

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การพัฒนาสร้างเครื่องวัดปริมาณและขนาดของเมล็ดฝู่นโดยใช้หลักการ
การกระเจิงของแสง**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of a Dust Monitor Using Light Scattering Technique



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor
of Science**

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง
นักศึกษา

เครื่องวัดปริมาณฝุ่นโดยใช้หลักการกระเจิงทางแสง

นาย ชีรวุฒิ มาตรการวุญกุล

นางสาว ปองลักษณ์ เทียมดาว

นายกวิน ชงประยูร

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์

และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. อนุพงศ์ สรงประภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

อนุมัติให้ โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ กรรมการ กรรมการ กรรมการที่ปรึกษา	

.....
อ.น.ก.

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เดชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง การพัฒนาสร้างเครื่องวัดปริมาณและขนาดของเม็ดฝุ่นโดยโซลการ
การกระเจิงของแสง

นักศึกษา นาย วีรุฒิ มาตรจัญญกุล รหัสนักศึกษา 46050519
นางสาว ปองลักษณ์ เทียมคาว รหัสนักศึกษา 46050527
นาย กาวิน สงประยูร รหัสนักศึกษา 46050534

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
มการศึกษ 2549
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. อนุพงษ์ ทรงประภา
อาจารย์ที่ร่วมปรึกษา อ.วิฑูรย์ ยินดีสุข

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลในการประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณและขนาดของเม็ดฝุ่น โดยใช้หลักการของการกระเจิงของแสง ซึ่งวิธีการตรวจวัดจะทำโดย ตัวตรวจจับแสง ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณแสงที่ได้จากการกระเจิงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และ นำสัญญาณที่ได้ไปสู่ส่วนการประมวลผล โดยผ่านตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงผลออกมา และฝุ่นที่ทำการวัดในสภาพแวดล้อมมีขนาดของเม็ดฝุ่นที่แตกต่างกัน ซึ่งขนาดที่แตกต่างกันนั้นสามารถตรวจจับ โดยความเข้มของสัญญาณแสงที่ได้จากการกระเจิงของเม็ดฝุ่น ซึ่งจะมีความเข้มแสงที่แตกต่างกันและเมื่อแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันที่แตกต่างกัน ซึ่งจะสามารถแบ่งขนาดของเม็ดฝุ่นตามค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ซึ่งเครื่องมือนี้ได้ก่อประโยชน์ต่อประชาชนในด้านการดูแลสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Development of a Dust Monitor Using Light Scattering Technique

Name Mr. TEERAWOOT MARTJUMROONKUL 46050519
 Miss PONGLUX TIAMDOW 46050527
 Mr. PAWIN HONGPRYOON 46050527

Department Applied Physics Faculty of Science

Program Science and Industry Instrumentation

Academic Year 2006

Special Project Advisor ASSOC.PROF. ANUPONG SRONGPRAPA

Special Project co-advisor WITON YINDEESUK

ABSTRACT

The detail of this thesis is about the design and develop equipment that is used to measure quantity and diameter of dust by light scattering theory. This method is used for measuring by Photo- detector , it is duty of convert light signal which gets from light scattering to electronic signal and then microcontroller will evaluate the data from the electronic signals. Dust in surrounding has a different diameter . According to the different diameter can search by intensity of light signal acquired light scattering of dust .This is different intensity after convert light signal to electrical signal and we will get a different voltage. So we can separate size of dust by using voltage.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา

สำหรับความรู้ต่างๆที่ท่านได้อบรมสั่งสอนมา
และขอขอบคุณสำหรับคำอบรมต่างๆที่ท่านได้
อบรมบ่มนิสัยมา

ขอขอบคุณอาจารย์ วิฑูรย์ ยินดีสุข

สำหรับคำแนะนำต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
นี้

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน

สำหรับวิชาความรู้ต่างๆ ที่ท่านได้สั่งสอนมา

ขอขอบคุณ พี่ต้อง พี่อ้น พี่อู พี่อ้อค พี่วี พี่ไจ

สำหรับคำแนะนำในการทำโครงการนี้และ

และพี่ๆทุกคน

สำหรับกำลังใจต่างๆที่พี่ๆได้ให้มา

ขอขอบคุณเพื่อนๆภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

สำหรับกำลังใจที่ทำให้โครงการลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบ้านที่ทำความสะอาดคึกคักวิทย์เก่า ชั้น 3

