณที่มุม(Field of view) 0 องศา

จาก Baud rate 10 bit = มี Data rate = 8 bit

Baud rate 256000 bit = มี Data rates (256000 x 8)/10 bit

Baud rate 256000 bit = มี Data rates 204800 bit

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. วงจรรับส่งสัญญาณทางแสงที่สร้างขึ้นในโครงงานนี้เป็นเพียงวงจรต้นแบบ ควรจะเพิ่มเติมส่วนของวงจร Modulation และ วงจรกรองสัญญาณทางแสง เข้าไปด้วย เพื่อให้สัญญาณแสงที่ส่งออกไปเดินทางไปได้ไกลมากขึ้นและมีคุณภาพมากขึ้น
2. ควรเพิ่มคำสั่งในการตรวจสอบความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลใน โปรแกรม Terminal v1.9b
3. ควรเครื่องมือการวัดที่ได้มาตรฐาน เพื่อลดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง. เรียนรู้ไฟฟ้าสื่อสาร.กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนสมาร์ตเลิร์นนิ่ง, 2551.
ภัทรสินี ภัทร โกศล. เครือข่ายคอมพิวเตอร์.กรุงเทพมหานคร:พิมพ์ครั้งที่1สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2555.

รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์.พื้นฐานการสื่อสาร.วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรม
ราชูปถัมภ์ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

วัฒนา ถาวร. การส่องสว่าง.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).กรุงเทพมหานคร: บริษัท ดวง
กมลสมัย จำกัด,2540

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. เครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม).
กรุงเทพมหานคร:ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552.

[Online]<http://teacher.aru.ac.th>

[Online]<http://thaitelecomkm.org>

[Online]<http://www.physics.kmitl.ac.th>

[Online]<http://www.thaimicrotron.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

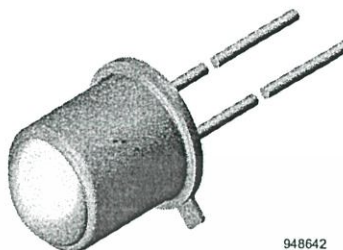
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Silicon PIN Photodiode

Description

BPW24R is a high sensitive silicon planar photodiode in a standard TO-18 hermetically sealed metal case with a glass lens.

A precise alignment of the chip gives a good coincidence of mechanical and optical axes. The device features a low capacitance and high speed even at low supply voltages.



948642

Features

- Hermetically sealed TO-18 case
- Exact central chip alignment
- Cathode connected to case
- Angle of half sensitivity $\varphi = \pm 12^\circ$
- Extra fast response times at low operating voltages
- High photo sensitivity
- Radiant sensitive area $A = 0.78 \text{ mm}^2$
- Suitable for visible and near infrared radiation
- For photodiode and photovoltaic cell operation
- Lead-free component
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

Applications

High speed photo detector

Absolute Maximum Ratings

$T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage		V_R	60	V
Power Dissipation	$T_{\text{amb}} \leq 25^\circ\text{C}$	P_V	210	mW
Junction Temperature		T_j	125	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range		T_{amb}	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t \leq 5 \text{ s}$	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/Ambient		R_{thJA}	350	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Electrical Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Breakdown Voltage	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}$, $E = 0$	$V_{(BR)}$	60	200		V
Reverse Dark Current	$V_R = 50\text{ V}$, $E = 0$	I_{ro}		2	10	nA
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$	C_D		11		pF
	$V_R = 5\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$	C_D		3.8		pF
	$V_R = 20\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$	C_D		2.5		pF

Optical Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Open Circuit Voltage	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	V_o		450		mV
Temp. Coefficient of V_o	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	TK_{V_o}		-2		mV/K
Short Circuit Current	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	I_k		55		μA
Temp. Coefficient of I_k	$E_A = 1\text{ klx}$	TK_{I_k}		0.1		%/K
Reverse Light Current	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$, $V_R = 20\text{ V}$	I_{ra}	45	60		μA
Absolute Spectral Sensitivity	$V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 870\text{ nm}$	$s(\lambda)$		0.60		A/W
	$V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 900\text{ nm}$	$s(\lambda)$		0.55		A/W
Angle of Half Sensitivity		φ		± 12		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ_p		900		nm
Range of Spectral Bandwidth		$\lambda_{0.5}$		600 to 1050		nm
Rise Time	$V_R = 20\text{ V}$, $R_L = 50\text{ }\Omega$, $\lambda = 820\text{ nm}$	t_r		7		ns
Fall Time	$V_R = 20\text{ V}$, $R_L = 50\text{ }\Omega$, $\lambda = 820\text{ nm}$	t_f		7		ns

Typical Characteristics ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

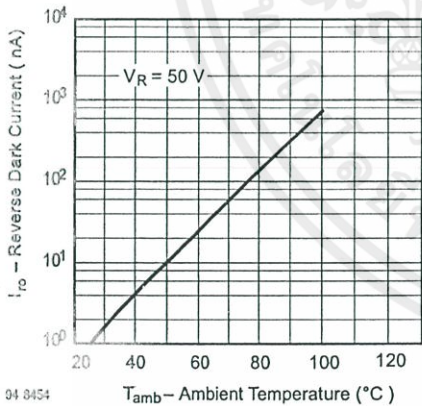


Figure 1. Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature

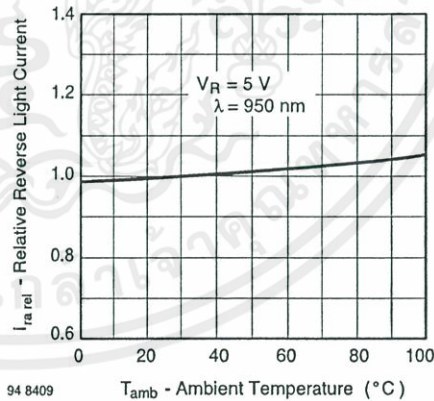
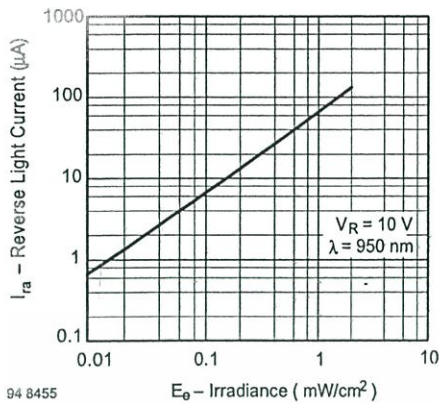


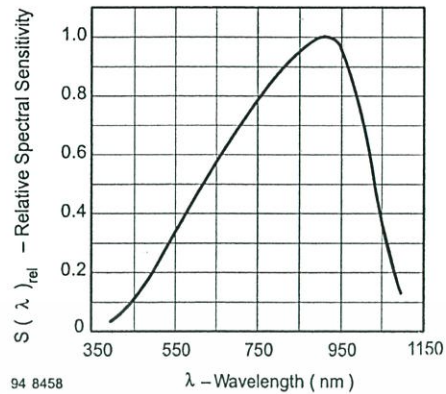
Figure 2. Relative Reverse Light Current vs. Ambient Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



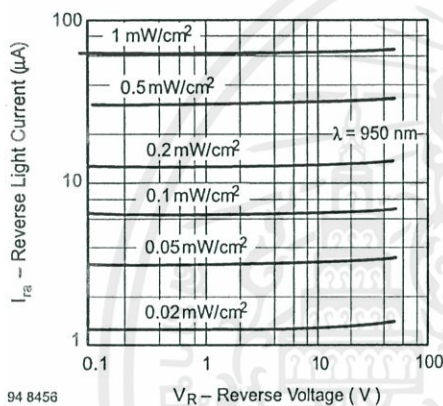
94 8455

Figure 3. Reverse Light Current vs. Irradiance



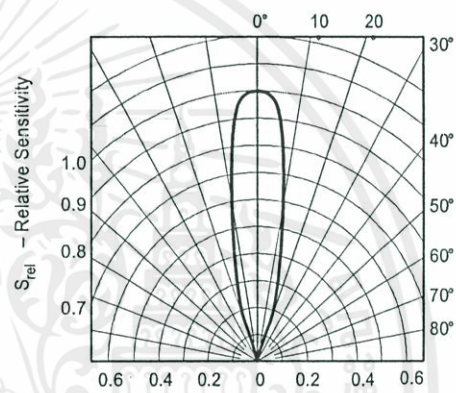
94 8458

Figure 6. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength



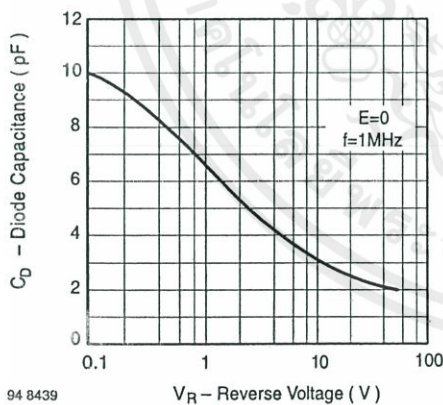
94 8456

Figure 4. Reverse Light Current vs. Reverse Voltage



94 8459

Figure 7. Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

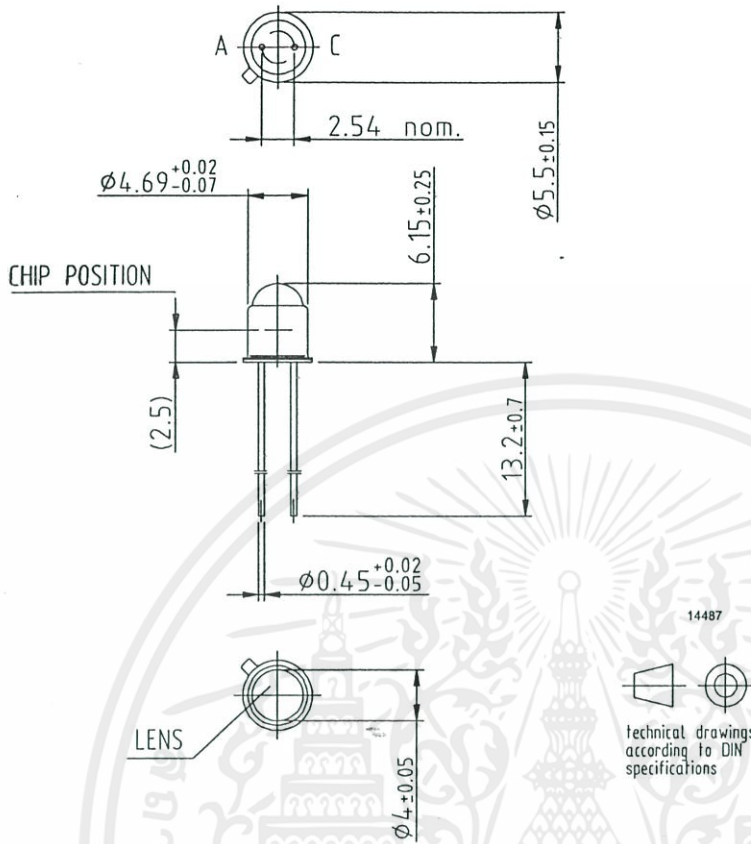


94 8439

Figure 5. Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Package Dimensions in mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of Vishay Semiconductor GmbH to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODSs).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

Vishay Semiconductor GmbH has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

Vishay Semiconductor GmbH can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice.

Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay Semiconductors products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay Semiconductors against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423

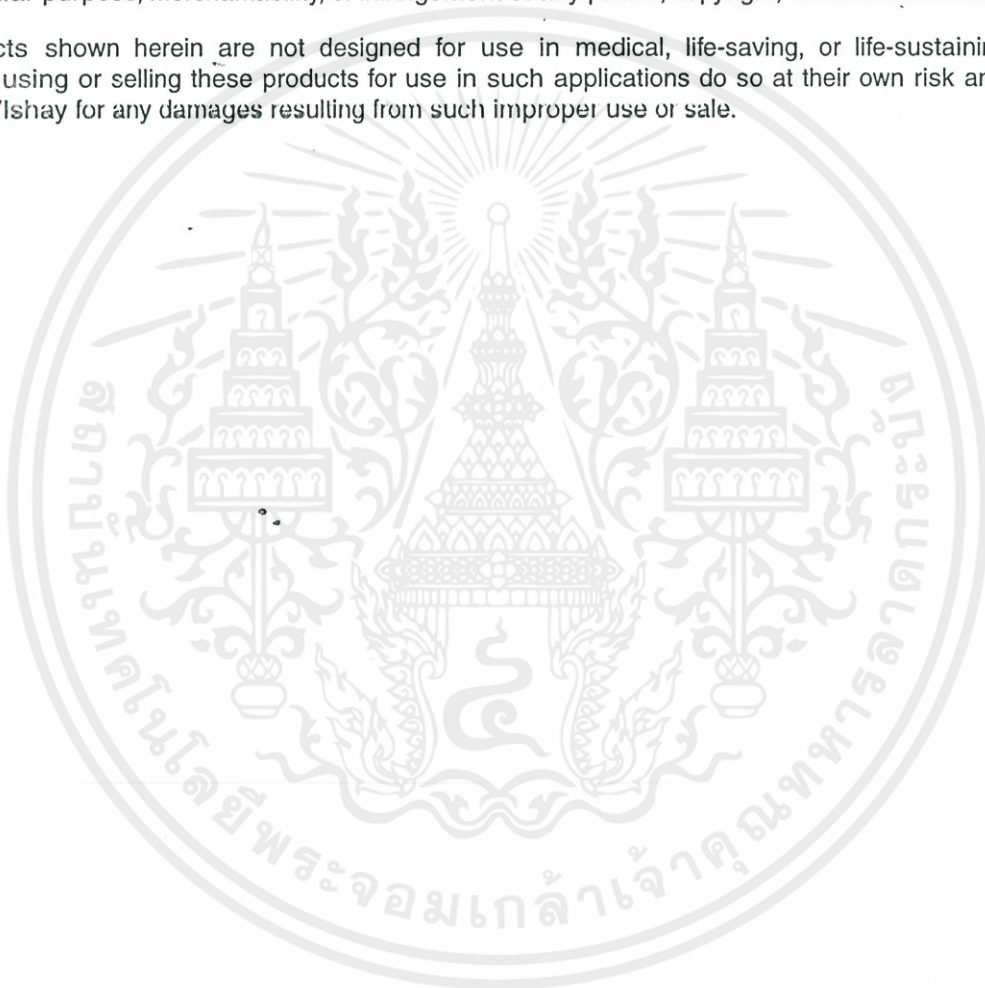


Notice

Specifications of the products displayed herein are subject to change without notice. Vishay Intertechnology, Inc., or anyone on its behalf, assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies.

Information contained herein is intended to provide a product description only. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document. Except as provided in Vishay's terms and conditions of sale for such products, Vishay assumes no liability whatsoever, and disclaims any express or implied warranty, relating to sale and/or use of Vishay products including liability or warranties relating to fitness for a particular purpose, merchantability, or infringement of any patent, copyright, or other intellectual property right.

The products shown herein are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications. Customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Vishay for any damages resulting from such improper use or sale.

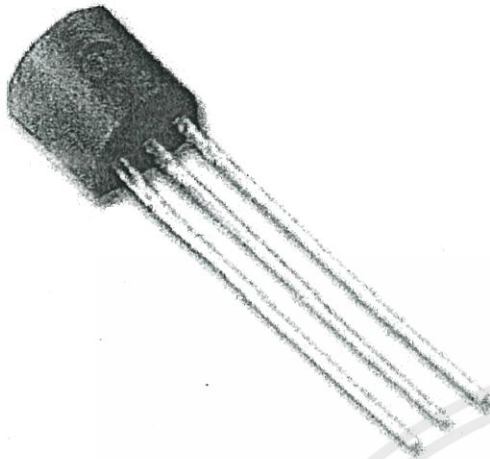


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

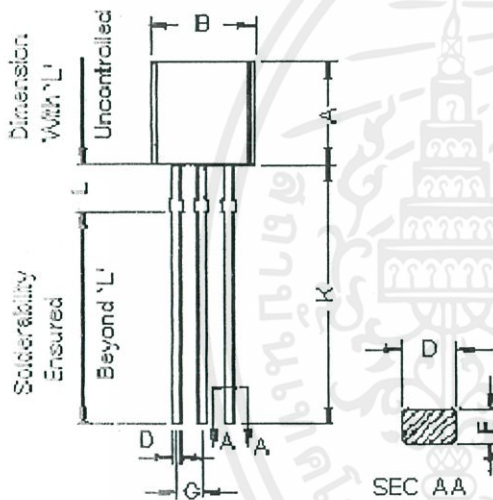
Low Power Bipolar Transistors

Features:

- NPN Silicon Planar Epitaxial Transistors.
- General Purpose Switching Applications.

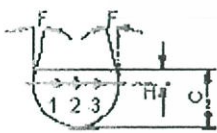


TO-92 Plastic Package



Dimensions	Minimum	Maximum
A	4.32	5.33
B	4.45	5.20
C	3.18	4.19
D	0.41	0.55
E	0.35	0.50
F	5°	
G	1.14	1.40
H		1.53
K	12.70	-
L	1.982	2.082

Dimensions : Millimetres



Pin Configuration:

1. Emitter
2. Base
3. Collector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Low Power Bipolar Transistors

Absolute Maximum Ratings

Rating	Symbol	2N4401	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	40	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	6	
Collector Current Continuous	I_C	600	mA
Power Dissipation at $T_a = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625	mW
Power Dissipation at $T_c = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C		5.0	mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_j, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance			
Junction to Case	$R_{th(j-c)}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$
Junction to Ambient	$R_{th(j-a)}$	200	

Electrical Characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	2N4401	Unit
Collector Emitter Voltage $I_C = 1\text{mA}, I_B = 0$	BV_{CEO}^*	>40	V
Collector Base Voltage $I_C = 100\mu\text{A}, I_E = 0$	BV_{CBO}	>60	
Emitter Base Voltage $I_E = 100\mu\text{A}, I_C = 0$	BV_{EBO}	>6	
Base Cut off Current $V_{CE} = 35\text{V}, V_{EB} = 0.4\text{V}$	I_{BEV}	<0.1	μA
Collector Cut off Current $V_{CE} = 35\text{V}, V_{EB} = 0.4\text{V}$	I_{CEX}		
Collector Emitter Saturation Voltage $I_C = 150\text{mA}, I_B = 15\text{mA}$ $I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$	$V_{CE(Sat)}^*$	<0.4 <0.75	V
Base Emitter Saturation Voltage $I_C = 150\text{mA}, I_B = 15\text{mA}$ $I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$	$V_{BE(Sat)}^*$	0.75 - 0.95 <1.2	

*Pulse Test : Pulse Width: $\leq 300\mu\text{s}$, Duty $\leq 2.0\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Low Power Bipolar Transistors

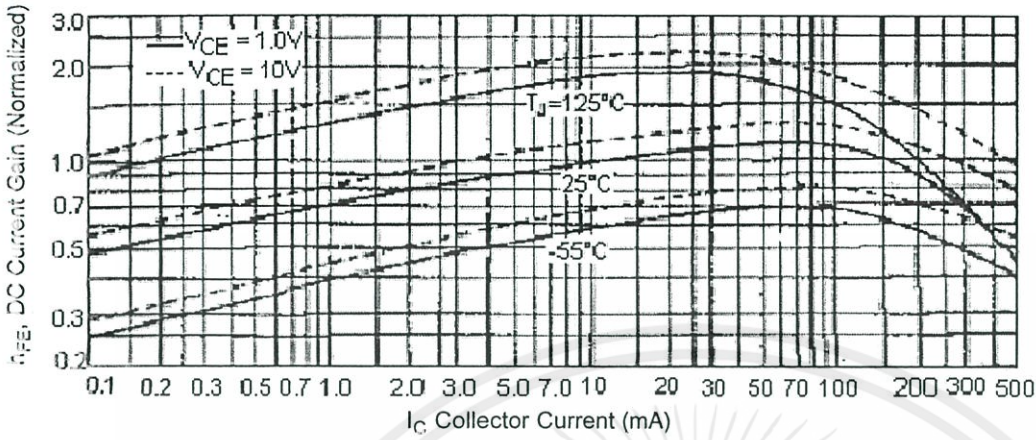
Electrical Characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	2N4401	Unit
DC Current Gain $I_C = 0.1\text{mA}, V_{CE} = 1\text{V}$ $I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 1\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 1\text{V}$ $I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 1\text{V}^*$ $I_C = 500\text{mA}, V_{CE} = 2\text{V}^*$	h_{FE}	>20 >40 >80 100 - 300 >40	-
Dynamic Characteristics			
Small Signal Current Gain $I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{KHz}$	h_{fe}	40 - 500	-
Input Impedance $I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{KHz}$	h_{ie}	1.0 - 15	k Ω
Voltage Feedback Ratio $I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{KHz}$	h_{re}	0.1 - 8.0	$\times 10^{-4}$
Output Impedance $I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{KHz}$	h_{oe}	1.0 - 30	$\mu\Omega$
Collector-Base Capacitance $V_{CB} = 5\text{V}, I_E = 0, f = 100\text{KHz}$ $V_{CB} = 10\text{V}, I_E = 0, f = 140\text{KHz}$	C_{cb}	<6.5 -	pF
Emitter-Base Capacitance $V_{EB} = 0.5\text{V}, I_C = 0, f = 100\text{KHz}$	C_{eb}	<30	
Transition Frequency $I_C = 20\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 100\text{MHz}$	f_T	>250	MHz
Switching Characteristics			
$V_{CC} = 30\text{V}, V_{EB} = 2\text{V}$ $I_C = 150\text{mA}, I_{B1} = 15\text{mA}$			
Delay Time	t_d	<15	ns
Rise Time	t_r	<20	
$V_{CC} = 30\text{V}, I_C = 150\text{mA}$ $I_{B1} = I_{B2} = 15\text{mA}$			
Storage time	t_s	<225	ns
Fall Time	t_f	<30	