ที่ช่วยทำความสะอาดห้องให้

ขอขอบคุณขามหน้าคึกคักวิทย์เก่า

ที่อยู่เฝ้าคึกเป็นเพื่อนกันทุกวัน

นาย ชีรวุฒิ

มาตรจําริญกุล

นางสาว ปองถักษณ์

เทียมดาว

นาย ภาวิน

สงประชูร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 การแสงและกระเจิงของแสง	7
2.1.1 ความหมายของการกระเจิงแสง	8
2.1.2 รูปแบบของการกระเจิง	9
2.1.2.1 การกระเจิงแบบเรย์เลห์	9
2.1.2.2 เป็นการกระเจิงแบบไม	10
2.1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและมวล ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้	12
2.1.3 การกระเจิงโคขอนุภาคทรงกลมเดี่ยว	13
2.1.4 มุมที่มีผลต่อการกระเจิง	15
2.1.5 ขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อการกระเจิง	16
2.2 หลักการของแสงเลเซอร์ (Laser)	16
2.3 Particle Size	18
2.4 Diaphragm Pump	19
2.4.1 หลักการทำงาน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ข้อดี ข้อเสียและข้อควรระวังในการใช้งาน Diaphragm Pump	20
2.5 The Multi-Channel Analyzer (MCA)	21
บทที่ 3 วิชาเนงานวอย	23
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ	23
3.1.1 การออกแบบในส่วนของระบบปั๊มดูดอากาศ	23
3.1.2 การออกแบบในส่วนของระบบเชิงแสง	23
3.1.3 การออกแบบในส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์	24
3.1.3.1 ส่วนของวงจรแหล่งกำเนิดแสง (Laser Diode)	24
3.1.3.2 วงจรตรวจจับแสง (Photo Detector)	24
3.1.3.3 วงจร Multi-Channel Analyzer (MCA)	25
3.1.3.4 วงจรประมวลผลและแสดงผล	26
3.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์	28
3.2.1 ส่วนของระบบปั๊มดูดอากาศ	28
3.2.2 การประดิษฐ์ในส่วนของระบบเชิงแสง	28
3.2.3 การประดิษฐ์ในส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์	29
3.2.3.1 ส่วนของวงจรแหล่งกำเนิดแสง (Laser Diode)	29
3.2.3.2 วงจรตรวจจับแสง (Photo Detector)	30
3.2.3.3 วงจร Multi-Channel Analyzer	31
3.2.3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้บอร์ด ARM-7	31
3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือ แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรม	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	36
4.1 การทดลองในระบบของปั๊ม	36
4.2 การทดลองในส่วนของระบบเชิงแสง (Chamber)	37
4.3 การทดลองในส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์	37
4.3.1 การทดลองในส่วนของแหล่งกำเนิดแสง	37
4.3.2 การทดลองตัวตรวจจับแสงและวงจรรขยายสัญญาณ	38
4.3.3 การทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer	39
4.3.4 การทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การทดลองในส่วนของ การวัดปริมาณฝุ่น	42
และการวัดเปรียบเทียบกับมาตรฐานเครื่อง	
- การทดลองตอนที่ 1 ทำการทดลองวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศปกติ	42
- การทดลองตอนที่ 2 ทำการวัดขนาดของสัญญาณพัลส์โดยการกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่นขนาด ตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร	47
- การทดลองตอนที่ 3 ทำการวัดขนาดของสัญญาณพัลส์โดยการกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่น ตั้งแต่ 5 ไมโครเมตรถึง 10 ไมโครเมตร	55
- การทดลองตอนที่ 4 ทำการทดลองวัดปริมาณฝุ่นในบริเวณห้องปกติ	63
- การทดลองตอนที่ 5 ทำการวัดปริมาณฝุ่นบริเวณที่มีปริมาณฝุ่นหนาแน่น (ตามท้องถนน)	65
- การทดลองตอนที่ 6 ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าของเครื่องที่ประดิษฐ์กับเครื่องมือที่มาตรฐาน	67
- การทดลองตอนที่ 7 ทำการทดลองวัดมวลของฝุ่น	69
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการทดลอง	70
5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินโครงการ	71
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ	71
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของแก่งกำเนิดแสง	38
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดขนาดของฟิล์มโดยการกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่นขนาด ตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร	49
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดขนาดของฟิล์มโดยการกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่นขนาด ตั้งแต่ 5 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร	57
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดปริมาณฝุ่นในบริเวณห้องปกติ	63
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดปริมาณฝุ่นบริเวณที่มีปริมาณฝุ่นหนาแน่น	65
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบค่าของเครื่องที่ประดิษฐ์กับเครื่องมือมาตรฐาน โดยใช้เวลาในการทดลอง 30 วินาที	68
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองวัดมวลของฝุ่นจากเครื่องที่ประดิษฐ์	69
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองวัดมวลโดยใช้หลักการ Quartz crystal Microbalance (QCM)	69

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการกระเจิงของแสง	9
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการกระเจิงของแสงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh Scattering)	10
รูปที่ 2.4 แสดงการกระเจิงของแบบไม (Mie scattering)	12
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและมวล ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้	12
รูปที่ 2.6 ค่าที่ใช้สำหรับในการคำนวณการกระเจิงแสง	13
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มุมของการกระเจิงกับความแตกต่าง ของภาคตัดขวางของการกระเจิง	15
รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาค กับ ความแตกต่างของภาคตัดขวางของการกระเจิง	16
รูปที่ 2.9 แสดงการแบ่งขนาดของอนุภาค โดยทั่วไปและการใช้กฎต่างๆในการ อธิบายพฤติกรรมของอนุภาค	19
รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานภายใน Diaphragm Pump	20
รูปที่ 2.11 MCA functional block diagram	22
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะภายนอกของตัว Chamber	23
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะภายในของตัว Chamber	24
รูปที่ 3.3 วงจรของแหล่งกำเนิดแสง	24
รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับแสง	25
รูปที่ 3.5 วงจร Multi-Channel Analyzer	26
รูปที่ 3.6 วงจรประมวลผลตระกูล ET- ARM - BASE2103	27
รูปที่ 3.7 แสดงรูปปี่มที่ใช้ในงานวิจัย	28
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะ Chamber ที่ทำการประดิษฐ์	29
รูปที่ 3.9 แสดงชนิดของเลเซอร์ที่ใช้ในการประดิษฐ์	29
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะวงจรที่ใช้ในการขับเลเซอร์	30
รูปที่ 3.11 Detector ชนิด Si PIN Photodiode เบอร์ S 1223 2F	30
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรขยายสัญญาณ	31

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร Multi-Channel Analyzer	31
รูปที่ 3.14 แสดงบอร์ดของ ARM-7	32
รูปที่ 3.15 แสดงรูปของ LCD	32
รูปที่ 3.16 Flow Chart แสดงการทำงานของส่วนประมวลผล	33
รูปที่ 3.17 โค้ดแกรมแสดงการทำงานและส่วนประกอบของระบบ	35
รูปที่ 4.1 แสดงรูปป๊อปที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	36
รูปที่ 4.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในระบบของ Chamber	37
รูปที่ 4.3 ก แสดงกราฟการทดลองในส่วนวงจรตรวจนับแสง ครั้งที่ 1	38
รูปที่ 4.3 ข แสดงกราฟการทดลองในส่วนวงจรตรวจนับแสง ครั้งที่ 2	39
รูปที่ 4.3 ค แสดงกราฟการทดลองในส่วนวงจรตรวจนับแสง ครั้งที่ 3	39
รูปที่ 4.4 ก กราฟแสดงผลการทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer ครั้งที่ 1	40
รูปที่ 4.4 ข กราฟแสดงผลการทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer ครั้งที่ 2	41
รูปที่ 4.4 ค กราฟแสดงผลการทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer ครั้งที่ 3	41
รูปที่ 4.5 แสดงการประมวลผลออกทางหน้าจอ LCD	42
รูปที่ 4.6 แสดงการเตรียมอุปกรณ์การทดลอง	43
รูปที่ 4.7 แสดงบล็อก โค้ดแกรมการทดลองตอนที่ 1	44
รูปที่ 4.8 ก แสดงผลการทดลองการวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศ ครั้งที่ 1	45
รูปที่ 4.8 ข แสดงผลการทดลองการวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศ ครั้งที่ 2	45
รูปที่ 4.8 ค แสดงผลการทดลองการวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศ ครั้งที่ 3	46
รูปที่ 4.9 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทำการทดลอง	47
รูปที่ 4.10 แสดงบล็อก โค้ดแกรมการทดลองตอนที่ 2	48
รูปที่ 4.11ก แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1	50
รูปที่ 4.11ข แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2	50
รูปที่ 4.11ค แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 3	51
รูปที่ 4.11ง แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 4	51
รูปที่ 4.11จ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 5	52
รูปที่ 4.11ฉ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 6	52