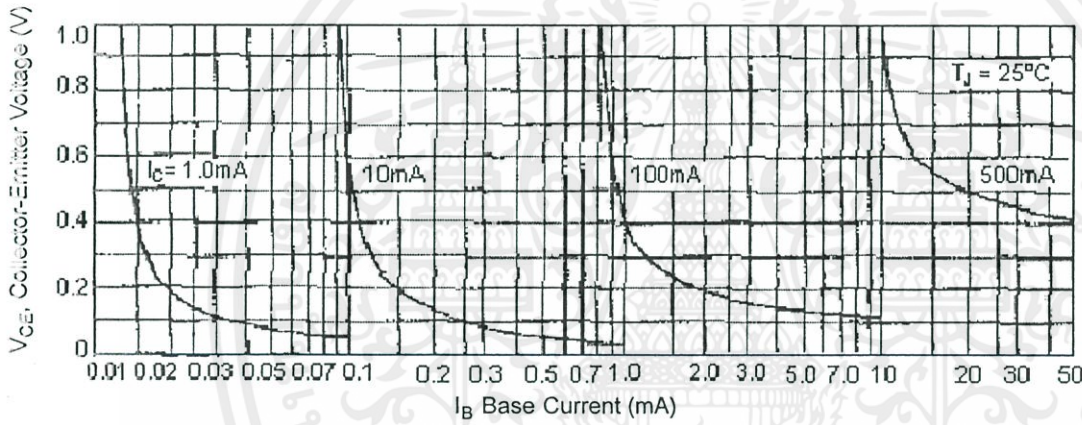
*Pulse Test : Pulse Width: $\leq 300\mu\text{s}$, Duty $\leq 2.0\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

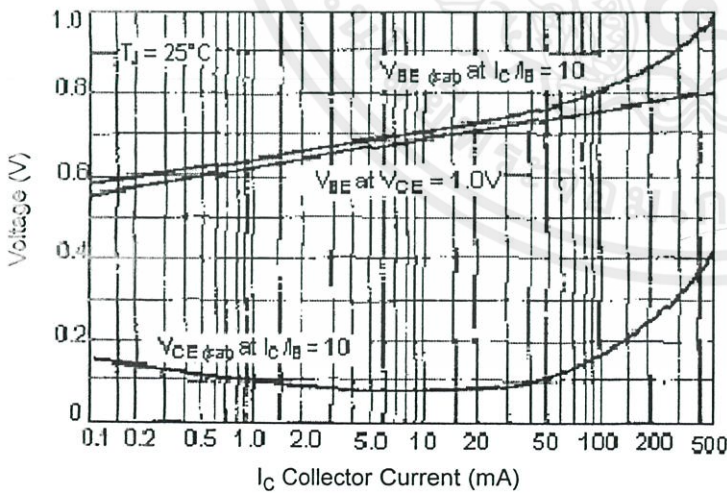
DC Current Gain



DC Current Gain

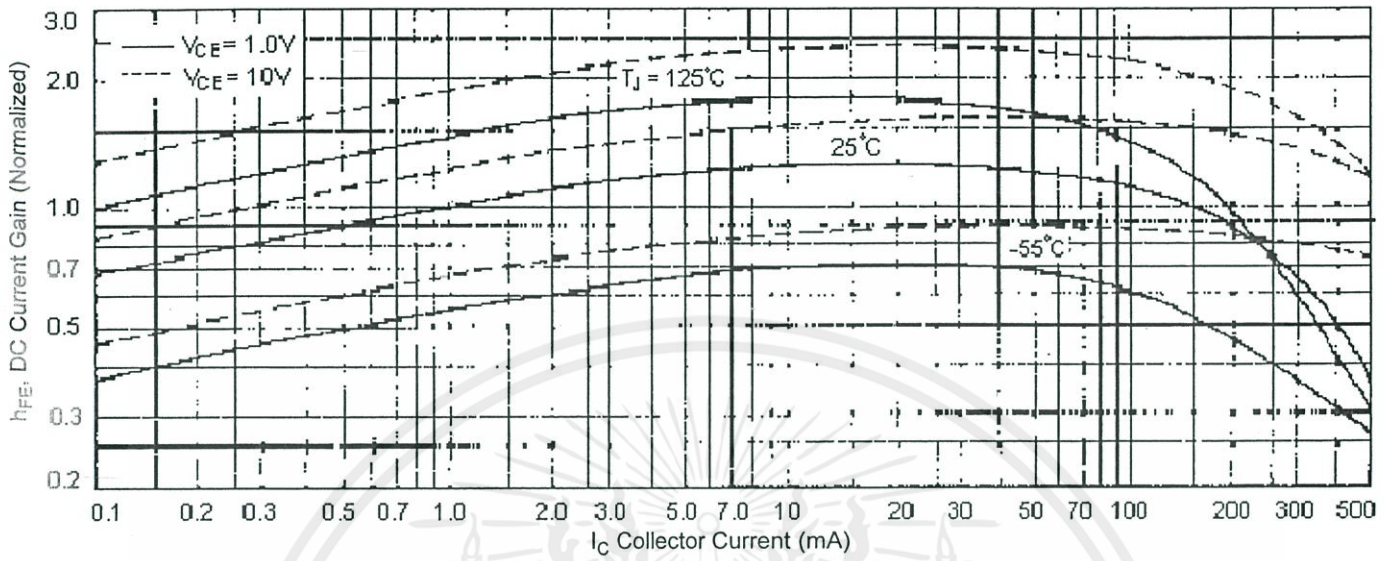


On Voltages

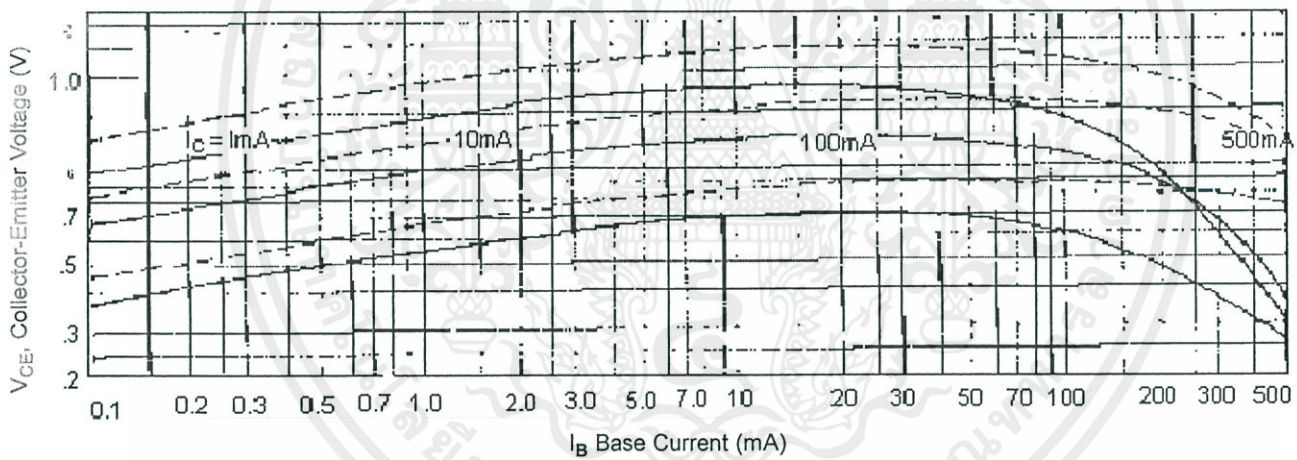


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

DC Current Gain

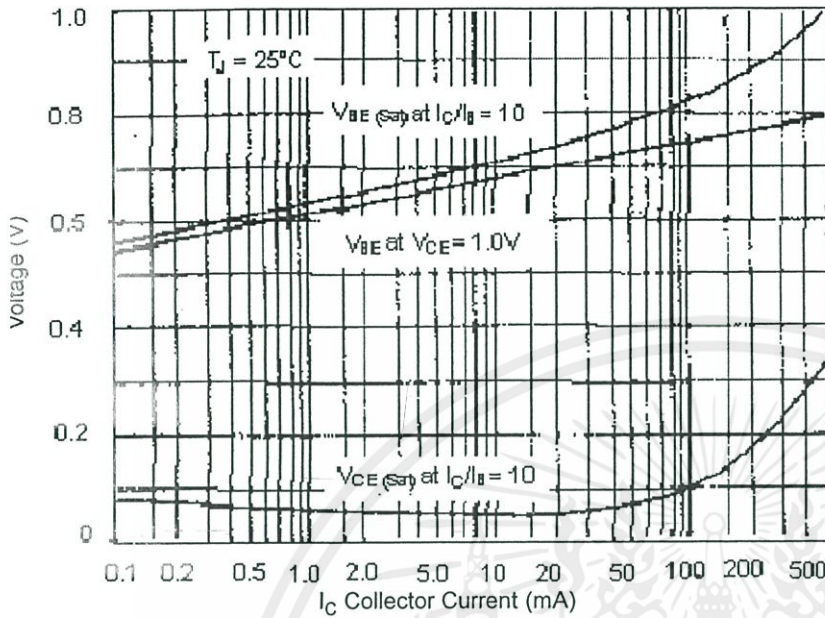


Collector Saturation Region



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

On Voltages



Part Number Table
































Package	Part Number
TO-92	2N4401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Low Power Bipolar Transistors

Notes:

International Sales Offices:

 AUSTRALIA - Farnell Tel No: ++61 1300 361 005 Fax No: ++61 1300 361 225	 FINLAND - Farnell Tel No: ++ 358 9 560 7780 Fax No: ++ 358 9 345 5411	 ITALY - Farnell Tel No: ++ 39 02 93 995 200 Fax No: ++ 39 02 93 995 300	 SPAIN - Farnell Tel No: 901 20 20 80 Fax No: 901 20 20 90
 AUSTRIA - Farnell Tel No: ++ 43 662 2180 680 Fax No: ++ 43 662 2180 670	 FRANCE - Farnell Tel No: ++ 33 474 68 99 99 Fax No: ++ 33 474 68 99 90	 MALAYSIA - Farnell-Newark Tel No: ++ 60 3 7873 8000 Fax No: ++ 60 3 7873 7000	 SWEDEN - Farnell Tel No: ++ 46 8 730 50 00 Fax No: ++ 46 8 83 52 62
 BELGIUM - Farnell Tel No: ++ 32 3 475 2810 Fax No: ++ 32 3 227 3648	 GERMANY - Farnell Tel No: ++ 49 89 61 39 39 39 Fax No: ++ 49 89 613 59 01	 NETHERLANDS - Farnell Tel No: ++ 31 30 241 7373 Fax No: ++ 31 30 241 7333	 SWITZERLAND - Farnell Tel No: ++ 44 204 64 64 Fax No: ++ 44 204 64 54
 BRAZIL - Farnell-Newark Tel No: ++ 55 11 4066 9400 Fax No: ++ 55 11 4066 9410	 HONG KONG - Farnell-Newark Tel No: ++ 852 2268 9888 Fax No: ++ 852 2268 9899	 NEW ZEALAND - Farnell Tel No: 0800 90 80 80 Fax No: 0800 90 80 81	 UK - Farnell Tel No: ++ 44 8701 200 260 Fax No: ++ 44 8701 200 210
 CHINA - Farnell-Newark Tel No: ++86 10 6238 5152 Fax No: ++86 10 6238 5022	 HUNGARY - Farnell Tel No: ++ 44 870 1200 208 Fax No: ++ 44 870 1200 209	 NORWAY - Farnell Tel No: 800 146 70 Fax No: 800 146 76	 UK - CPC ++ 44 8701 202 530 ++ 44 8701 202 531
 CZECH REPUBLIC - Farnell Tel No: ++ 44 870 1200 208 Fax No: ++ 44 870 1200 209	 INDIA - Farnell Tel No: ++ 44 870 1200 208 Fax No: ++ 44 870 1200 209	 PORTUGAL - Farnell Tel No: ++ 34 93 475 8804 Fax No: ++ 34 93 474 5288	 USA - Newark Tel No: 800 463 9275
 DENMARK - Farnell Tel No: ++ 45 44 53 66 44 Fax No: ++ 45 44 53 66 06	 IRELAND - Farnell Tel No: ++ 353 1 830 9277 Fax No: ++ 353 1 830 9016	 RUSSIA - Farnell Tel No: ++ 44 870 1200 208 Fax No: ++ 44 870 1200 209	 EXPORT - Farnell Tel No: ++ 44 8701 200 208 Fax No: ++ 44 8701 200 209 For enquiries from all other markets
 ESTONIA - Farnell Tel No: ++ 358 9 560 7780 Fax No: ++ 358 9 345 5411	 ISRAEL - Farnell Tel No: ++ 180 937 0015 Fax No: ++ 180 937 0014	 SINGAPORE - Farnell-Newark Tel No: ++ 65 6788 0200 Fax No: ++ 65 6788 0300	http://www.farnell.com http://www.newark.com http://www.cpc.co.uk

Disclaimer This data sheet and its contents (the "Information") belong to the Premier Farnell Group (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on Information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. SPC Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2008.



**Future Technology Devices
International Ltd**

**UM232R USB - Serial UART
Development Module**

Datasheet

Document Reference No.: FT_000051

Version 1.1

Issue Date: 2011-11-25

Future Technology Devices International Ltd (FTDI)

Unit 1, 2 Seaward Place, Centurion Business Park, Glasgow, G41 1HH, United Kingdom

Tel: +44 (0) 141 429 2777, Fax: +44 (0) 141 429 2758

E-Mail (Support): support1@ftdichip.com Web: <http://www.ftdichip.com>

Neither the whole nor any part of the information contained in, or the product described in this manual, may be adapted or reproduced in any material or electronic form without the prior written consent of the copyright holder. This product and its documentation are supplied on an as-is basis and no warranty as to their suitability for any particular purpose is either made or implied. Future Technology Devices International Ltd will not accept any claim for damages howsoever arising as a result of use or failure of this product. Your statutory rights are not affected. This product or any variant of it is not intended for use in any medical appliance, device or system in which the failure of the product might reasonably be expected to result in personal injury. This document provides preliminary information that may be subject to change without notice. No freedom to use patents or other intellectual property rights is implied by the publication of this document. Future Technology Devices International Ltd, Unit 1, 2 Seaward Place, Centurion Business Park, Glasgow, G41 1HH, United Kingdom. Scotland Registered Number: SC136640

1. Introduction

The UM232R is a development module which uses FTDI's FT232RL, one of FTDI's range of USB to UART interface integrated circuit devices. The FT232RL is a USB to serial UART interface with optional clock generator output, and the FTDIChip-ID™ security dongle feature. In addition, asynchronous and synchronous bit bang interface modes are available. The FT232RL adds two new functions compared with its predecessors, effectively making it a "3-in-1" chip for some application areas. The internally generated clock (6MHz, 12MHz, 24MHz, and 48MHz) can be brought out of the device and used to drive a microcontroller or external logic. A unique number (the FTDIChip-ID™) is burnt into the device during manufacture and is readable over USB, thus forming the basis of a security dongle which can be used to protect customer application software from being copied. (Safe-Guard-IT). The UM232R is supplied on a PCB which is designed to plug into a standard 0.6" wide 24 pin DIP socket. All components used, including the FT232RL are Pb-free (RoHS compliant).

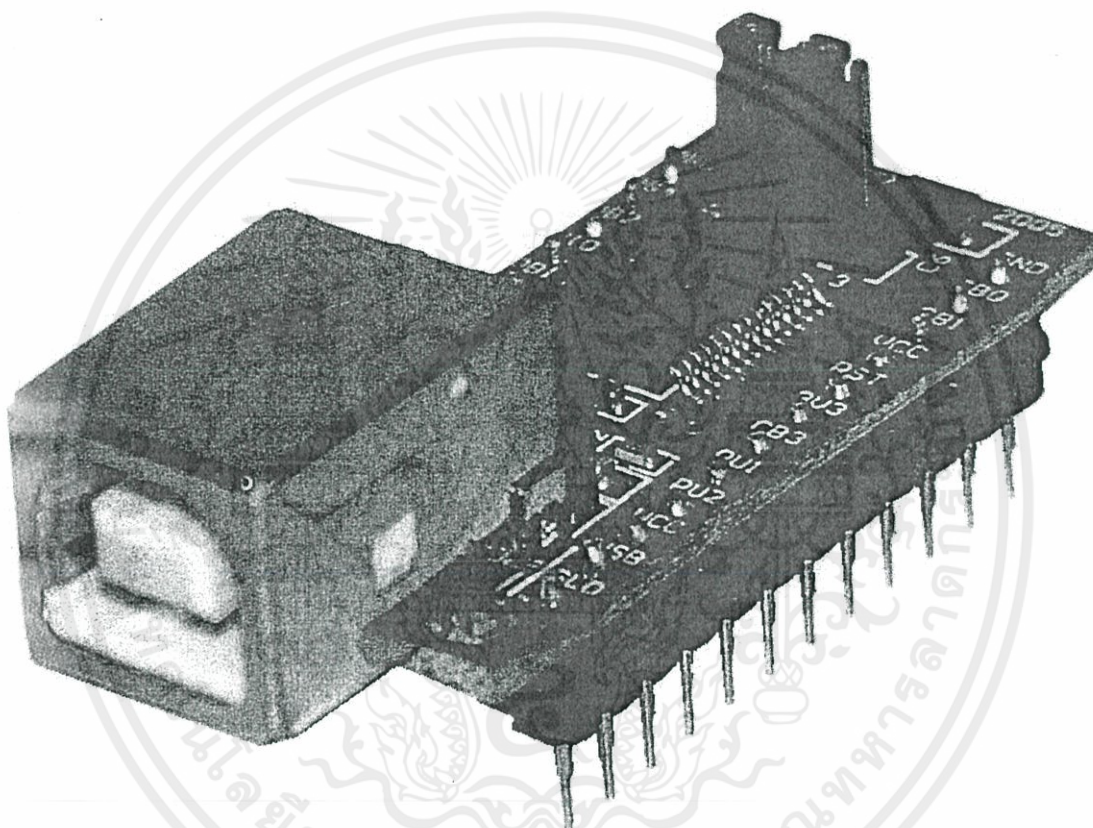


Figure 1.1 – UM232R USB Serial UART Development Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of Contents

1	Introduction	1
2	Typical Application	3
2.1	Driver Support	3
2.2	Features.....	4
3	FT232RL Features and Enhancement	5
3.1	Key Features	5
4	UM232R Pin Out and Signal Descriptions	7
4.1	UM232R Pin Out.....	7
4.2	Signal Descriptions	8
4.3	Jumper Configuration Options	9
4.4	CBUS Signal Options	10
5	Module Dimensions	11
6	FT232RL Device Characteristics and Ratings.....	12
6.1	Absolute Maximum Ratings.....	12
6.2	DC Characteristics.....	12
6.3	EEPROM Reliability Characteristics	15
6.4	Internal Clock Characteristics.....	15
7	Module Configurations	16
7.1	BUS Powered Configuration	16
7.2	Self Powered Configuration	17
7.3	USB Bus Powered with Power Switching Confiduration	19
7.4	Bus Powered with 3.3V Logic Drive / IO Supply Voltage.....	21
8	UM232R Module Circuit Schematic	22
9	Internal EEPROM Configuration.....	23
10	Contact Information.....	25
	Appendix A – List of Tables and Figures	26
	Appendix B – Revision History.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 Typical Application

- USB to RS232 / RS422 / RS485 Converters
- Upgrading Legacy Peripherals to USB
- Cellular and Cordless Phone USB data transfer cables and interfaces
- Interfacing MCU / PLD / FPGA based designs to USB
- USB Audio and Low Bandwidth Video data transfer
- PDA to USB data transfer
- USB Smart Card Readers
- USB Instrumentation
- USB Industrial Control
- USB MP3 Player Interface
- USB FLASH Card Reader / Writers
- Set Top Box PC – USB interface
- USB Digital Camera Interface
- USB Hardware Modems
- USB Wireless Modems
- USB Bar Code Readers
- USB Software / Hardware Encryption Dongles
- USB Medical applications.

2.1 Driver Support

Royalty-Free VIRTUAL COM PORT (VCP) DRIVERS for:

- Windows 7 32,64-bit
- Windows Vista
- Windows XP 32,64-bit
- Windows XP Embedded
- Windows 98, 98SE, ME, 2000, Server 2003, XP and Server 2008
- Windows CE.NET 4.2 , 5.0 and 6.0
- MAC OS OS-X
- Linux 2.4 and greater

Royalty-Free D2XX Direct Drivers (USB Drivers + DLL S/W Interface):

- Windows 7 32,64-bit
- Windows Vista
- Windows XP 32,64-bit
- Windows XP Embedded.
- Windows 98, 98SE, ME, 2000, Server 2003, XP and Server 2008
- Windows CE.NET 4.2, 5.0 and 6.0
- MAC OS OS-X
- Linux 2.4 and greater

The drivers listed above are all available to download for free from www.ftdichip.com. Various 3rd Party Drivers are also available for various other operating systems – visit www.ftdichip.com for details.

2.2 Features

The UM232R has the following features:

- Single chip USB to UART synchronous serial data transfer interface
- Entire USB protocol handled on the chip – No USB-specific firmware programming required.
- UART interface support for 7 or 8 data bits, 1 or 2 stop bits and odd / even / mark / space / no parity.
- Fully assisted hardware or X-On / X-Off software handshaking.
- Data transfer rates from 300 baud to 3 Megabaud (RS422 / RS485 and at TTL levels) and 300 baud to 1 Megabaud (RS232).
- FTDI's royalty-free VCP and D2XX drivers eliminate the requirement for USB driver development in most cases.
- In-built support for event characters and line break condition.
- USB FTDIChip-ID™ feature.
- Configurable CBUS I/O pins.
- Auto transmit buffer control for RS485 applications.
- Transmit and receive LED drive signals.
- New 48MHz, 24MHz, 12MHz, and 6MHz clock output signal Options for driving external MCU or FPGA.
- Receive and transmit buffers for high data throughput.
- Adjustable receive buffer timeout.
- Synchronous and asynchronous bit bang mode interface options with RD# and WR# strobes.
- New CBUS bit bang mode option.
- Support for USB suspend and resume.
- Integrated 1024 bit internal EEPROM for storing USB VID, PID, serial number and product description strings, and CBUS I/O configuration.
- Device supplied preprogrammed with unique USB serial number.
- On board jumper allows for selection of USB bus powered supply or self powered supply. Integrated 3.3V level converter for USB I/O.
- Integrated level converter on UART and CBUS for interfacing to 5V – 1.8V Logic.
- On board jumper allows for selection of UART and CBUS interface IO voltage.
- True 5V / 3.3V / 2.8V / 1.8V CMOS drive output and TTL input.
- High I/O pin output drive option.
- Integrated USB resistors.
- Integrated power-on-reset circuit.
- Fully integrated clock – no external crystal, oscillator, or resonator required.
- Fully integrated AVCC supply filtering – No separate AVCC pin and no external R-C filter required.
- UART signal inversion option.
- USB bulk transfer mode.
- +4.0V to +5.25V Single Supply Operation.
- Low operating and USB suspend current.
- Low USB bandwidth consumption.
- UHCI / OHCI / EHCI host controller compatible
- USB 2.0 Full Speed compatible.
- -40°C to 85°C extended operating temperature range.
- Supplied in PCB designed to fit a standard 15.0mm (0.6") wide 24 pin DIP socket. Pins are on a 2.60mm (0.1") pitch.
- On board USB 'B' socket allows module to be connected to a PC via a standard A to B USB cable.

Support for bus powered, self powered, and high-power bus powered USB configurations.

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฟูทีเจอร์ เทคโนโลยี ดีไวส์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 FT232RL Features and Enhancement

3.1 Key Features

This section summarises the key features and enhancements of the FT232RL IC device which is used on the UM232R Module. For further details, consult the FT232R datasheet, which is available from www.ftdichip.com.

Integrated Clock Circuit – Previous generations of FTDI’s USB UART devices required an external crystal or ceramic resonator. The clock circuit has now been integrated onto the device meaning that no crystal or ceramic resonator is required. However, if preferred, an external 12MHz crystal can be used as the clock source. Note that the UM232R does not provide access to these pins on the FT232R device.

Integrated EEPROM – Previous generations of FTDI’s USB UART devices required an external EEPROM if the device were to use USB Vendor ID (VID), Product ID (PID), serial number and product description strings other than the default values in the device itself. This external EEPROM has now been integrated onto the FT232R chip meaning that all designs have the option to change the product description strings. A user area of the internal EEPROM is available for storing additional data. The internal EEPROM is programmable in circuit, over USB without any additional voltage requirement.

Preprogrammed EEPROM – The FT232R is supplied with its internal EEPROM pre-programmed with a serial number which is unique to each individual device. This, in most cases, will remove the need to program the device EEPROM.

Integrated USB Resistors – Previous generations of FTDI’s USB UART devices required two external series resistors on the USB DP and USB DM lines, and a 1.5 k Ω pull up resistor on USB DP. These three resistors have now been integrated onto the device.

Integrated AVCC Filtering – Previous generations of FTDI’s USB UART devices had a separate AVCC pin – the supply to the internal PLL. This pin required an external R-C filter. The separate AVCC pin is now connected internally to VCC, and the filter has now been integrated onto the chip.

Less External Components – Integration of the crystal, EEPROM, USB resistors, and AVCC filter will substantially reduce the bill of materials cost for USB interface designs using the FT232R compared to its FT232BM predecessor.

Configurable CBUS I/O Pin Options – There are now 5 configurable Control Bus (CBUS) lines. Options are **TXDEN** – transmit enable for RS485 designs, **PWREN#** - Power control for high power, bus powered designs, **TXLED#** - for pulsing an LED upon transmission of data, **RXLED#** - for pulsing an LED upon receiving data, **TX&RXLED#** - which will pulse an LED upon transmission OR reception of data, **SLEEP#** - indicates that the device going into USB suspend mode, **CLK48 / CLK24 / CLK12 / CLK6** – 48MHz, 24MHz, 12MHz, and 6MHz clock output signal options. There is also the option to bring out bit bang mode read and write strobes (see below). The CBUS lines can be configured with any one of these output options by setting bits in the internal EEPROM. The device is supplied with the most commonly used pin definitions pre-programmed – see [Section 9](#) for details.

Enhanced Asynchronous Bit Bang Mode with RD# and WR# Strobes – The FT232R supports FTDI’s BM chip bit bang mode. In bit bang mode, the eight UART lines can be switched from the regular interface mode to an 8-bit general purpose I/O port. Data packets can be sent to the device and they will be sequentially sent to the interface at a rate controlled by an internal timer (equivalent to the baud rate prescaler). With the FT232R device this mode has been enhanced so that the internal RD# and WR# strobes are now brought out of the device which can be used to allow external logic to be clocked by accesses to the bit bang I/O bus. This option will be described more fully in a separate application note.

Synchronous Bit Bang Mode – Synchronous bit bang mode differs from asynchronous bit bang mode in that the interface pins are only read when the device is written to. Thus making it easier for the controlling program to measure the response to an output stimulus as the data returned is synchronous to the output data. The feature was previously seen in FTDI’s FT2232C device. This option will be described more fully in a separate application note.

CBUS Bit Bang Mode – This mode allows four of the CBUS pins to be individually configured as GPIO pins, similar to Asynchronous bit bang mode. It is possible to use this mode while the UART interface is being used, thus providing up to four general purpose I/O pins which are available during normal operation. An application note describing this feature is available separately from www.ftdichip.com.

Lower Supply Voltage – Previous generations of the chip required 5V supply on the VCC pin. The FT232R will work with a VCC supply in the range 4.0V to 5.25V. Bus powered designs would still take their supply from the 5V on the USB bus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Integrated Level Converter on UART Interface and Control Signals – VCCIO pin supply can be from 1.8V to 5V. Connecting the VCCIO pin to 1.8V, 2.8V, or 3.3V allows the device to directly interface to 1.8V, 2.8V or 3.3V and other logic families without the need for external level converter I.C. devices.

5V / 3.3V / 2.8V / 1.8V Logic Interface – The FT232R provides *true* CMOS Drive Outputs and TTL level Inputs.

Integrated Power-On-Reset (POR) Circuit– The device incorporates an internal POR function. A RESET# pin is available in order to allow external logic to reset the FT232R where required. However, for many applications the RESET# pin can be left unconnected, or pulled up to VCCIO.

Lower Operating and Suspend Current – The device operating supply current has been further reduced to 15mA, and the suspend current has been reduced to around 70µA. This allows greater margin for peripheral designs to meet the USB suspend current limit of 500µA.

Low USB Bandwidth Consumption – The operation of the USB interface to the FT232R has been designed to use as little as possible of the total USB bandwidth available from the USB host controller.

High Output Drive Option – The UART interface and CBUS I/O pins can be made to drive out at three times the standard signal drive level thus allowing multiple devices to be driven, or devices that require greater signal drive strength to be interfaced to the FT232R. This option is enabled in the internal EEPROM.

Power Management Control for USB Bus Powered, High Current Designs – The PWREN# signal can be used to directly drive a transistor or P-Channel MOSFET in applications where power switching of external circuitry is required. An option in the internal EEPROM makes the device gently pull down on its UART interface lines when the power is shut off (PWREN# is high). In this mode any residual voltage on external circuitry is bled to GND when power is removed, thus ensuring that external circuitry controlled by PWREN# resets reliably when power is restored.

UART Pin Signal Inversion – The sense of each of the eight UART signals can be individually inverted by setting options in the internal EEPROM. Thus, CTS# (active low) can be changed to CTS (active high), or TXD can be changed to TXD#.

FTDICHIP-ID™ - Each FT232R is assigned a unique number which is burnt into the device at manufacture. This ID number cannot be reprogrammed by product manufacturers or end-users. This allows the possibility of using FT232R based dongles for software licensing. Further to this, a renewable license scheme can be implemented based on the FTDICHIP-ID™ number when encrypted with other information. This encrypted number can be stored in the user area of the FT232R internal EEPROM, and can be decrypted, then compared with the protected FTDICHIP-ID™ to verify that a license is valid. Web based applications can be used to maintain product licensing this way. An application note describing this feature is available separately from www.ftdichip.com.

Improved EMI Performance – The reduced operating current and improved on-chip VCC decoupling significantly improves the ease of PCB design requirements in order to meet FCC, CE and other EMI related specifications.

Programmable Receive Buffer Timeout – The receive buffer timeout is used to flush remaining data from the receive buffer. This time defaults to 16ms, but is programmable over USB in 1ms increments from 1ms to 255ms, thus allowing the device to be optimised for protocols that require fast response times from short data packets.

Baud Rates – The FT232R supports all standard baud rates and non-standard baud rates from 300 Baud up to 3 Megabaud. Achievable non-standard baud rates are calculated as follows – Baud Rate = $3000000 / (n + x)$ where 'n' can be any integer between 2 and 16,384 ($= 2^{14}$) and 'x' can be a sub-integer of the value 0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5, 0.625, 0.75, or 0.875. When $n = 1$, $x = 0$, i.e. baud rate divisors with values between 1 and 2 are not possible. This gives achievable baud rates in the range 183.1 baud to 3,000,000 baud. When a non-standard baud rate is required simply pass the required baud rate value to the driver as normal, and the FTDI driver will calculate the required divisor, and set the baud rate. See FTDI application note AN232B-05 for more details.

Extended Operating Temperature Range – The FT232R operates over an extended temperature range of -40° to +85° C thus allowing the device to be used in automotive and industrial applications.

Package Options – The FT232R is available in two packages – a compact 28 pin SSOP (FT232RL) and an ultra-compact 5mm x 5mm pinless QFN-32 package (FT232RQ). Both packages are lead (Pb) free, and use a 'green' compound. Both packages are fully compliant with European Union directive 2002/95/EC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 UM232R Pin Out and Signal Descriptions

4.1 UM232R Pin Out

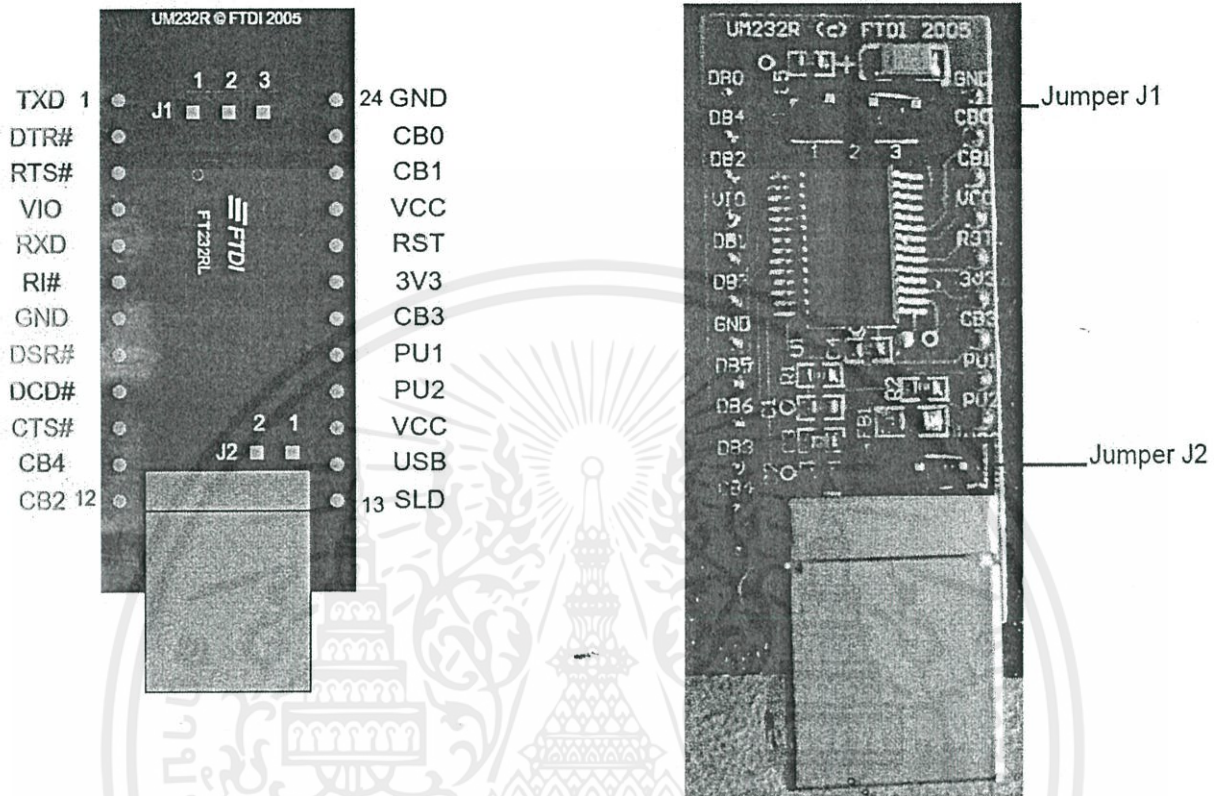


Figure 4.1 Module Pin Out and Jumper Locations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 Signal Descriptions

Pin No.	Name	Type	Description
1	TXD	Output	Transmit Asynchronous Data Output.*
2	DTR#	Output	Data Terminal Ready Control Output / Handshake Signal.*
3	RTS#	Output	Request to Send Control Output / Handshake Signal.*
4	VIO	PWR	+1.8V to +5.25V supply to the UART Interface and CBUS I/O pins (1...3, 5, 6, 9...14, 22, 23). In USB bus powered designs connect to 3V3 to drive out at 3.3V levels (connect jumper J1 pins 1 and 2 together), or connect to VCC to drive out at 5V CMOS level (connect jumper J1 pins 2 and 3 together). This pin can also be supplied with an external 1.8V – 2.8V supply in order to drive out at lower levels. It should be noted that in this case this supply should originate from the same source as the supply to VCC. This means that in bus powered designs a regulator which is supplied by the 5V on the USB bus should be used.
5	RXD	Input	Receiving Asynchronous Data Input.*
6	RI#	Input	Ring Indicator Control Input. When remote wake up is enabled in the internal EEPROM taking RI# low >20ms can be used to resume the PC USB host controller from suspend.*
7, 24	GND	PWR	Module Ground Supply Pins
8	DSR#	Input	Data Set Ready Control Input / Handshake Signal.*
9	DCD#	Input	Data Carrier Detect Control Input.
10	CTS#	Input	Clear To Send Control Input / Handshake Signal.*
11	CB4	I/O	Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory Default pin function is SLEEP#. See CBUS Signal Options, Table 4.4.*
12	CB2	I/O	Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory Default pin function is TXDEN. See CBUS Signal Options, Table 4.4.*
13	SLD	GND	USB Cable Shield.
14	USB	Output	5V Power output USB port. For a low power USB bus powered design, up to 100mA can be sourced from the 5V supply on the USB bus. A maximum of 500mA can be sourced from the USB bus in a high power USB bus powered design.
15, 21	VCC	PWR or Output	These two pins are internally connected on the module PCB. To power the module from the 5V supply on USB bus connects jumper J2 pins 1 and 2 together (this is the module default configuration). In this case these pins would have the same description as pin 14. To use the UM232R module in a self powered configuration ensure that jumper J2 pins 1 and 2 are not connected together, and apply an external 4.0V to 5.25V supply to one of these pins.
17	PU1	Control	Pull up resistor pin connection 2. Connect to pin 20 (RST#) in a self powered configuration.
16	PU2	Control	Pull up resistor pin connection 1. Connect to pin 14 (USB) in a self powered configuration.
18	CB3	I/O	Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory Default pin Function is PWREN#. See CBUS Signal Options, Table 4.4.*
19	3V3	Output	3.3V output from integrated L.D.O. regulator. This pin is decoupled to ground on the module pcb with a 10nF capacitor. The prime purpose of this pin is to provide the internal 3.3V supply to the USB transceiver cell and the internal 1.5kΩ pull up resistor on USB DP. Up to 50mA can be drawn from this pin to power external logic if required. This pin can also be used to supply the FT232RL's VCCIO pin by connecting this pin to pin 4 (VIO), or by connecting together pins 1 and 2 on jumper J1.

Pin No.	Name	Type	Description
20	RST#	Input	Can be used by an external device to reset the FT232R. If not required can be left unconnected, or pulled up to VCCIO.
22	CB1	I/O	Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory Default pin Function is RXLED#. See CBUS Signal Options, Table 4.4.*
23	CB0	I/O	Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory Default pin Function is TXLED#. See CBUS Signal Options, Table 4.4.*

Table 4.1 Module Pin Out Description

* When used in Suspend, these pins are pulled to VCCIO via internal 200kΩ resistors. These pins can be programmed to gently pull low during USB suspend (PWREN# = "1") by setting an option in the internal EEPROM.

4.3 Jumper Configuration Options

Pin No.	Name	Type	Description
1	3V3	Output	Connect this pin to pin 2 to create 3V3 I/O.
2	VIO	PWR	Input Pin for Chip VCCIO
3	VCC	PWR	Connect this pin to pin 2 to create 5V I/O

Table 4.2 Jumper J1 Pin Description

Pin No.	Name	Type	Description
1	USB	PWR	5V Power output USB port. For a low power USB bus power design, up to 100mA can be sourced from the 5V supply on the USB bus. A maximum of 500 mA can be sourced from the USB bus in a high power USB bus powered design.
2	VCC	PWR or Output	Board supply input. Connect to jumper J2 pin 1 in order to supply the board from the USB bus. This pin is internally connected to the VCC DIP pins. Remove the jumper connector in a self powered design.

Table 4.3 Jumper J2 Pin Description

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 CBUS Signal Options

The following options can be configured on the CBUS I/O pins. These options are all configured in the internal EEPROM using the utility software FT_PROG, which can be downloaded from the www.ftdichip.com. The default configuration is described in [Section 9](#).

CBUS Signal Option	Available On CBUS Pin	Description
TXDEN#	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	Enable transmit data for RS485
PWREN#	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	Goes low after the device is configured by USB, then high during USB suspend. Can be used to control power to external logic in high power designs. Needs 10k pull up to VCC.
TXLED#	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	Transmit data LED drive – pulses low when transmitting data via USB.
RXLED#	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	Receive data LED drive – pulses low when receiving data via USB.
TX&RXLED#	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	LED drive – pulses low when transmitting or receiving data via USB. See
SLEEP#	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	Goes low during USB suspend mode. Typically used to power down an external TTL to RS232 level converter I.C. in USB to RS232 converter designs.
CLK48	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	48MHz Clock output.
CLK24	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	24 MHz Clock output.
CLK12	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	12 MHz Clock output.
CLK6	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4	6 MHz Clock output.
CbitBangI/O	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3	CBUS bit bang mode option. Allows up to 4 of the CBUS pins to be used as general purpose I/O. Configured individually for CBUS0, CBUS1, CBUS2 and CBUS3 in the internal EEPROM. A separate application note will describe in more detail how to use CBUS bit bang mode. (www.ftdichip.com)
BitBangWRn	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3	Synchronous and asynchronous bit bang mode WR# strobe Output.
BitBangRDn	CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3	Synchronous and asynchronous bit bang mode RD# strobe Output.