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11ซ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 7	53
รูปที่ 4.11ข แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 8	53
รูปที่ 4.11ฅ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 9	54
รูปที่ 4.11ญ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 10	54
รูปที่ 4.12 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทำการทดลอง	55
รูปที่ 4.13 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทดลองตอนที่ 3	56
รูปที่ 4.14 ก แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 1	58
รูปที่ 4.14 ข แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 2	58
รูปที่ 4.14 ค แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 3	59
รูปที่ 4.14 ง แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 4	59
รูปที่ 4.14จ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 5	60
รูปที่ 4.14 ฉ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 6	60
รูปที่ 4.14 ช แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 7	61
รูปที่ 4.14 ซ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 8	61
รูปที่ 4.14 ฅ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 9	62
รูปที่ 4.14 ญ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 10	62
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการทดลองตอนที่ 4 วัดปริมาณฝุ่นในบริเวณห้องปกติ	64
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการทดลองตอนที่ 5 วัดปริมาณฝุ่นในบริเวณที่มีฝุ่นหนาแน่น	66
รูปที่ 4.17 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทำการทดลอง	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบอุตสาหกรรมเติบโตขึ้นอย่างมากเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง การกระจายตัวของแก๊สพิษชนิดต่างๆ ได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มคนที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการก่อสร้างถนน การก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน รวมไปถึงบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น ในชุมชนแออัด หรือในบริเวณที่มีก่อตั้งโรงงาน อุตสาหกรรม ล้วนแต่เป็นบ่อเกิดของปัญหามลภาวะทางอากาศเป็นพิษทั้งสิ้น ซึ่งอาจเป็นปัญหาการฟุ้งกระจายของฝุ่น การกระจายของผงปูน ทราย หรือเขม่าควัน ไอเสียจากทั้งรถยนต์และโรงงานต่างๆ ซึ่ง สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ มีผลต่อสุขภาพและระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ได้แก่ โรคปอดอักเสบ หลอดลมอักเสบ อาการแน่นหน้าอก มะเร็งที่ปอด อีกทั้งอาการระคายเคืองตา ภูมิแพ้ทางผิวหนัง ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ปัญหามลพิษทางอากาศจะเกิดในชุมชนเมืองแล้ว ในชุมชนชนบทก็ประสบปัญหานี้เช่นเดียวกัน ซึ่งอาจจะเกิดจาก เขม่าควันจากการเผาหญ้า ฝุ่นจากการสีข้าว การทำเหมืองหิน เหมืองแร่ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ก็ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนเช่นกัน นอกจากนี้แล้ว ฝุ่น ก็ยังมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือทางอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดความผิดพลาดในการใช้งาน และทำให้อายุการใช้งานสั้นลงอีกด้วย จากผลการสำรวจที่มีมาจะเห็นได้ว่า ปริมาณฝุ่น เป็นปริมาณที่ตรวจพบมากที่สุดในอากาศ จึงได้มีความคิดที่จะสร้างเครื่องวัดปริมาณฝุ่นที่สามารถวัดปริมาณฝุ่นได้อย่างแม่นยำ มีประสิทธิภาพสูง แต่มีราคาต้นทุนที่ต่ำ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการต่อยอดจากงานวิจัยของ นางสาวนฤนาท ศิลาคุปต์ ได้ศึกษาหลักการของ การกระเจิงของแสง ซึ่งวิธีนี้มีความแตกต่างกับงานวิจัยของ นายณรงค์ชัย ทองน้อย ที่ได้ประดิษฐ์เครื่องวัดปริมาณฝุ่นโดยใช้หลักการ ของ Quartz crystal Microbalance (QCM) รวม กับ พื้นฐานวิธีการดักจับฝุ่นโดย Impactor และไฟฟ้าสถิต โดยที่เครื่องมือชนิดนี้มีข้อเสีย คือ เมื่อเวลาที่เราใช้งานตัวเครื่องไปนานๆแล้วจะเกิดฝุ่นเกาะที่บริเวณผิวคริสตัลหนาตัวขึ้น เป็นผลทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก จากข้อเสียนี้ ได้ทำการพัฒนาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม โดยเปลี่ยนหลักการจาก Quartz crystal Microbalance (QCM) เป็นหลักการทางแสงของ