Table 4.4 CBUS Signal Options

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 Module Dimensions

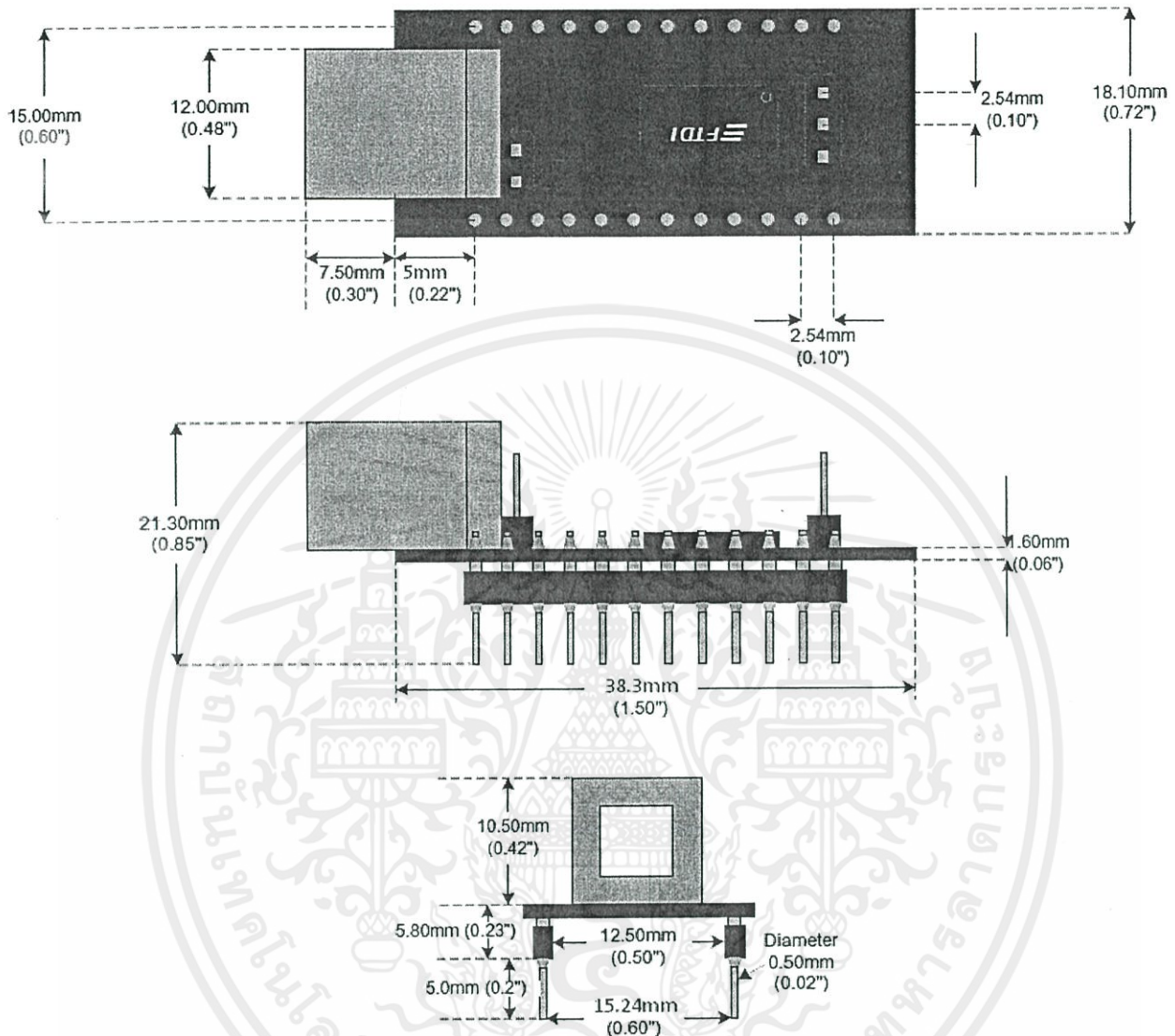


Figure 5.1 UM232R Module Dimensions

All dimensions are in millimetres, with inches in parenthesis.

The FT232RL is supplied in a RoHS compliant 28 pin SSOP package. The package is lead (Pb) free and uses a 'green#' compound. The date code format is YYXX where XX = 2 digit week number, YY = 2 digit year number.

The UM232R module uses exclusively lead free components, and are fully compliant with European Union directive 2002/95/EC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 FT232RL Device Characteristics and Ratings

6.1 Absolute Maximum Ratings

The absolute maximum ratings for the FT232R devices are as follows. These are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Exceeding these may cause permanent damage to the device.

Parameter	Value	Unit
Storage Temperature	-65°C to 150°C	Degrees C
Floor Life (Out of Bag) At Factory Ambient (30°C / 60% Relative Humidity)	168 Hours (IPC/JEDEC J-STD-033A MSL Level 3 Compliant)*	Hours
Ambient Temperature (Power Applied)	-40°C to 85°C	Degrees C
VCC Supply Voltage	-0.5 to +6.00	V
D.C. Input Voltage – USBDP and USBDM	-0.5 to +3.8	V
D.C. Input Voltage – High Impedance Bidirectionals	-0.5 to + (VCC +0.5)	V
D.C. Input Voltage – All Other Inputs	-0.5 to + (VCC +0.5)	V
D.C. Output Current – Outputs	24	mA
D.C. Output Current – Low Impedance Bidirectionals	24	mA
Power Dissipation (VCC = 5.25V)	500	mW

Table 6.1 Absolute Maximum Ratings

* If devices are stored out of the packaging beyond this time limit the devices should be baked before use. The devices should be ramped up to a temperature of 125°C and baked for up to 17 hours.

6.2 DC Characteristics

DC Characteristics (Ambient Temperature = -40 to 85°C)

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
VCC1	VCC Operating Supply Voltage	4.0	---	5.25	V	
VCC2	VCCIO Operating Supply Voltage	1.8	---	5.25	V	
Icc1	Operating Supply Current	---	15	---	mA	Normal Operation
Icc2	Operating Supply Current	50	70	100	µA	USB Suspend

Table 6.2 Operating Voltage and Current

Because the UM232R module does not provide access to the OSCI and OSCO pins, the VCC range of this module has a minimum value of +4.0V. The FT232R device on this module is capable of operating down to +3.3V but its internal oscillator is only specified for operation down to +4.0V and so an external crystal must be used when VCC is in the range +3.3V to +4.0V.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Voh	Output Voltage High	3.2	4.1	4.9	V	I source = 2mA
Vol	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.6	V	I sink = 2mA
Vin	Input Switching Threshold	1.3	1.6	1.9	V	**
Vhys	Input Switching Hysteresis	50	55	60	mV	**

Table 6.3 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 5.0V, Standard Drive Level)

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Voh	Output Voltage High	2.2	2.7	3.2	V	I source = 1mA
Vol	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.5	V	I sink = 2mA
Vin	Input Switching Threshold	1.0	1.2	1.5	V	**
Vhys	Input Switching Hysteresis	20	25	30	mV	**

Table 6.4 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 3.3V, Standard Drive Level)

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Voh	Output Voltage High	2.1	2.6	3.1	V	I source = 1mA
Vol	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.5	V	I sink = 2mA
Vin	Input Switching Threshold	1.0	1.2	1.5	V	**
Vhys	Input Switching Hysteresis	20	25	30	mV	**

Table 6.5 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 2.8V, Standard Drive Level)

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Voh	Output Voltage High	3.2	4.1	4.9	V	I source = 6mA
Vol	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.6	V	I sink = 6mA
Vin	Input Switching Threshold	1.3	1.6	1.9	V	**
Vhys	Input Switching Hysteresis	50	55	60	mV	**

Table 6.6 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 5.0V, High Drive Level)

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Voh	Output Voltage High	2.2	2.8	3.2	V	I source = 3mA
Vol	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.6	V	I sink = 8mA
Vin	Input Switching Threshold	1.0	1.2	1.5	V	**
Vhys	Input Switching Hysteresis	20	25	30	mV	**

Table 6.7 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 3.3V, High Drive Level)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Voh	Output Voltage High	2.1	2.8	3.2	V	I source = 3mA
Vol	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.6	V	I sink = 8mA
Vin	Input Switching Threshold	1.0	1.2	1.5	V	**
Vhys	Input Switching Hysteresis	20	25	30	mV	**

Table 6.8 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 2.8V, High Drive Level)

** Inputs have an internal 200kΩ pull-up resistor to VCCIO

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Vin	Input Switching Threshold	1.3	1.6	1.9	V	
Vhys	Input Switching Hysteresis	50	55	60	mV	

Table 6.9 RESET# and TEST Pin Characteristics

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Uvoh	I/O Pins Static Output (High)	2.8	---	3.6	V	RI = 1.5kΩ to 3V3Out (D+) RI = 15kΩ to GND (D-)
Uvol	I/O Pins Static Output (Low)	0	---	0.3	V	RI = 1.5kΩ to 3V3Out (D+) RI = 15kΩ to GND (D-)
Uvse	Single Ended Rx Threshold	0.8	---	2.0	V	
Ucom	Differential Common Mode	0.8	---	2.5	V	
UVDif	Differential Input Sensitivity	0.2	---	---	V	
UdrvZ	Driver Output Impedance	26	29	44	Ohms	***

Table 6.10 USB I/O Pin (USBDP, USBDM) Characteristics

*** Driver Output Impedance includes the internal USB series resistors on USBDP and USBDM pins

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 EEPROM Reliability Characteristics

The internal 1024 bit EEPROM has the following reliability characteristics:

Parameter	Value	Unit
Data Retention	15	Years
Read / Write Cycle	100,000	Cycles

Table 6.11 EEPROM Characteristics

6.4 Internal Clock Characteristics

The internal Clock Oscillator has the following characteristics:

Parameter	Value			Unit
	Minimum	Typical	Maximum	
Frequency of Operation	11.98	12.00	12.02	MHz
Clock Period	83.19	83.33	83.47	ns
Duty Cycle	45	50	55	%

Table 6.12 Internal Clock Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 Module Configurations

7.1 BUS Powered Configuration

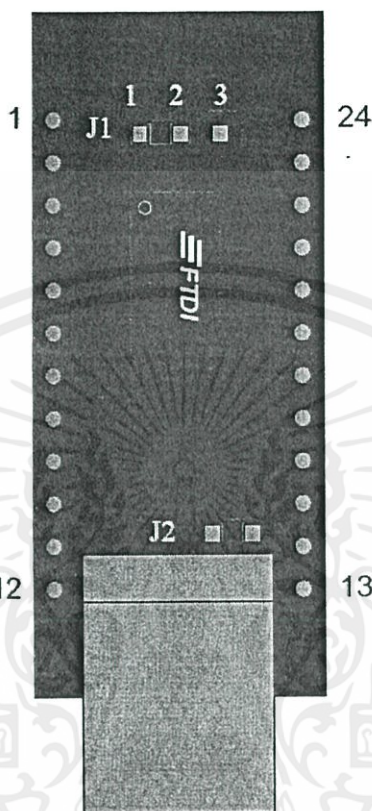


Figure 7.1 Bus Powered Configuration

Figure 7.1 illustrates the UM232R module in a typical USB bus powered design configuration. This can easily be done by fitting the jumper link on J2, as shown above. The UM232R is supplied in this configuration by default.

A USB Bus Powered device gets its power from the USB bus. Basic rules for USB Bus Power devices are as follows:

- i) On plug-in to USB, the device must draw no more than 100mA.
- ii) On USB suspend the device must draw no more than 500 μ A.
- iii) A Bus Powered High Power USB Device (one that draws more than 100mA) should use one of the CBUS pins configured as PWREN# and use it to keep the current below 100mA on plug-in and 500 μ A on USB suspend.
- iv) A device that consumes more than 100mA cannot be plugged into a USB Bus Powered Hub.
- v) No device can draw more than 500mA from the USB Bus.

Interfacing the UM232R module to a microcontroller (MCU), or other logic for a bus powered design would be done in exactly the same way as for a self powered design (see [Section 7.2](#)), except that the MCU or external logic would take its power supply from the USB bus (either the 5V on the USB pin, or 3.3V on the 3V3 pin).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 Self Powered Configuration

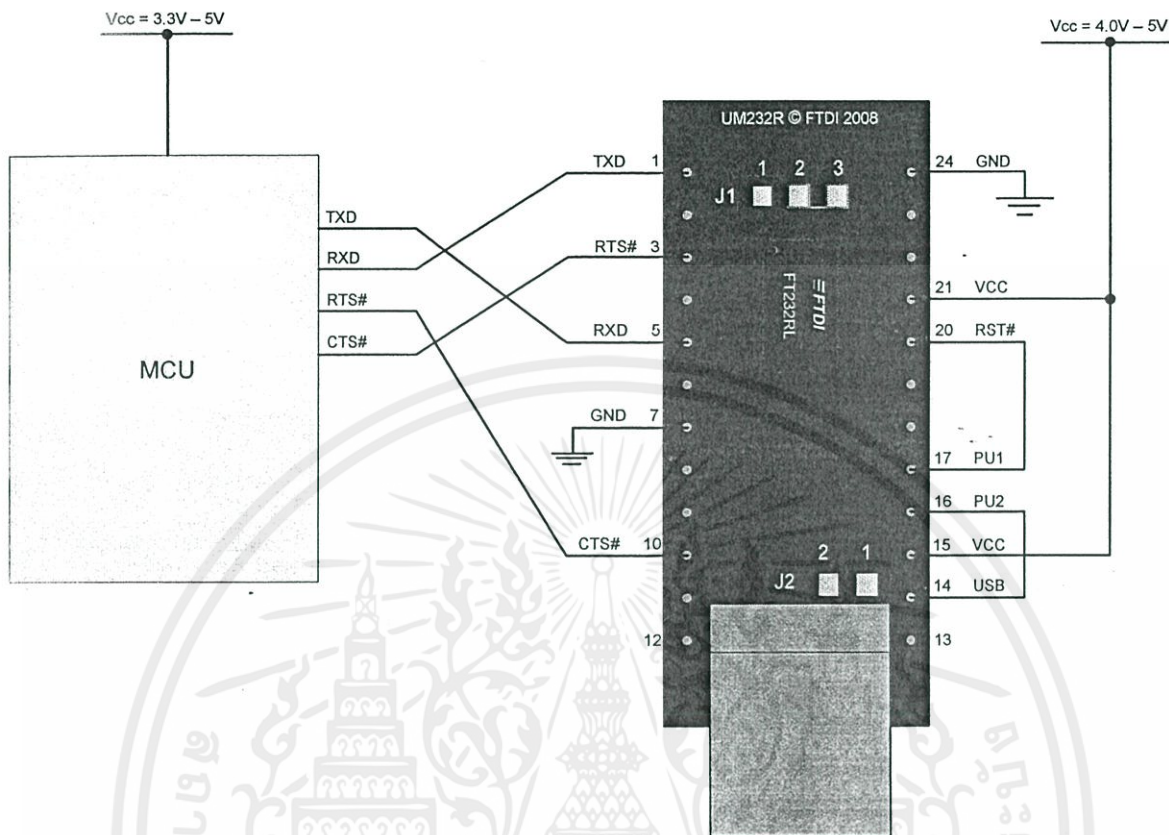


Figure 7.2 Self-Powered Configuration

Figure 7.2 illustrates the UM232R in a typical USB self powered configuration. In this case the link on jumper J2 is removed, and an external supply is connected to the module VCC pins. Figure 7.2 illustrates a self powered design which has a 4.0V – 5V supply.

A USB Self Powered device gets its power from its own power supply and does not draw current from the USB bus. The basic rules for USB Self powered devices are as follows:

- i) A Self Powered device should not force current down the USB bus when the USB Host or Hub Controller is powered down.
- ii) A Self Powered Device can use as much current as it likes during normal operation and USB suspend as it has its own power supply.
- iii) A Self Powered Device can be used with any USB Host and both Bus and Self Powered USB Hub. In this case the power descriptor in the internal EEPROM should be programmed to a value of zero (self powered).

In order to meet requirement (i) the USB Power is used to control the RESET# Pin of the FT232R device. When the USB Host or Hub is powered up the internal 1.5kΩ resistor on USBDP is pulled up to 3.3V, thus identifying the devices as a full speed device to USB. When the USB Host or Hub Power is off, RESET# will go low and the device will be held in reset. As RESET# is low, the internal 1.5kΩ resistor will not be pulled up to 3.3V, so no current will be forced down USBDP via the 1.5kΩ pull-up resistor when the host or hub is powered down.

To do this pin 14 (USB) is connected to PU2 and PU1 is connected to RST#. Failure to do this may cause some USB host or hub controllers to power up erratically.

Note: When the FT232R is in reset, the UART interface pins all go tri-state. These pins have internal 200kΩ pull-up resistors to VCCIO, so they will gently pull high unless driven by some external logic.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7.2 is also an example of interfacing the FT232R to a Microcontroller (MCU) UART interface. This example uses TXD and RXD for transmission and reception of data and RTS# / CTS# hardware handshaking.

Optionally, RI# can be connected to another I/O pin on the MCU and could be used to wake up the USB host controller from suspend mode. One of the CBUS pins could be configured as a 6/12/24/48 MHz clock output which can be used to clock the MCU. If the MCU is handling power management functions, then a CBUS pin can be configured as PWREN# and should also be connected to an I/O pin of the MCU.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 USB Bus Powered with Power Switching Configuration

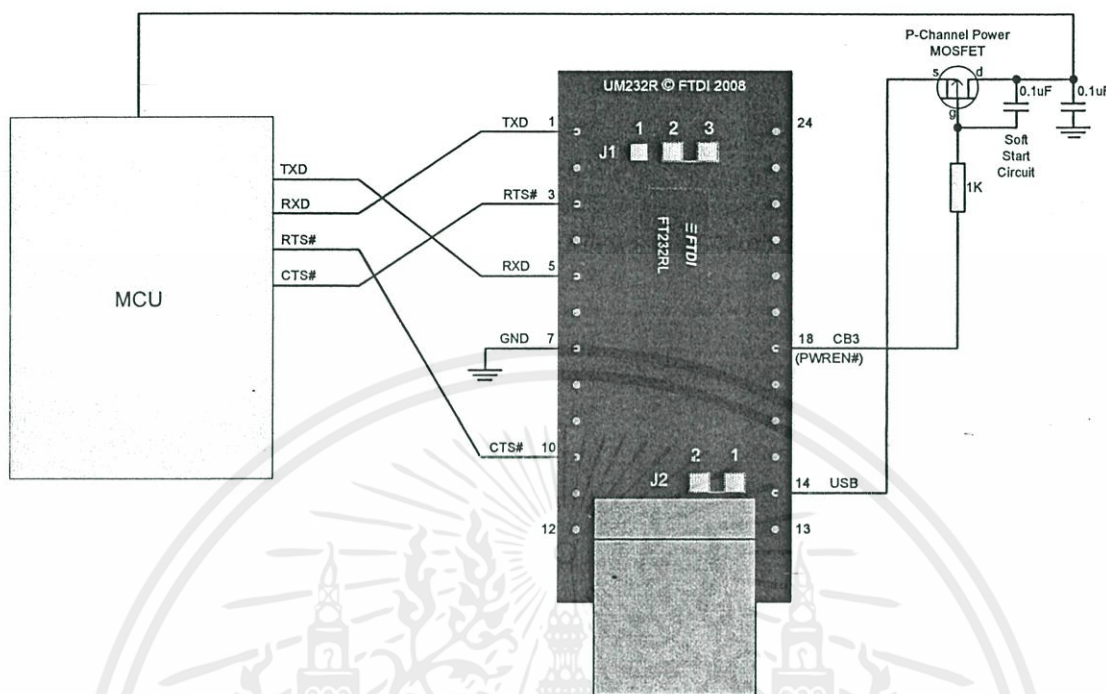


Figure 7.3 Bus Powered with Power Switching Configuration

USB Bus Powered circuits need to be able to power down in USB suspend mode in order to meet the $\leq 500\mu\text{A}$ total USB suspend current requirement (including external logic). Some external can power itself down into a low current state by monitoring the PWREN# signal! For external logic that cannot power itself down in this way the FT232R provides a simple but effective way of turning off power to external circuitry during USB suspend.

Figure 7.3 shows how to use a discrete P-Channel Logic Level MOSFET to control the power to external logic circuits. A suitable device would be an International Rectifier (www.irf.com) IRLML6402, or equivalent. It is recommended that a "soft start" circuit consisting of a $1\text{k}\Omega$ series resistor and a $0.1\mu\text{F}$ capacitor are used to limit the current surge when the MOSFET turns on. Without the soft start circuit there is a danger that the transient power surge of the MOSFET turning on will reset the FT232R, or the USB host / hub controller. The values used here allow attached circuitry to power up with a slew rate of $\sim 12.5\text{V}$ per millisecond, in other words the output voltage will transition from GND to 5V in approximately 400 microseconds.

Alternatively, a dedicated power switch I.C. with inbuilt "soft-start" can be used instead of a MOSFET. A suitable power switch I.C. for such an application would be a Micrel (www.micrel.com) MIC2025-2BM or equivalent.

Please note the following points in connection with power controlled designs:

- i) The logic to be controlled must have its own reset circuitry so that it will automatically reset itself when power is applied on coming out of suspend.
- ii) Set the Pull-down on Suspend option in the internal EEPROM.
- iii) One of the CBUS Pins should be configured as PWE# in the internal EEPROM, and should be used to switch the power supply to the external circuitry.
- iv) For USB high-power bus powered device (one that consumes greater than 100mA, and up to 500mA of current from the USB bus), the power consumption of the device should be set in the max power field in the internal EEPROM. A high-power bus powered device must use this descriptor in the internal EEPROM to inform the system of its power requirements.

- v) For 3.3V power controlled circuits the FT232R's VCCIO pin must not be powered down with the external circuitry (the PWREN# signal gets its VCC supply from VCCIO). Either connects the power switch between the output of the 3.3V regulator and the external 3.3V logic or power VCCIO from the 3V3OUT pin of the FT232R.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 Bus Powered with 3.3V Logic Drive / IO Supply Voltage

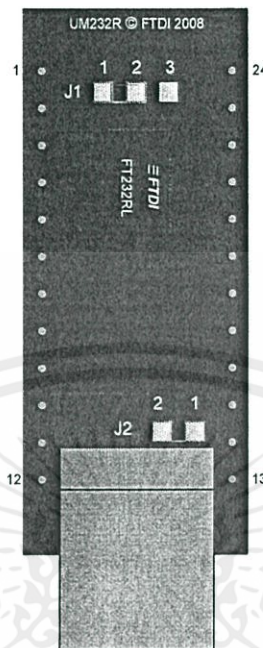


Figure 7.4 USB Bus Powered 3.3V Logic Drive

Figure 7.4 shows a configuration where a jumper switch is used to allow the FT232R to be interfaced with a 3.3V or 5V logic devices. The FT232R's VCCIO pin is either supplied with 5V from the USB bus (connect together pins 2 and 3 in J1), or with 3.3V from the FT232R's 3V3OUT pin (connect together pins 1 and 2 on J1 as shown) the supply to UM232R's 3V3 pin can also be used to supply up to 50mA to external logic.

Please note the following in relation to bus powered designs of this type:

- i) PWREN# or SLEEP' signals should be used to power down external logic during USB suspend mode, in order to comply with the limit of 500 μ A. If this is not possible, use the configuration shown in [Section 7.3](#).
- ii) The maximum current source from USB Bus during normal operation should not exceed 100mA, otherwise a bus powered design with power switching ([Section 7.3](#)) should be used.

Another possible configuration would be to use a discrete low dropout regulation which is supplied by the 5V on the USB bus to supply 2.8V – 1.8V to the VIO pin and to the external logic. VCC would be supplied with the 5V from the USB bus (available from the module's USB pin). With VIO connected to the output of the low dropout regulator, this will cause the FT232R I/O pins to drive out at 2.8V – 1.8V logic levels.

For USB bus powered circuit some considerations have to be taken into account when selecting the regulator:

The regulator must be capable of sustaining its output voltage with an input voltage of 4.35V. A Low Drop Out (L.D.O.) regulator must be selected.

The quiescent current of the regulator must be low in order to meet the USB suspend total current requirement of $\leq 500 \mu$ A during USB suspend.

An example of a regulator family that meets these requirements is the MicroChip / Telcom TC55 Series of devices (www.microchip.com). These devices can supply up to 250mA current and have a quiescent current of under 1 μ A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 UM232R Module Circuit Schematic

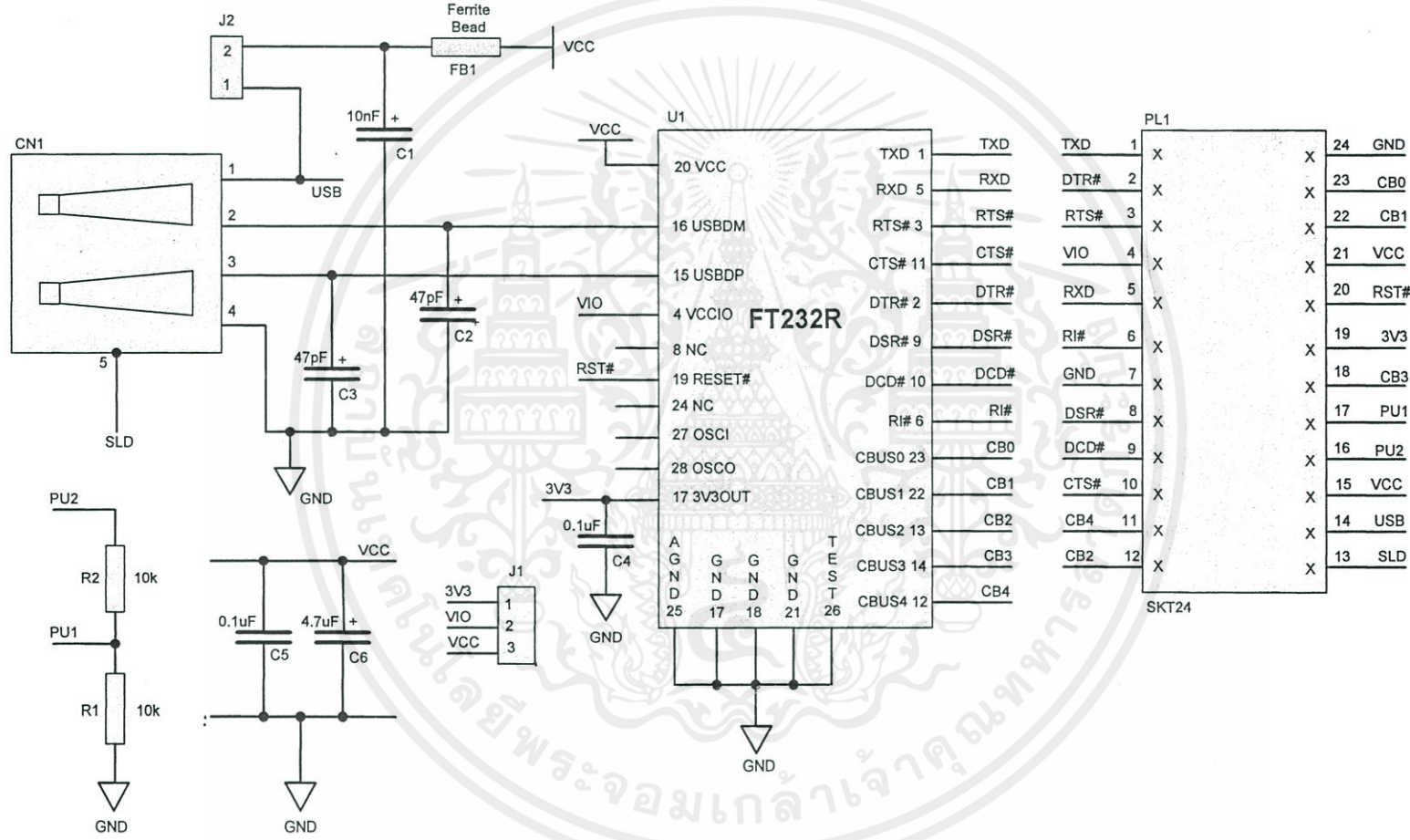


Figure 8.1 Module Circuit Schematic

9 Internal EEPROM Configuration

Following a power-on reset or a USB reset the FT232R will scan its internal EEPROM and read the USB configuration descriptors stored there. The default values programmed into the internal EEPROM in the FT232RL used on the UM232R are shown in Table 8.1.

Parameter	Value	Notes
USB Vendor ID (VID)	0403h	FTDI default VID (hex)
USB Product ID (PID)	6001h	FTDI default PID (hex)
Serial Number Enabled?	Yes	
Serial Number	See Note	A unique serial number is generated and programmed into the EEPROM during final test of the UM232R module.
Pull down I/O Pins in USB Suspend	Disabled	Enabling this option will make the device pull down on the UART interface lines when the power is shut off (PWREN# is high).
Manufacturer Name	FTDI	
Product Description	UM232R USB <-> Serial	
Max Bus Power Current	100mA	
Power Source	Bus Powered	
Device Type	FT232R	
USB Version	0200	Returns USB 2.0 device description to the host. Note: The device is a USB 2.0 Full Speed device (12Mb/s) as opposed to a USB 2.0 High Speed device (480Mb/s).
Remote Wake Up	Enabled	Taking RI# low will wake up the USB host controller from suspend.
High Current I/Os	Disabled	Enables the high drive level on the UART and CBUS I/O pins.
Load VCP Driver	Enabled	Makes the device load the VCP driver interface for the device.
CBUS0	TXLED#	Default configuration of CBUS0 – Transmit LED drive.
CBUS1	RXLED#	Default configuration of CBUS1 – Receive LED drive.
CBUS2	PWREN#	Default configuration of CBUS2 – Power enable. Low after USB enumeration, high during USB suspend.
CBUS3	PWREN#	Default configuration of CBUS3 – Power enable. Low after USB enumeration, high during USB suspend.
CBUS4	SLEEP#	Default configurations of CBUS4 – Low during USB suspend.
Invert TXD	Disabled	Signal on this pin becomes TXD# if enable.
Invert RXD	Disabled	Signal on this pin becomes RXD# if enable.
Invert RTS#	Disabled	Signal on this pin becomes RTS if enable.
Invert CTS#	Disabled	Signal on this pin becomes CTS if enable.
Invert DTR#	Disabled	Signal on this pin becomes DTR if enable.
Invert DSR#	Disabled	Signal on this pin becomes DSR if enable.
Invert DCD#	Disabled	Signal on this pin becomes DCD if enable.
Invert RI#	Disabled	Signal on this pin becomes RI if enable.

Table 9.1 Default Internal EEPROM Configuration

The internal EEPROM in the FT232R can be programmed over USB using the utility program FT_PROG. FT_PROG can be downloaded from the www.ftdichip.com. Users who do not have their own USB vendor ID but who would like to use a unique Product ID in their design can apply to FTDI for a free block of unique PIDs. Contact [FTDI Support](mailto:support1@ftdichip.com) (support1@ftdichip.com) for this service.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 Contact Information

Head Office – Glasgow, UK

Future Technology Devices International Limited
Unit 1, 2 Seaward Place,
Centurion Business Park
Glasgow, G41 1HH
United Kingdom
Tel: +44 (0) 141 429 2777
Fax: +44 (0) 141 429 2758

E-mail (Sales)	sales1@ftdichip.com
E-mail (Support)	support1@ftdichip.com
E-mail (General Enquiries)	admin1@ftdichip.com
Web Site URL	http://www.ftdichip.com
Web Shop URL	http://www.ftdichip.com

Branch Office – Taipei, Taiwan

Future Technology Devices International Limited (Taiwan)
2F, No. 516, Sec. 1, NeiHu Road
Taipei 114
Taiwan, R.O.C.
Tel: +886 (0) 2 8797 1330
Fax: +886 (0) 2 8751 9737

E-mail (Sales)	tw.sales1@ftdichip.com
E-mail (Support)	tw.support1@ftdichip.com
E-mail (General Enquiries)	tw.admin1@ftdichip.com
Web Site URL	http://www.ftdichip.com

Branch Office – Hillsboro, Oregon, USA

Future Technology Devices International Limited (USA)
7235 NW Evergreen Parkway, Suite 600
Hillsboro, OR 97123-5803
USA
Tel: +1 (503) 547 0988
Fax: +1 (503) 547 0987

E-Mail (Sales)	us.sales@ftdichip.com
E-mail (Support)	us.support@ftdichip.com
E-mail (General Enquiries)	us.admin@ftdichip.com
Web Site URL	http://www.ftdichip.com

Branch Office – ShangHai, China

Future Technology Devices International Limited (China)
Room 408, 317 Xianxia Road,
ChangNing District,
ShangHai, P.R. China

Tel: +86 (21) 62351596
Fax: +86 (21) 62351595

E-Mail (Sales)	cn.sales@ftdichip.com
E-mail (Support)	cn.support@ftdichip.com
E-Mail (General Enquiries)	cn.admin@ftdichip.com
Web Site URL	http://www.ftdichip.com

Distributor and Sales Representatives

Please visit the Sales Network page of the FTDI Web site for the contact details of our distributor(s) and sales representative(s) in your country.

Appendix A – List of Tables and Figures

List of Tables

Table 4.1 Module Pin Out Description	9
Table 4.2 Jumper J1 Pin Description	9
Table 4.3 Jumper J2 Pin Description	9
Table 4.4 CBUS Signal Options	10
Table 6.1 Absolute Maximum Ratings	12
Table 6.2 Operating Voltage and Current	12
Table 6.3 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 5.0V, Standard Drive Level)	13
Table 6.4 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 3.3V, Standard Drive Level)	13
Table 6.5 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 2.8V, Standard Drive Level)	13
Table 6.6 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 5.0V, High Drive Level)	13
Table 6.7 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 3.3V, High Drive Level)	13
Table 6.8 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = 2.8V, High Drive Level)	14
Table 6.9 RESET# and TEST Pin Characteristics	14
Table 6.10 USB I/O Pin (USBDP, USBDM) Characteristics	14
Table 6.12 Internal Clock Characteristics	15
Table 9.1 Default Internal EEPROM Configuration	23

List of Figures

Figure 1.1 – UM232R USB Serial UART Development Module	1
Figure 4.1 Module Pin Out and Jumper Locations	7
Figure 5.1 UM232R Module Dimensions	11
Figure 7.1 Bus Powered Configuration	16
Figure 7.2 Self-Powered Configuration	17
Figure 7.3 Bus Powered with Power Switching Configuration	19
Figure 7.4 USB Bus Powered 3.3V Logic Drive	21
Figure 8.1 Module Circuit Schematic	22

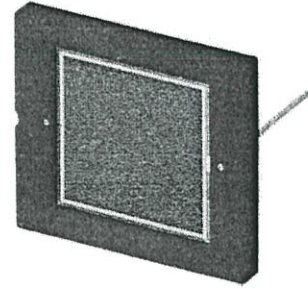
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix B – Revision History

Version 0.9	Initial Datasheet Created	August 2005
Version 1.00	Full Datasheet Release	December 2005
Version 1.01	Circuit Schematic Diagram Update	January 2006
Version 1.02	Module PCB Length Dimensions	January 2006
Version 1.03	Signal Description Update	May 2008
Version 1.04	Table 4.1 (PU1 and PU2) Update	August 2009
	Contact information Update	August 2009
	Added Windows 7 32,64 bit driver support	November 2009
	Changed references of MPROG to FT_PROG	November 2009
Version 1.05	Updated minimum supply for VCC to 4.0V	May 2011
	Formatting updates	
Version 1.1	Edited Module Dimensions (section 5)	November 2011



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FDS10X10

Description

The Thorlabs FDS10X10, silicon photodiode is ideal for measuring both pulsed and CW fiber light with sensitivity from 340 to 1100 nm. The detector is housed in a ceramic package with an anode and cathode connection. Under reverse bias application, the photodiode anode produces a current, which is a function of the incident light power and the wavelength. The responsivity $\mathfrak{R}(\lambda)$, can be read from Figure 1 to estimate the amount of photocurrent per incident light energy. The photodiode current can be converted to a voltage by placing a load resistor (R_L) between the photodiode anode and the circuit ground. The output voltage is derived as:

$$V_o = P \times \mathfrak{R} \times R_L$$

The bandwidth, f_{BW} , and the rise time response, t_R , are determined from the diode capacitance, C_j , and the load resistance, R_L , as shown below. The diode capacitance can be lowered by placing a bias voltage from the photodiode cathode to the circuit ground.

$$f_{BW} = \frac{1}{(2\pi)R_L C_j}, \quad t_R = \frac{0.35}{f_{BW}}$$

Specifications

Specification		Value
Wavelength Range	λ	340 - 1100 nm
Peak Wavelength	λ_p	960 nm
Responsivity	$\mathfrak{R}(\lambda_p)$	0.62 A/W
Active Area		100 mm ²
Rise/Fall Time ($R_L=50 \Omega$, 5 V)	t_r/t_f	150 ns / 150 ns
NEP, Typical (1550 nm)	W//Hz	1.50×10^{-14}
Dark Current (5 V)	I_d	200 pA
Capacitance (5 V)	C_j	380 pF
Package		Ceramic
Sensor Material		Silicon (Si)

Maximum Rating

Max Bias (Reverse) Voltage	5 V
Operating Temperature	-40 to +75 °C
Storage Temperature	-55 to +125 °C

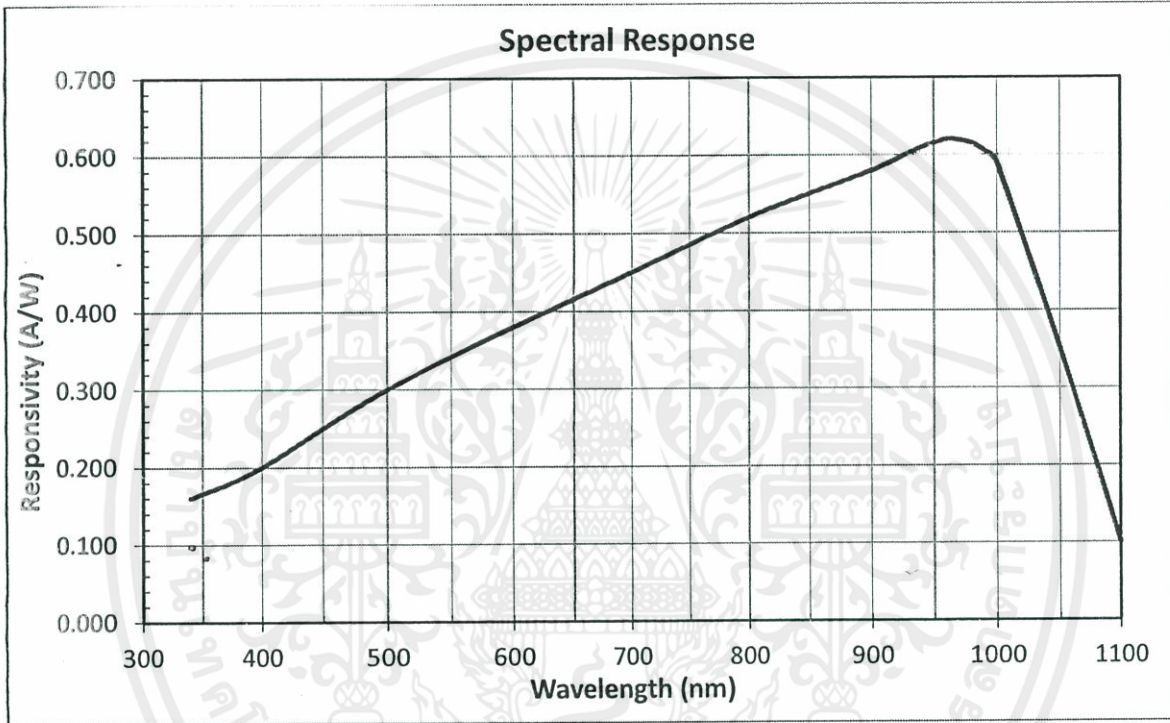


US, Canada, & South America: +1-973-300-3000 | Europe: +49 (0) 8131-5956-0 | UK & Ireland: +44 (0)1353-65440
 France: +33 (0) 970 44 48 44 | Scandinavia: +46-31-733-30-00 | Japan & Asia: +81-3-5979-8889 | China: +86 (0)21-32513486

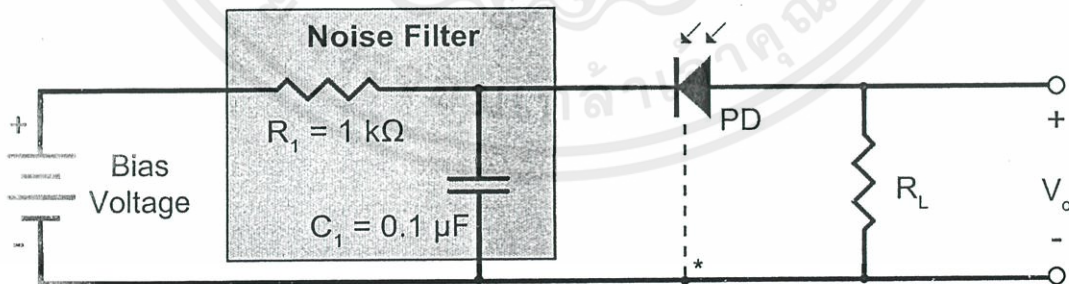
Specifications Subject to Change without Notice

September 7, 2012
 24706-S01, Rev A

Typical Spectral Intensity Distribution



Recommended Circuit



* Case ground for PD with a third lead.