ทฤษฎีการกระเจิงแสงโดยการวัดฝุ่นด้วยแสงเลเซอร์ซึ่งถือว่าวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ดี และสามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน และเป็นที่ยอมรับในสากลว่าเป็นเครื่องวัดฝุ่นที่มีประสิทธิภาพสูง มีการดูแลและใช้งานง่าย เครื่องวัดฝุ่นโดยใช้หลักการของการกระเจิงของแสง นี้เป็นเครื่องวัดปริมาณฝุ่นที่สามารถแจกแจงขนาดของเม็ดฝุ่นและปริมาณของฝุ่นได้ ซึ่งจะใช้แสงเลเซอร์ยิงผ่านอนุภาคของฝุ่นจะทำให้เกิดการกระเจิง หลังจากนั้นทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่ได้จากการกระเจิงของแสง โดยเปรียบเทียบออกมาเป็นค่าความเข้มของแสง แล้วประมวลผลออกมาในรูปของ สัญญาณพัลส์ ซึ่งเครื่องวัดฝุ่นนี้สามารถนำไปวัดปริมาณฝุ่นตามชุมชนที่อยู่อาศัย เพื่อใช้ในการตรวจสอบสุขภาพของประชาชนในชุมชน เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการสร้างเครื่องวัดปริมาณฝุ่นในโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว แต่เป็นเครื่องมือที่มีราคาแพง โดยบุคคลทั่วไปไม่สามารถหาซื้อได้ ดังนั้นจึงได้คิดสร้างเครื่องวัดฝุ่นที่มีต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพสูง เครื่องมือชนิดนี้ไม่สามารถที่จะลดปริมาณฝุ่นได้ แต่ทำให้เราทราบว่าในบริเวณนั้นมีปริมาณฝุ่นเท่าใด ทำให้เราสามารถที่จะหาวิธีป้องกันได้ มันจะส่งผลต่อสุขภาพที่ดีของประชาชนในชุมชนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการและทฤษฎีในเรื่อง การกระเจิงของแสง ในการวัดปริมาณ และขนาดของอนุภาคได้
2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีในเรื่องเลเซอร์และการนำมาประยุกต์ใช้
3. ศึกษาและทำการออกแบบวงจรที่ใช้ในงานตรวจวัดฝุ่น เช่น วงจรแหล่งกำเนิดแสง วงจรตัวตรวจจับสัญญาณ วงจร Multi-Channel Analyzer วงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์
4. สร้างเครื่องวัดปริมาณฝุ่นที่มีต้นทุนต่ำ
5. สามารถวัดปริมาณฝุ่นในสภาพแวดล้อมตามชุมชนทั่วไปได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในโครงการงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหลักการการกระเจิงของแสงต่ออนุภาคที่มีขนาดต่างๆ โดยเน้นที่จะศึกษาการกระเจิงแสงของเม็ดฝุ่นในมุมต่างๆ โดยใช้แหล่งกำเนิดของแสงเป็นแสงเลเซอร์ (Laser diode) ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาหลักการพื้นฐานของแสงเลเซอร์เพื่อที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานวิจัยนี้ได้ และทำการศึกษาคircuitตัวตรวจจับ (Detector) ในแบบต่างๆ เพื่อที่จะเลือกตัวตรวจจับที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการทำงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังต้องทำการศึกษาและเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมตัวเครื่องและทำการประมวลผลออกมาในรูปแบบของจำนวนและขนาดของเม็ดฝุ่น โดยทำการแปลงมาจากสัญญาณที่เป็นพัลส์ แล้วทำการประดิษฐ์เครื่องวัดปริมาณฝุ่นที่สามารถวัดได้ทั้งขนาดและปริมาณ โดยเครื่องที่ประดิษฐ์ควรจะเป็นเครื่องที่มีขนาดกะทัดรัดและมีประสิทธิภาพในการวัดค่อนข้างแม่นยำ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน แบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

ขั้นตอนที่1

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการของ Light Scattering โดยศึกษาถึงทฤษฎีพื้นฐาน ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดแสง ตัวตรวจรับแสง ตัวประมวลผล และหลักการออกแบบเครื่องวัด ปริมาณฝุ่น รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่2

ศึกษาตัวเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง และหลักการในการใช้งานด้านต่างๆ

ขั้นตอนที่3

ทำการทดลอง วัดขนาดและปริมาณฝุ่น โดยทดลองจากเครื่องมือที่ห้องวิจัย โดยทำการจัดทำชุดทดลองขึ้นมา เพื่อเป็นแบบแผนในการสร้างเครื่องมือจริงต่อไป

ขั้นตอนที่4

ทำการประดิษฐ์เครื่องวัดปริมาณฝุ่นให้ใช้งานได้จริง

ขั้นตอนที่5

ทำการตรวจสอบเครื่องมือ และแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากเครื่องวัดปริมาณฝุ่น

ขั้นตอนที่6

ทำการปรับปรุงและแก้ไขส่วนที่บกพร่องของเครื่อง

ขั้นตอนที่ 7

สรุปผลและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนและวิวัฒนาการ	2549										2550					
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.							
1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการของการกระเจิงของแสง																
2. ศึกษาเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง																
3. ทำการทดลอง																
4. ทำการประดิษฐ์เครื่องมือ																
5. ทดสอบเครื่องมือ																
6. ปรับปรุงแก้ไข																
7. สรุปผลและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนา																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ศึกษาทฤษฎีของการวัดฝุ่นในแบบต่างๆ
- ทำให้ทราบและเรียนรู้การทำงานและโปรแกรมของ ARM-7
- ประดิษฐ์เครื่องวัดปริมาณฝุ่นที่มีประสิทธิภาพ ในการวัดปริมาณฝุ่นได้
- เครื่องที่ประดิษฐ์มีขนาดเล็ก กะทัดรัด พกพาสะดวก ราคาถูก
- เครื่องประดิษฐ์ที่มีความน่าเชื่อถือ



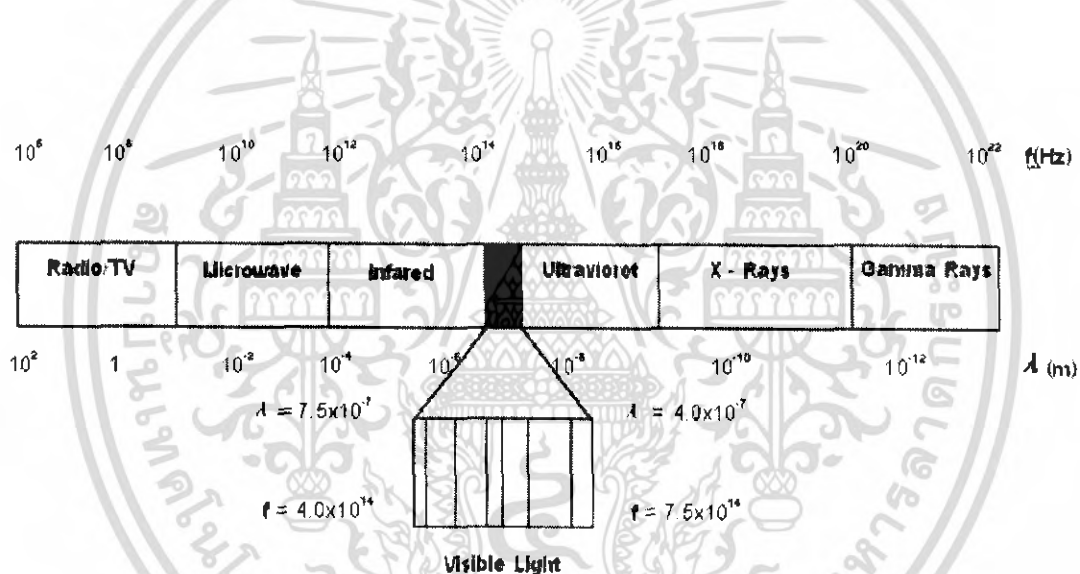
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แสงและการกระเจิงของแสง