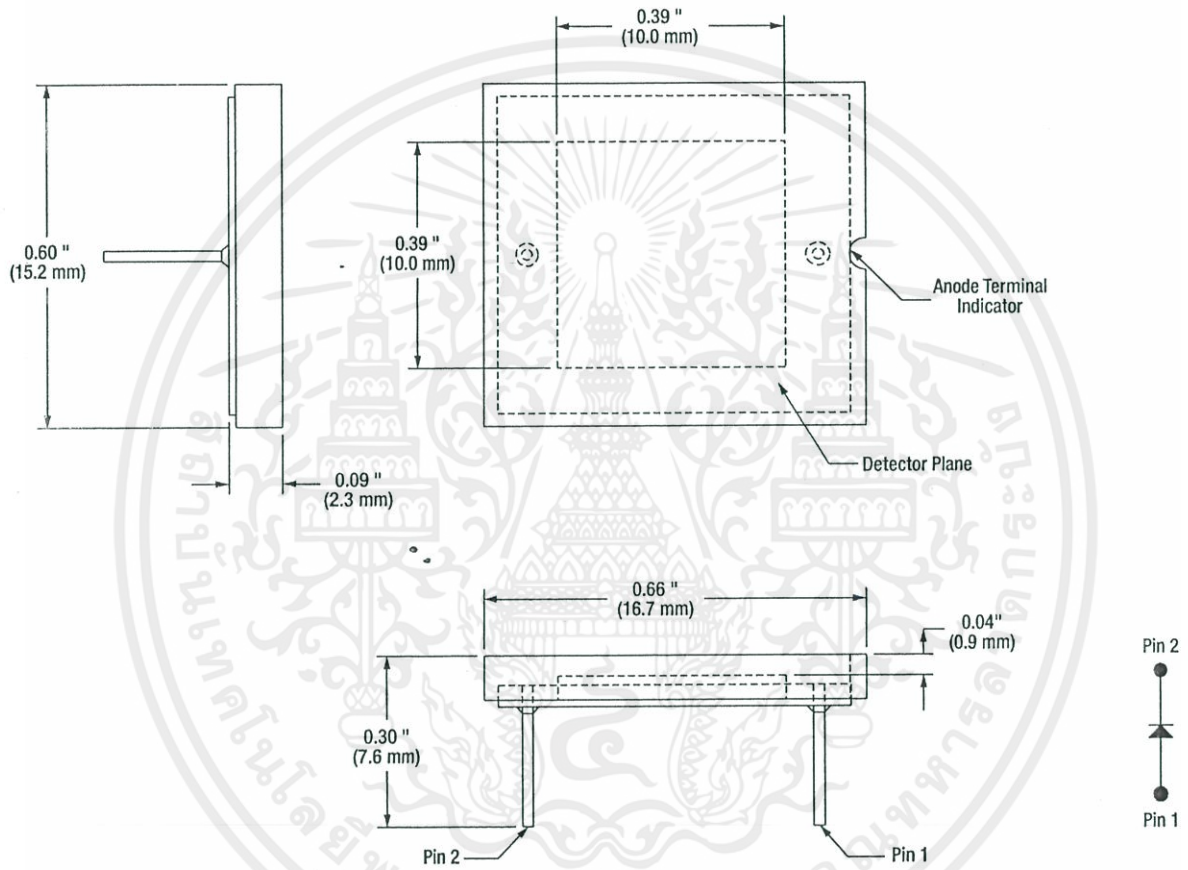
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการค้า

US, Canada, & South America: +1-973-300-3000 | Europe: +49 (0) 8131-5956-0 | UK & Ireland: +44 (0)1353-65440
 France: +33 (0) 970 44 48 44 | Scandinavia: +46-31-733-30-00 | Japan & Asia: +81-3-5979-8889 | China: +86 (0)21-32513486

Specifications Subject to Change without Notice

September 7, 2012
 24706-S01, Rev A

Drawing



Precautions and Warranty Information

These products are ESD (electro static discharge) sensitive and as a result are not covered under warranty. In order to ensure the proper functioning of a photodiode care must be given to maintain the highest standards of compliance to the maximum electrical specifications when handling such devices. The photodiodes are particularly sensitive to any value that exceeds the absolute maximum ratings of the product. Any applied voltage in excess of the maximum specification will cause damage and possible complete failure to the product. The user must use handling procedures that prevent any electro static discharges or other voltage surges when handling or using these devices.

Thorlabs, Inc. Life Support and Military Use Application Policy is stated below:

THORLABS' PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR IN ANY MILITARY APPLICATION WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF THORLABS, INC. As used herein:

- 1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.*
- 2. A critical component is any component in a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system or to affect its safety or effectiveness.*
- 3. The Thorlabs products described in this document are not intended nor warranted for usage in Military Applications.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

US, Canada, & South America: +1-973-300-3000 | Europe: +49 (0) 8131-5956-0 | UK & Ireland: +44 (0)1353-65440
France: +33 (0) 970 44 48 44 | Scandinavia: +46-31-733-30-00 | Japan & Asia: +81-3-5979-8889 | China: +86 (0)21-32513486

Specifications Subject
to Change without Notice

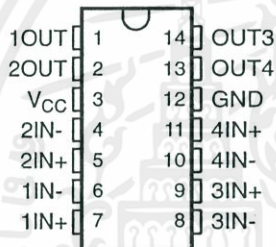
September 7, 2012
24706-501, Rev A

QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS

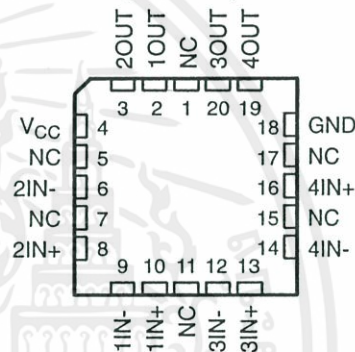
FEATURES

- Single Supply or Dual Supplies
- Wide Range of Supply Voltage
 - Max Rating: 2 V to 36 V
 - Tested to 30 V: Non-V Devices
 - Tested to 32 V: V-Suffix Devices
- Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage: 0.8 mA (Typ)
- Low Input Bias Current: 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current: 3 nA (Typ) (LM139)
- Low Input Offset Voltage: 2 mV (Typ)
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage: ± 36 V
- Low Output Saturation Voltage
- Output Compatible With TTL, MOS, and CMOS

LM139, LM139A... D, J, OR W PACKAGE
LM239... D, N, OR PW PACKAGE
LM239A... D PACKAGE
LM339, LM339A... D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE
LM2901... D, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



LM139, LM139A... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

DESCRIPTION/ORDERING INFORMATION

These devices consist of four independent voltage comparators that are designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from dual supplies also is possible, as long as the difference between the two supplies is 2 V to 36 V, and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. Current drain is independent of the supply voltage. The outputs can be connected to other open-collector outputs to achieve wired-AND relationships.

The LM139 and LM139A are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The LM239 and LM239A are characterized for operation from -25°C to 125°C . The LM339 and LM339A are characterized for operation from 0°C to 70°C . The LM2901, LM2901AV, and LM2901V are characterized for operation from -40°C to 125°C .



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1979–2009, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

ORDERING INFORMATION⁽¹⁾

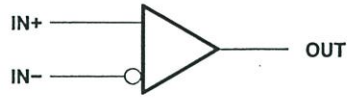
T _A	V _{IO} max AT 25°C	MAX V _{CC}	PACKAGE ⁽²⁾		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	5 mV	30 V	PDIP – N	Tube of 25	LM339N	LM339N
			SOIC – D	Tube of 50	LM339D	LM339
				Reel of 2500	LM339DR	
			SOP – NS	Reel of 2000	LM339NSR	LM339
			SSOP – DB	Reel of 2000	LM339DBR	LM339
			TSSOP – PW	Tube of 90	LM339PW	L339
	Reel of 2000	LM339PWR				
	2 mV	30 V	PDIP – N	Tube of 25	LM339AN	LM339AN
			SOIC – D	Tube of 50	LM339AD	LM339A
				Reel of 2500	LM339ADR	
			SOP – NS	Reel of 2000	LM339ANSR	LM339A
			SSOP – DB	Reel of 2000	LM339ADBR	L339A
TSSOP – PW			Tube of 90	LM339APW	L339A	
	Reel of 2000	LM339APWR				
–25°C to 85°C	5 mV	30 V	PDIP – N	Tube of 25	LM239N	LM239N
			SOIC – D	Tube of 50	LM239D	LM239
				Reel of 2500	LM239DR	
	TSSOP – PW	Tube of 90	LM239PW	L239		
		Reel of 2000	LM239PWR			
	2 mV	30 V	SOIC – D	Tube of 50	LM239AD	LM239A
Reel of 2500			LM239ADR			
SOIC – D			Reel of 2500	LM239ADR	LM239A	
–40°C to 125°C	7 mV	30 V	PDIP – N	Tube of 25	LM2901N	LM2901N
			SOIC – D	Tube of 50	LM2901D	LM2901
				Reel of 2500	LM2901DR	
			SOP – NS	Reel of 2000	LM2901NSR	LM2901
	TSSOP – PW	Tube of 90	LM2901PW	L2901		
		Reel of 2000	LM2901PWR			
	7 mV	32 V	SOIC – D	Reel of 2500	LM2901VQDR	L2901V
			TSSOP – PW	Reel of 2000	LM2901VQPWR	L2901V
	2 mV	32 V	SOIC – D	Reel of 2500	LM2901AVQDR	L2901AV
			TSSOP – PW	Reel of 2000	LM2901AVQPWR	L2901AV
–55°C to 125°C	5 mV	30 V	CFP – W	Tube of 25	LM139W	LM139W
			CDIP – J	Tube of 25	LM139J	LM139J
			LCCC – FK	Tube of 55	LM139FK	LM139FK
				Tube of 50	LM139D	LM139D
	SOIC – D	Reel of 2500	LM139DR			
	2 mV	30 V	CFP – W	Tube of 25	LM139AW	LM139AW
			CDIP – J	Tube of 25	LM139AJ	LM139AJ
			LCCC – FK	Tube of 55	LM139AFK	LM139AFK
			SOIC – D	Tube of 50	LM139AD	LM139AD
				Reel of 2500	LM139ADR	

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

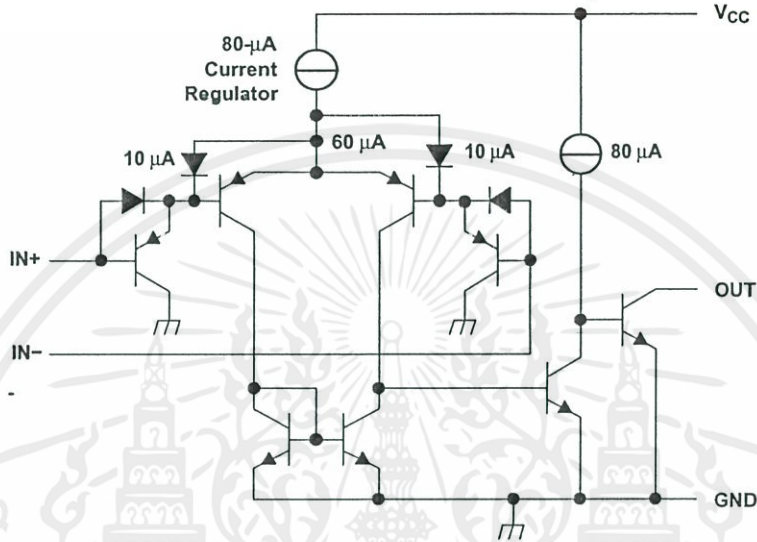
(2) Package drawings, thermal data, and symbolization are available at www.ti.com/packaging.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

SYMBOL (EACH COMPARATOR)



SCHEMATIC (EACH COMPARATOR)



All current values shown are nominal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply voltage ⁽²⁾		36	V
V _{ID}	Differential input voltage ⁽³⁾		±36	V
V _I	Input voltage range (either input)	-0.3	36	V
V _O	Output voltage		36	V
I _O	Output current		20	mA
Duration of output short circuit to ground ⁽⁴⁾		Unlimited		
θ _{JA}	Package thermal impedance, junction to free air ⁽⁵⁾⁽⁶⁾	D package	86	°C/W
		DB package	96	
		N package	80	
		NS package	76	
		PW package	113	
θ _{JC}	Package thermal impedance, junction to case ⁽⁷⁾⁽⁸⁾	FK package	5.61	°C/W
		J package	15.05	
		W package	14.65	
T _J	Operating virtual-junction temperature		150	°C
	Case temperature for 60 s	FK package	260	°C
	Lead temperature 1,6 mm (1/16 in) from case for 60 s	J package	300	°C
T _{stg}	Storage temperature range	-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values, except differential voltages, are with respect to network ground.
- (3) Differential voltages are at IN+ with respect to IN-.
- (4) Short circuits from outputs to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
- (5) Maximum power dissipation is a function of T_J (max), θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P_D = (T_J (max) - T_A)/θ_{JA}. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
- (6) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
- (7) Maximum power dissipation is a function of T_J (max), θ_{JC}, and T_C. The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is P_D = (T_J (max) - T_C)/θ_{JC}. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
- (8) The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	T_A ⁽²⁾	LM139			LM139A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR\text{ min}}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		2	5		1	2	mV
		Full range			9			4	
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		3	25		3	25	nA
		Full range			100			100	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		-25	-100		-25	-100	nA
		Full range			-300			-300	
V_{ICR} Common-mode input-voltage range ⁽³⁾		25°C		0 to $V_{CC} - 1.5$			0 to $V_{CC} - 1.5$		V
		Full range		0 to $V_{CC} - 2$			0 to $V_{CC} - 2$		
A_{VD} Large-signal differential-voltage amplification	$V_{CC+} = \pm 7.5\text{ V}$, $V_O = -5\text{ V to }5\text{ V}$	25°C		200		50	200	V/mV	
I_{OH} High-level output current	$V_{ID} = 1\text{ V}$	$V_{OH} = 5\text{ V}$	25°C		0.1		0.1	nA	
		$V_{OH} = 30\text{ V}$	Full range					1	μA
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $I_{OL} = 4\text{ mA}$	25°C		150	400		150	400	mV
		Full range			700			700	
I_{OL} Low-level output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_{OL} = 1.5\text{ V}$	25°C		6	16		6	16	mA
I_{CC} Supply current (four comparators)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	25°C		0.8	2		0.8	2	mA

- (1) All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.
 (2) Full range (MIN to MAX) for LM139 and LM139A is -55°C to 125°C . All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.
 (3) The voltage at either input or common-mode should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC+} - 1.5\text{ V}$; however, one input can exceed V_{CC} , and the comparator will provide a proper output state as long as the other input remains in the common-mode range. Either or both inputs can go to 30 V without damage.

SWITCHING CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM139	LM139A	UNIT
		TYP		
Response time	R_L connected to 5 V through 5.1 k Ω , $C_L = 15\text{ pF}$ ⁽¹⁾⁽²⁾	100-mV input step with 5-mV overdrive		1.3
		TTL-level input step		0.3

- (1) C_L includes probe and jig capacitance.
 (2) The response time specified is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	T_A ⁽²⁾	LM239 LM339			LM239A LM339A			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to } 30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR}\text{ min}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		2	5		1	3	mV	
		Full range			9			4		
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		5	50		5	50	nA	
		Full range			150			150		
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		-25	-250		-25	-250	nA	
		Full range			-400			-400		
V_{ICR} Common-mode input-voltage range ⁽³⁾		25°C		0 to $V_{CC} - 1.5$			0 to $V_{CC} - 1.5$		V	
		Full range		0 to $V_{CC} - 2$			0 to $V_{CC} - 2$			
A_{VD} Large-signal differential-voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V to } 11.4\text{ V}$, $R_L \geq 15\text{ k}\Omega\text{ to } V_{CC}$	25°C		50	200		50	200	V/mV	
I_{OH} High-level output current	$V_{ID} = 1\text{ V}$	$V_{OH} = 5\text{ V}$	25°C		0.1	50		0.1	50	nA
		$V_{OH} = 30\text{ V}$	Full range			1			1	μA
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $I_{OL} = 4\text{ mA}$	25°C		150	400		150	400	mV	
		Full range			700			700		
I_{OL} Low-level output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_{OL} = 1.5\text{ V}$	25°C		6	16		6	16	mA	
I_{CC} Supply current (four comparators)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	25°C		0.8	2		0.8	2	mA	

- (1) All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.
 (2) Full range (MIN to MAX) for LM239/LM239A is -25°C to 85°C , and for LM339/LM339A is 0°C to 70°C . All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.
 (3) The voltage at either input or common-mode should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} + 1.5\text{ V}$; however, one input can exceed V_{CC} , and the comparator will provide a proper output state as long as the other input remains in the common-mode range. Either or both inputs can go to 30 V without damage.

SWITCHING CHARACTERISTICS

$V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM239 LM239A LM339 LM339A	UNIT	
		TYP		
Response time	R_L connected to 5 V through 5.1 k Ω , $C_L = 15\text{ pF}$ ⁽¹⁾⁽²⁾	100-mV input step with 5-mV overdrive	1.3	μs
		TTL-level input step	0.3	

- (1) C_L includes probe and jig capacitance.
 (2) The response time specified is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾		T_A ⁽²⁾	LM2901			UNIT
				MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{IC} = V_{ICR\ min},$ $V_O = 1.4\text{ V},$ $V_{CC} = 5\text{ V to MAX}^{(3)}$	Non-A devices	25°C	2	7	mV	
			Full range		15		
		A-suffix devices	25°C	1	2		
			Full range		4		
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C	5	50	nA	
			Full range		200		
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C	-25	-250	nA	
			Full range		-500		
V_{ICR} Common-mode input-voltage range ⁽⁴⁾			25°C	0 to $V_{CC} - 1.5$		V	
			Full range	0 to $V_{CC} - 2$			
A_{VD} Large-signal differential-voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}, V_O = 1.4\text{ V to } 11.4\text{ V},$ $R_L \geq 15\text{ k}\Omega\text{ to } V_{CC}$		25°C	25	100	V/mV	
I_{OH} High-level output current	$V_{ID} = 1\text{ V}$	$V_{OH} = 5\text{ V}$	25°C	0.1	50	nA	
		$V_{OH} = V_{CC}\text{ MAX}^{(3)}$	Full range		1	μA	
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -1\text{ V},$ $I_{OL} = 4\text{ mA}$	Non-V devices	25°C	150	500	mV	
		V-suffix devices		150	400		
		All devices	Full range		700		
I_{OL} Low-level output current	$V_{ID} = -1\text{ V},$	$V_{OL} = 1.5\text{ V}$	25°C	6	16	mA	
I_{CC} Supply current (four comparators)	$V_O = 2.5\text{ V},$ No load	$V_{CC} = 5\text{ V}$	25°C	0.8	2	mA	
		$V_{CC} = \text{MAX}^{(3)}$		1	2.5		

(1) All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

 (2) Full range (MIN to MAX) for LM2901 is -40°C to 125°C . All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

 (3) $V_{CC}\text{ MAX} = 30\text{ V}$ for non-V devices, and 32 V for V-suffix devices

 (4) The voltage at either input or common-mode should not be allowed to go negative by more than 0.3 V . The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC+} - 1.5\text{ V}$; however, one input can exceed V_{CC} , and the comparator will provide a proper output state as long as the other input remains in the common-mode range. Either or both inputs can go to $V_{CC}\text{ MAX}$ without damage.

SWITCHING CHARACTERISTICS
 $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS		LM2901	UNIT
			TYP	
Response time	R_L connected to 5 V through $5.1\text{ k}\Omega,$ $C_L = 15\text{ pF}^{(1)(2)}$	100-mV input step with 5-mV overdrive	1.3	μs
		TTL-level input step	0.3	

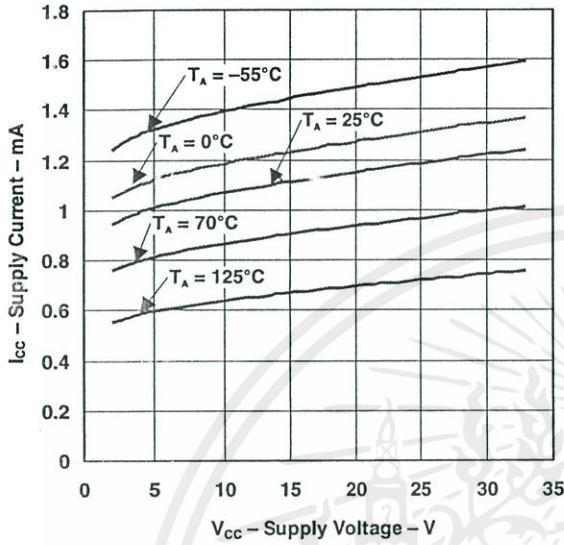
 (1) C_L includes probe and jig capacitance.

 (2) The response time specified is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V .

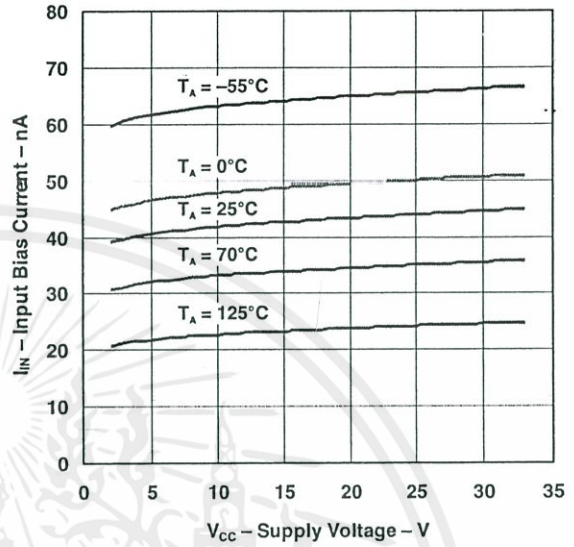
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TYPICAL CHARACTERISTICS

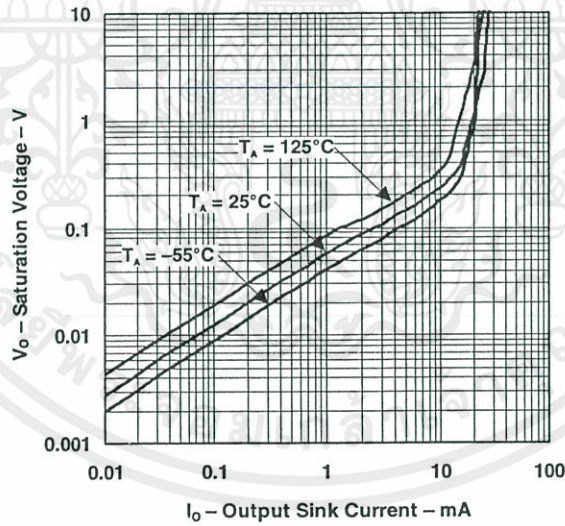
SUPPLY CURRENT
 vs
 SUPPLY VOLTAGE



INPUT BIAS CURRENT
 vs
 SUPPLY VOLTAGE



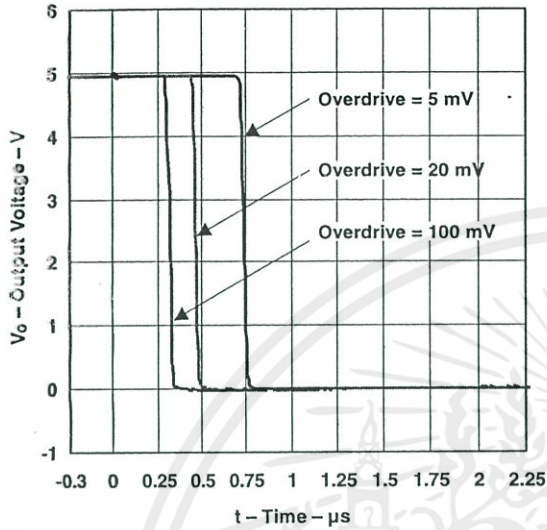
OUTPUT SATURATION VOLTAGE



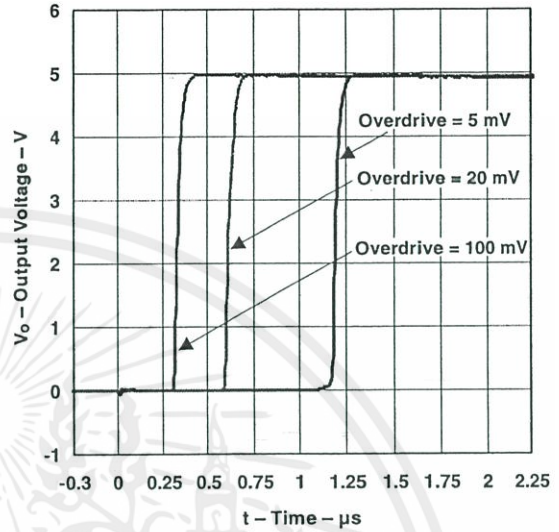
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

RESPONSE TIME FOR VARIOUS OVERDRIVES
NEGATIVE TRANSITION



RESPONSE TIME FOR VARIOUS OVERDRIVES
POSITIVE TRANSITION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
5962-7700801VCA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
5962-87739012A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
5962-8773901CA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
5962-8773901DA	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
77008012A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
7700801CA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
7700801DA	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
JM38510/11201BCA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139AD	ACTIVE	SOIC	D	14	50	TBD	CU NIPDAU	Level-3-245C-168 HR
LM139ADG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM139ADR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-2-250C-1 YEAR/ Level-1-235C-UNLIM
LM139ADRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM139AFKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
LM139AJ	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139AJB	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139AN	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM139AW	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139AWB	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	TBD	CU NIPDAU	Level-1-220C-UNLIM
LM139DG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM139DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	TBD	CU NIPDAU	Level-1-220C-UNLIM
LM139DRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM139FK	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
LM139FKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
LM139J	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139JB	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139N	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM139W	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM139WB	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
LM239AD	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา Addendum-Page 1 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
						no Sb/Br)		
LM239AN	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM239D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239N	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM239NE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM239PW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901AVQDR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-2-250C-1 YEAR/ Level-1-235C-UNLIM
LM2901AVQDRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901AVQPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	TBD	CU NIPDAU	Level-1-250C-UNLIM
LM2901AVQPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901N	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา Addendum-Page 2 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
LM2901NE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM2901NSR	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901NSRE4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901NSRG4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWLE	OBSOLETE	TSSOP	PW	14		TBD	Call TI	Call TI
LM2901PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901QD	OBSOLETE	SOIC	D	14		TBD	Call TI	Call TI
LM2901QN	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM2901VQDR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-2-250C-1 YEAR/ Level-1-235C-UNLIM
LM2901VQDRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901VQPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	TBD	CU NIPDAU	Level-1-250C-UNLIM
LM2901VQPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339AD	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADBR	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADBRG4	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339AN	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339ANE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339ANSR	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา Addendum-Page 3 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
						no Sb/Br)		
LM339ANSRG4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DBLE	OBSOLETE	SSOP	DB	14		TBD	Call TI	Call TI
LM339DBR	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DBRE4	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DBRG4	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339N	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339NE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339NSLE	OBSOLETE	SO	NS	14		TBD	Call TI	Call TI
LM339NSR	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339NSRG4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWLE	OBSOLETE	TSSOP	PW	14		TBD	Call TI	Call TI
LM339PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรใช้ผลิตภัณฑ์นี้กับวงจรที่ผลิตโดยสังเกีย
 Addendum-Page 4

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
						no Sb/Br)		
LM339PWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339Y	OBSOLETE			0		TBD	Call TI	Call TI

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF LM139, LM139-SP, LM239A, LM2901, LM2901AV, LM2901V :

- Automotive: LM239A-Q1, LM2901-Q1, LM2901AV-Q1, LM2901V-Q1
- Enhanced Product: LM239A-EP

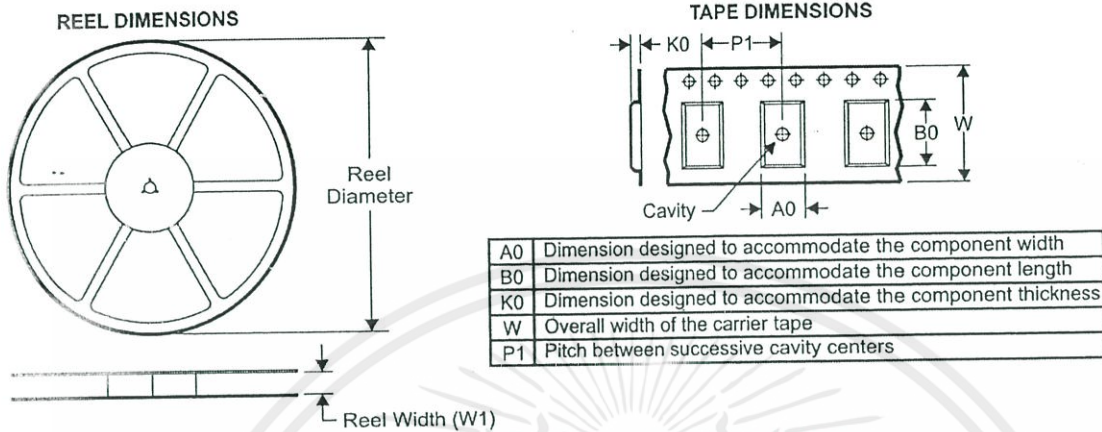
NOTE: Qualified Version Definitions:

- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects
- Enhanced Product - Supports Defense, Aerospace and Medical Applications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

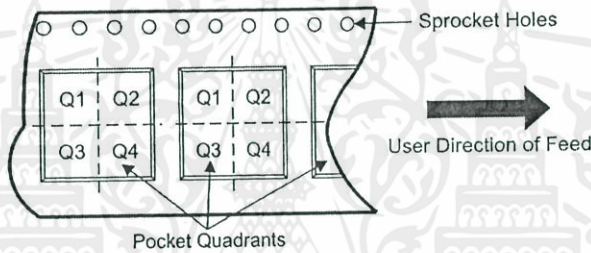
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAPE AND REEL INFORMATION



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



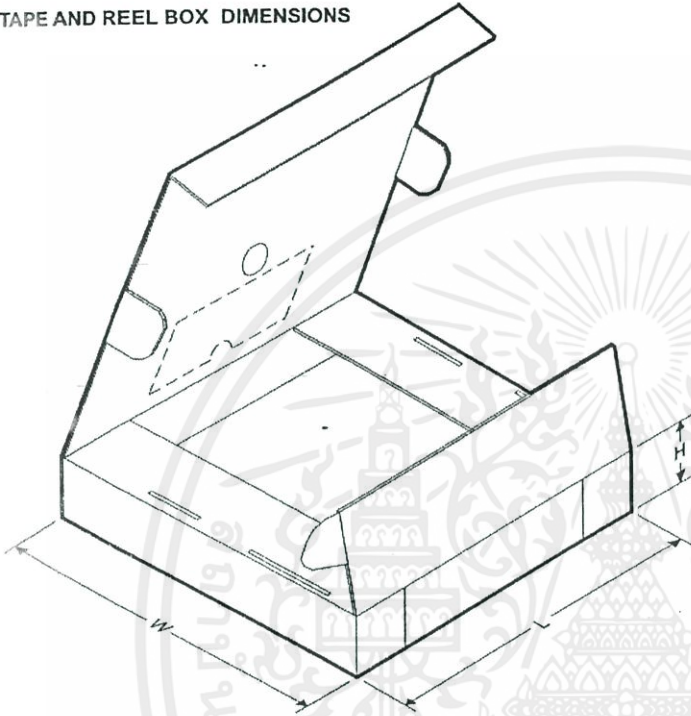
*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM239ADR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM239ADR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM239DR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM239DR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM239PWR	TSSOP	PW	14	2000	330.0	12.4	7.0	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM2901DR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM2901DR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM2901NSR	SO	NS	14	2000	330.0	16.4	8.2	10.5	2.5	12.0	16.0	Q1
LM2901PWR	TSSOP	PW	14	2000	330.0	12.4	7.0	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM339ADBR	SSOP	DB	14	2000	330.0	16.4	8.2	6.6	2.5	12.0	16.0	Q1
LM339ADR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM339ADR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM339ANSR	SO	NS	14	2000	330.0	16.4	8.2	10.5	2.5	12.0	16.0	Q1
LM339APWR	TSSOP	PW	14	2000	330.0	12.4	7.0	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM339ADBR	SSOP	DB	14	2000	330.0	16.4	8.2	6.6	2.5	12.0	16.0	Q1
LM339DR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM339DR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
LM339NSR	SO	NS	14	2000	330.0	16.4	8.2	10.5	2.5	12.0	16.0	Q1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Texas Instruments

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM339PWR	TSSOP	PW	14	2000	330.0	12.4	7.0	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM239ADR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6
LM239ADR	SOIC	D	14	2500	346.0	346.0	33.0
LM239DR	SOIC	D	14	2500	346.0	346.0	33.0
LM239DR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6
LM239PWR	TSSOP	PW	14	2000	346.0	346.0	29.0
LM2901DR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6
LM2901DR	SOIC	D	14	2500	346.0	346.0	33.0
LM2901NSR	SO	NS	14	2000	346.0	346.0	33.0
LM2901PWR	TSSOP	PW	14	2000	346.0	346.0	29.0
LM339ADBR	SSOP	DB	14	2000	346.0	346.0	33.0
LM339ADR	SOIC	D	14	2500	346.0	346.0	33.0
LM339ADR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6
LM339ANSR	SO	NS	14	2000	346.0	346.0	33.0
LM339APWR	TSSOP	PW	14	2000	346.0	346.0	29.0
LM339DBR	SSOP	DB	14	2000	346.0	346.0	33.0
LM339DR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6

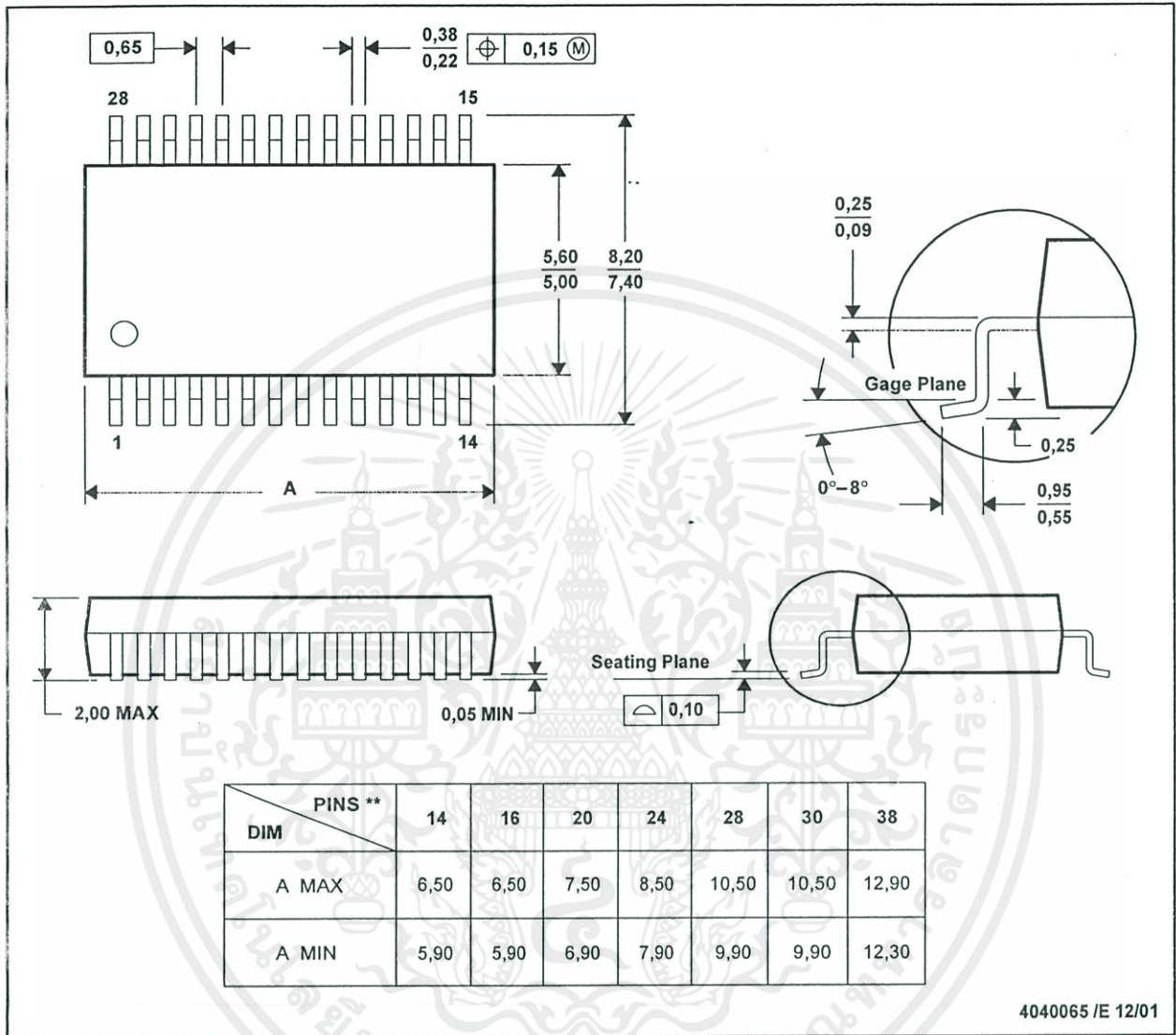
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM339DR	SOIC	D	14	2500	346.0	346.0	33.0
LM339NSR	SO	NS	14	2000	346.0	346.0	33.0
LM339PWR	TSSOP	PW	14	2000	346.0	346.0	29.0



DB (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE

28 PINS SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.
 D. Falls within JEDEC MO-150

4040065 /E 12/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหานี้ไปยังผู้อื่นหรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

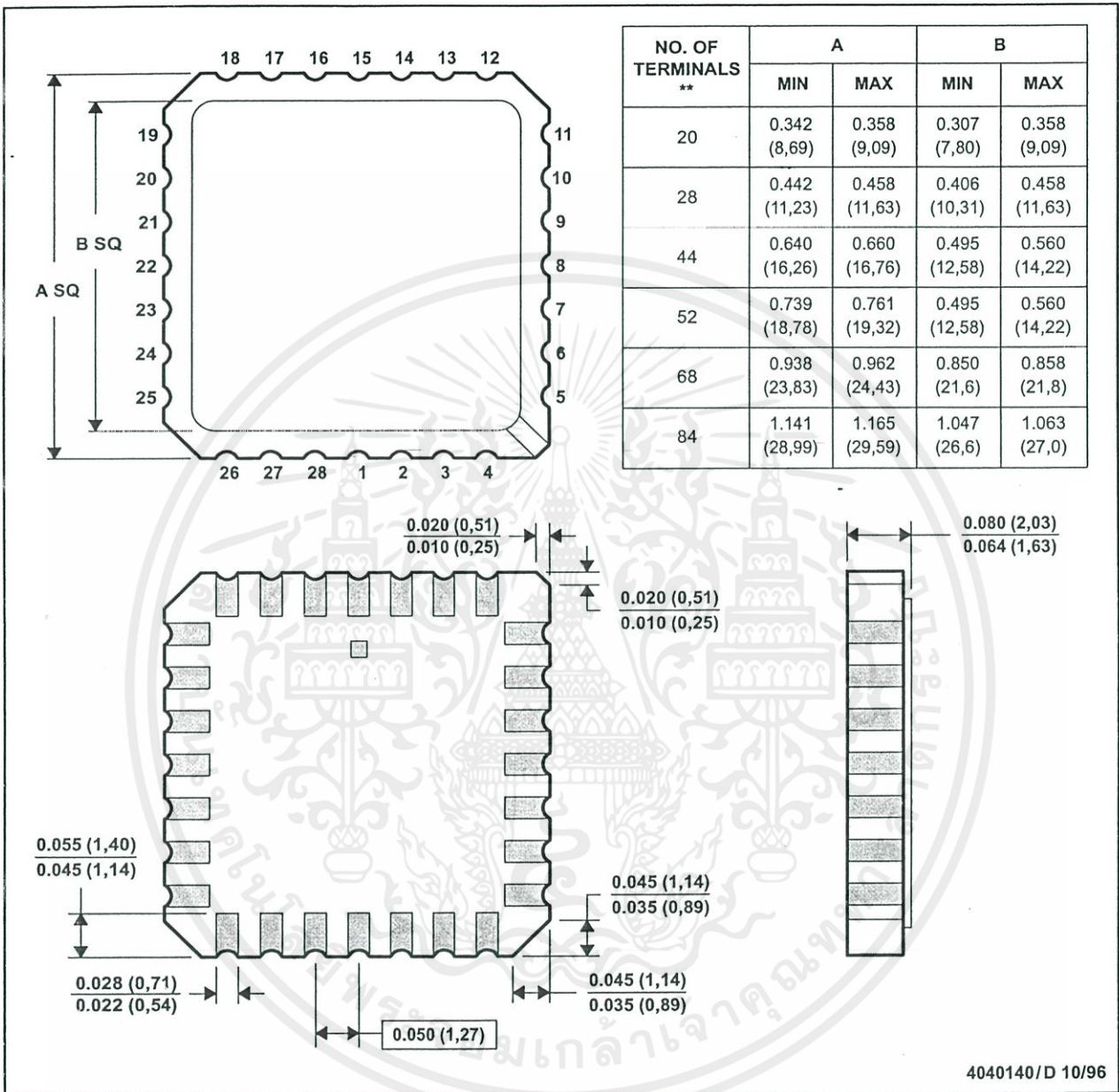


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

FK (S-CQCC-N**)

LEADLESS CERAMIC CHIP CARRIER

28 TERMINAL SHOWN

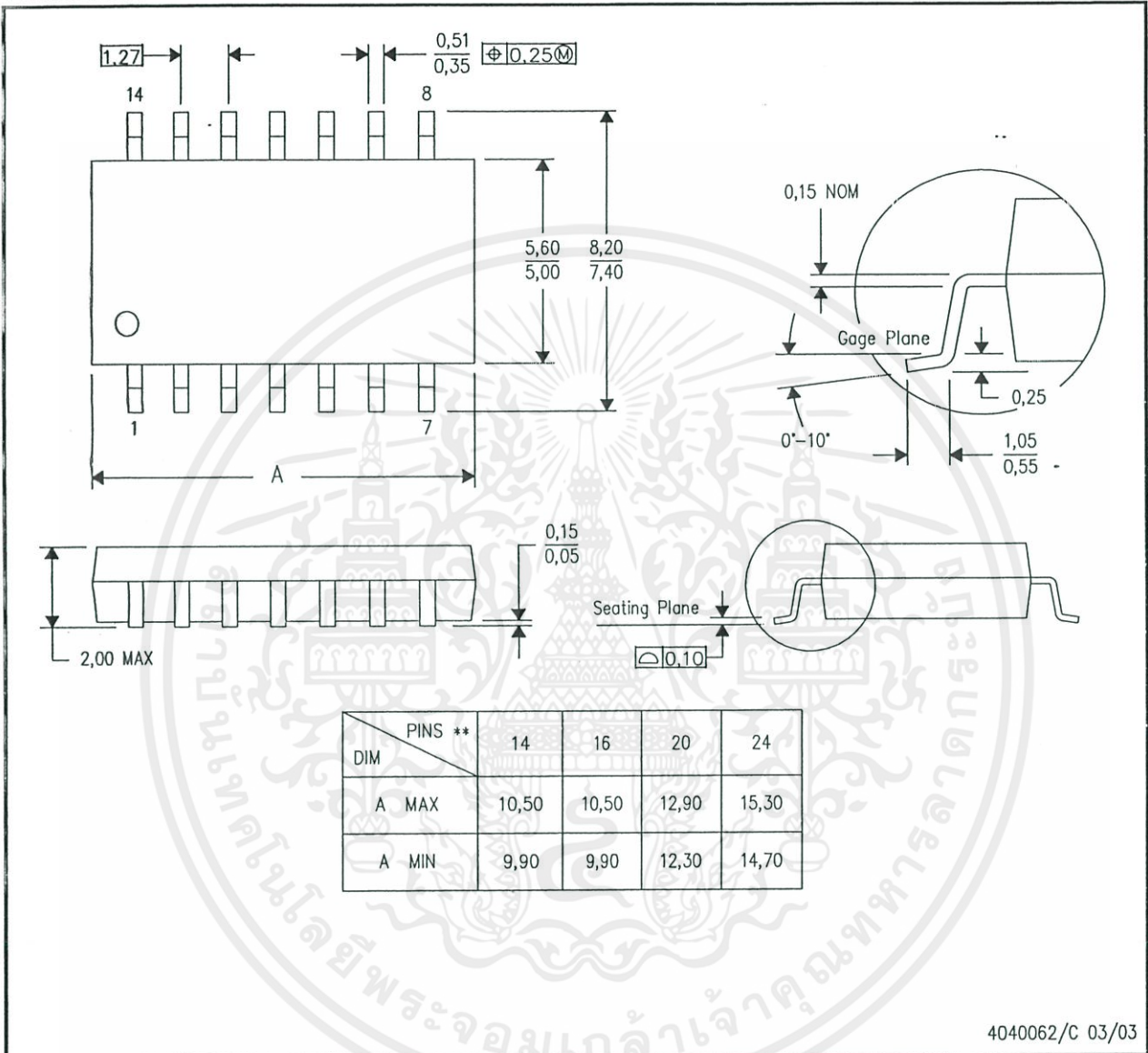


- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. This package can be hermetically sealed with a metal lid.
 D. The terminals are gold plated.
 E. Falls within JEDEC MS-004

MECHANICAL DATA

NS (R-PDSO-G)**
14-PINS SHOWN

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.

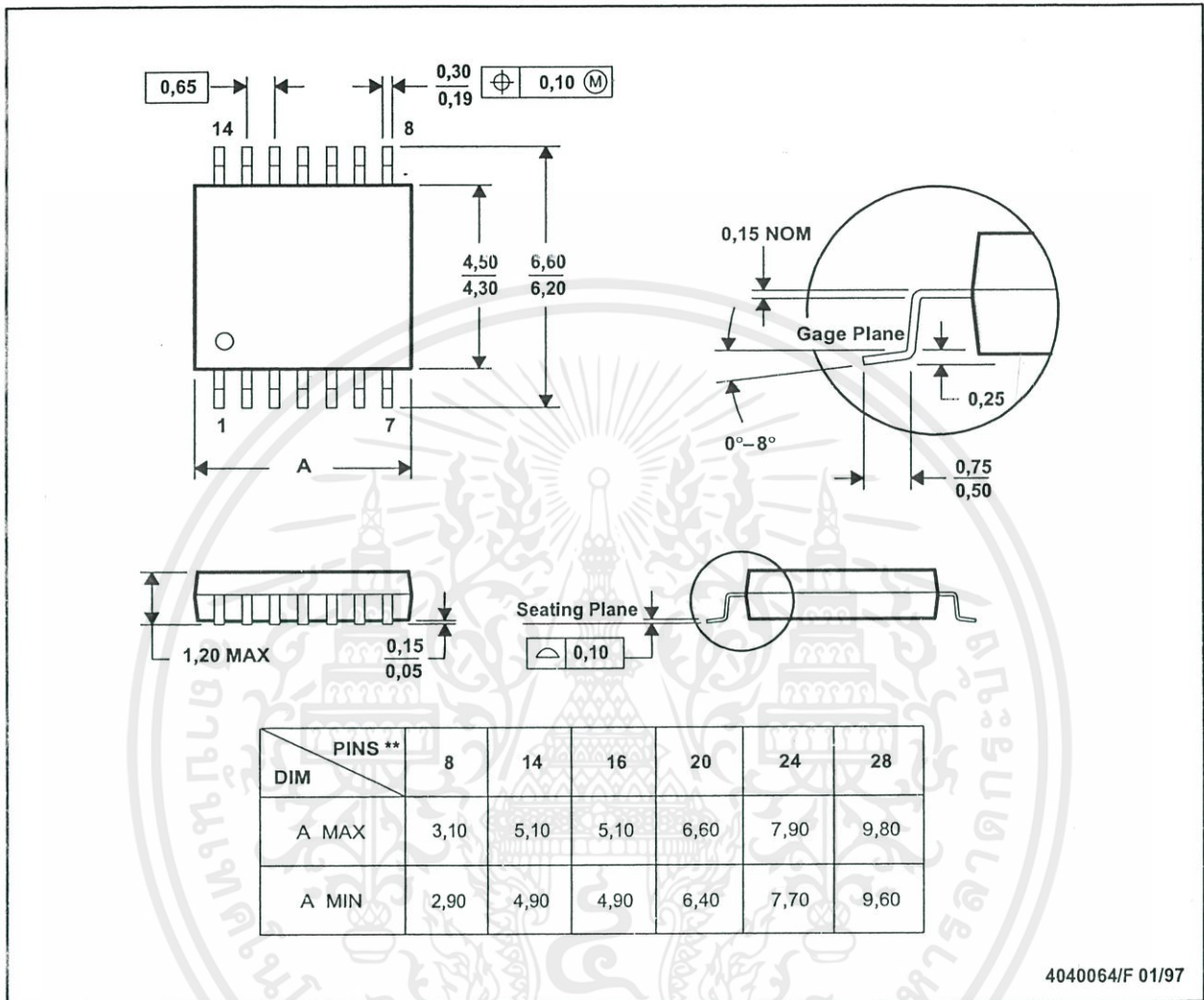
MECHANICAL DATA

MTSS001C – JANUARY 1995 – REVISED FEBRUARY 1999

PW (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14 PINS SHOWN



4040064/F 01/97

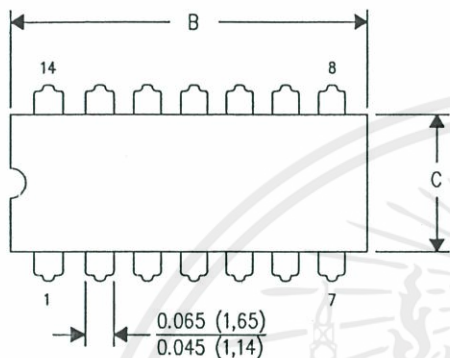
- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.
 D. Falls within JEDEC MO-153

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของ Texas Instruments และสงวนลิขสิทธิ์ไว้ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงโดยไม่ได้รับอนุญาต

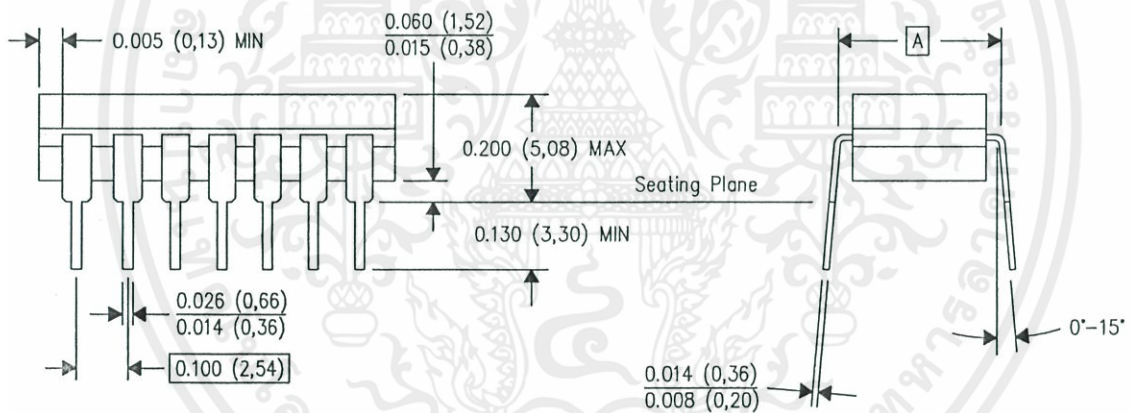
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Texas Instruments หรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J (R-GDIP-T**) 14 LEADS SHOWN

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE



DIM \ PINS **	14	16	18	20
A	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC
B MAX	0.785 (19,94)	.840 (21,34)	0.960 (24,38)	1.060 (26,92)
B MIN	—	—	—	—
C MAX	0.300 (7,62)	0.300 (7,62)	0.310 (7,87)	0.300 (7,62)
C MIN	0.245 (6,22)	0.245 (6,22)	0.220 (5,59)	0.245 (6,22)



4040083/F 03/03

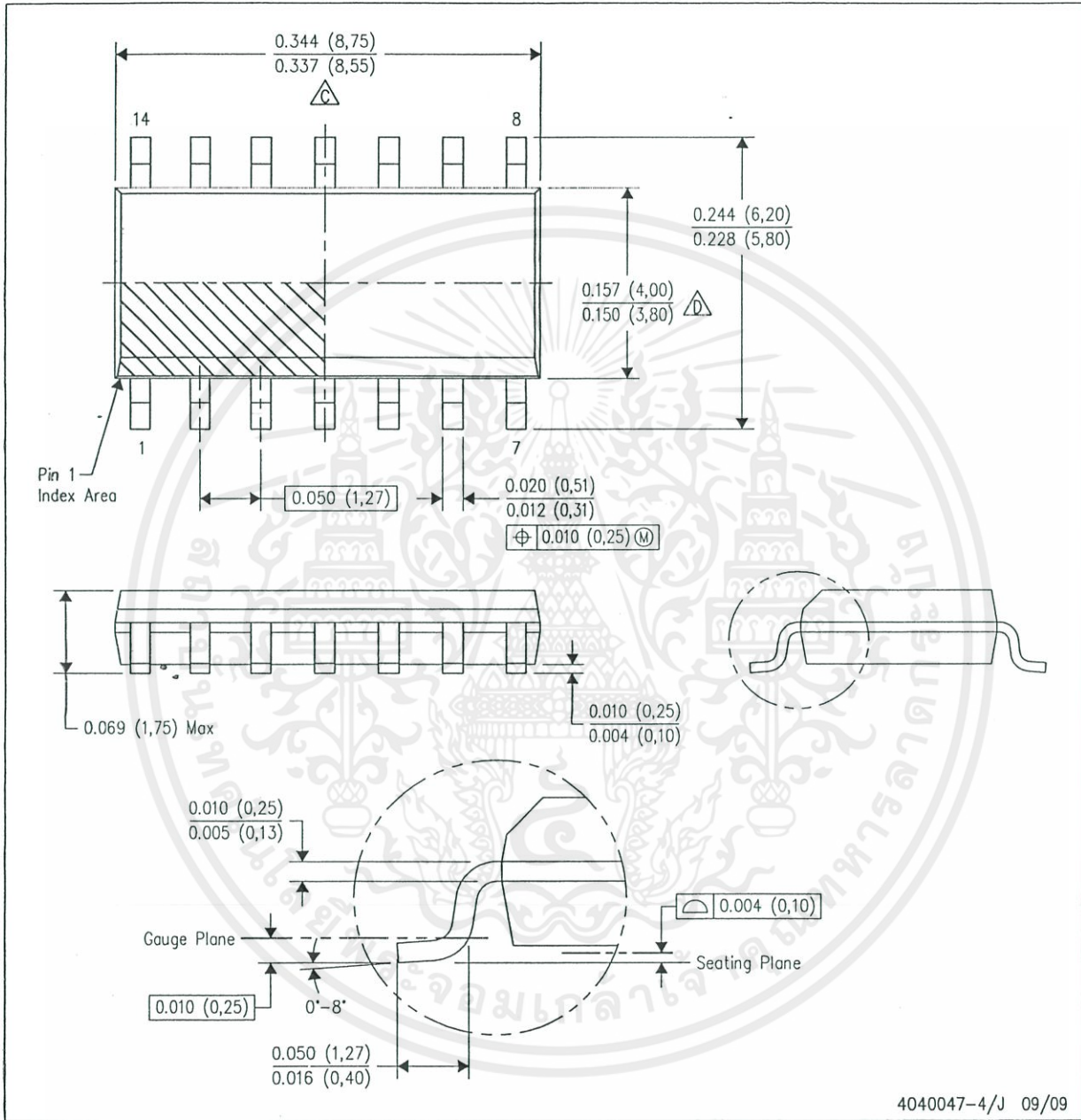
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 - D. Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
 - E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T14, GDIP1-T16, GDIP1-T18 and GDIP1-T20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

D (R-PDSO-G14)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4040047-4/J 09/09

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed .006 (0,15) per end.
 - D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed .017 (0,43) per side.
 - E. Reference JEDEC MS-012 variation AB.

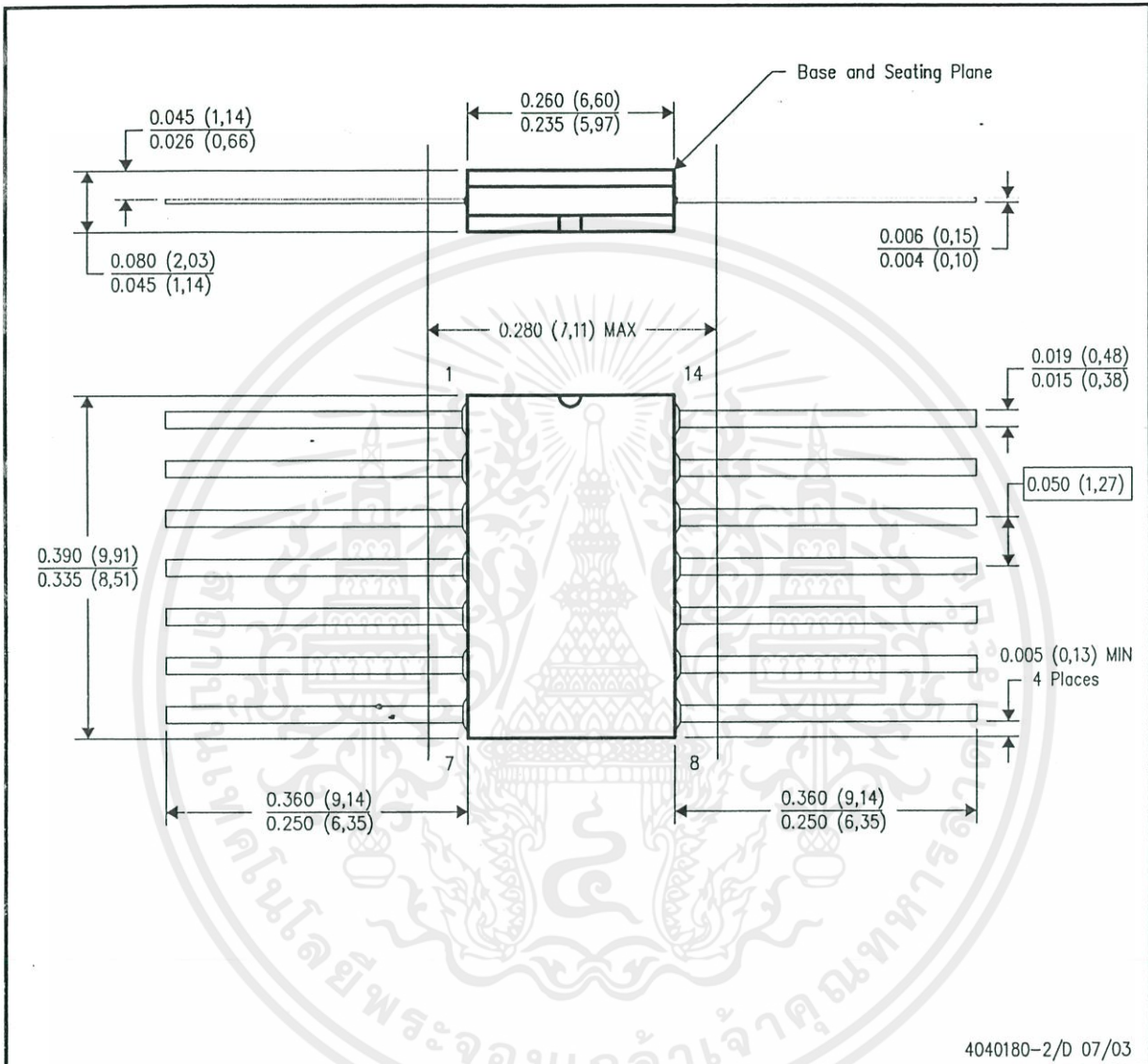
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อที่ของเอกสารนี้ อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



W (R-GDFP-F14)

CERAMIC DUAL FLATPACK



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package can be hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 - D. Index point is provided on cap for terminal identification only.
 - E. Falls within MIL STD 1835 GDFP1-F14 and JEDEC MO-092AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

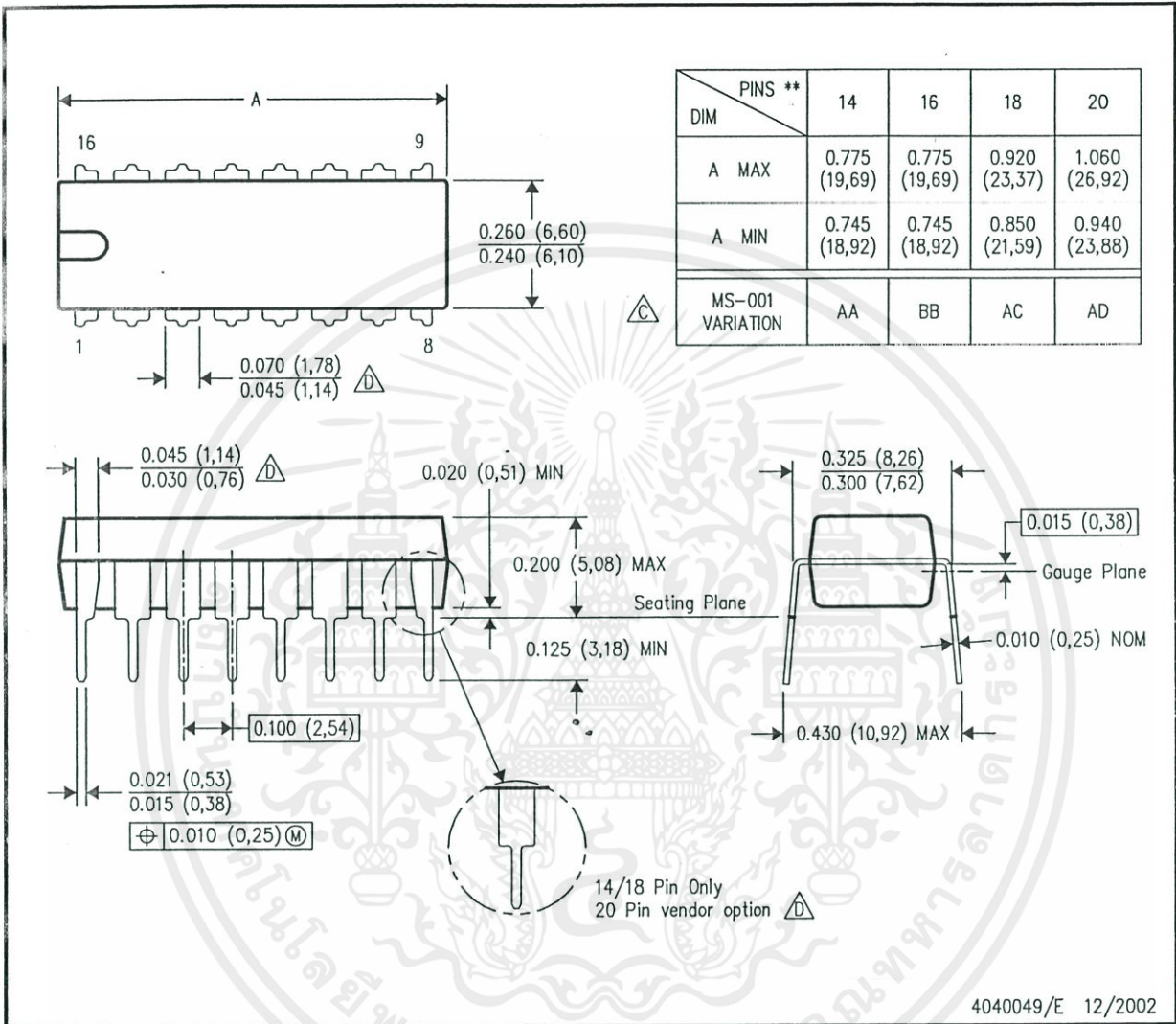
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อเรื่องหรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

N (R-PDIP-T**)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
 - D The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ **TEXAS INSTRUMENTS** อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ www.ti.com

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DLP® Products	www.dlp.com	Broadband	www.ti.com/broadband
DSP	dsp.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks	Medical	www.ti.com/medical
Interface	interface.ti.com	Military	www.ti.com/military
Logic	logic.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Power Mgmt	power.ti.com	Security	www.ti.com/security
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Telephony	www.ti.com/telephony
RFID	www.ti-rfid.com	Video & Imaging	www.ti.com/video
RF/IF and ZigBee® Solutions	www.ti.com/lprf	Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้