แสง คือ การแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น หรือ บางครั้งอาจรวมถึงการแผ่รังสีของแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ รังสีอินฟราเรด (ความถี่ประมาณ 10^{13} เฮิรต) ถึง รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ความถี่ประมาณ 10^{17} เฮิรต) หรือ ช่วงความยาวคลื่น 3 นาโนเมตร – 30000 นาโนเมตร ส่วนที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร (แสงสีม่วง) ถึง ประมาณ 750 นาโนเมตร (แสงสีแดง)



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในโครงการนี้ ส่วนที่เกี่ยวข้องคือมีการยิงลำแสงไปกระทบกับอนุภาค จะเกิดปรากฏการณ์การดูดกลืนแสง (Absorption) และเกิดการกระเจิงของแสง (Scattering) ปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างนี้เกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงและสมบัติเชิงแสงของวัตถุ ซึ่งผลของการที่วัตถุดูดกลืนและกระเจิงของแสงเราทราบได้จากการสูญเสียของแสงตั้งต้น คือ

การลดทอน = การกระเจิง + การดูดกลืน

ความเข้มของการกระเจิงที่วัดปริมาณหนึ่งหน่วย ซึ่งส่องผ่าน โดยหน่วยการวัดแสง คือ FLUX เป็น ฟังก์ชันของอัตราส่วนของดัชนีหักเหระหว่างวัตถุ และ ตัวกลางโดยรอบของวัตถุ ท่ามกลาง คุณสมบัติที่แตกต่างของวัตถุ จากกฎของ Rayleigh Scattering ขนาดของอนุภาคจะเล็กกว่าความยาวคลื่น แสง โดยความเข้มของการกระเจิง (I_s) เป็นสัดส่วนที่ตรงข้ามกับกำลังสี่ของความยาวคลื่น เมื่อเป็นวัตถุ เดียวกัน การส่องแสงจะต่างกันเมื่อแสงที่เข้ามามีความยาวคลื่นต่างกัน ดังสมการนี้

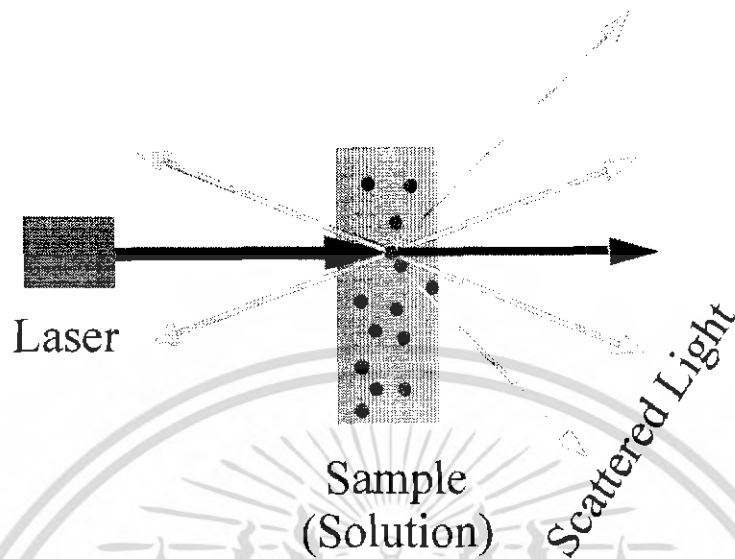
$$I_s \propto I_0 / \lambda^4 \quad (2.1)$$

ในความเป็นจริง ความยาวคลื่นขึ้นอยู่กับ กำลังของการกระเจิง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การกระเจิงที่ สังกัดได้เป็นอันดับแรกในธรรมชาติ

2.1.1 ความหมายของการกระเจิงแสง

การกระเจิงแสง (Light Scattering) เกิดจากการที่แสงตกกระทบกับ โมเลกุลของ อากาศ ไอ้ น้ำ หรือฝุ่นละออง ในอากาศหรือสารแขวนลอยในน้ำที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น ของแสง สนามไฟฟ้าของแสงจะทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมเกิดการแกว่งในแนวเดียวกับ สนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่สั่นเหล่านี้จะคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแสง แสงจะเดินทางออก จากอะตอมในทุกทิศทางที่ต่างจากการสั่นของอิเล็กตรอนและสนามไฟฟ้าของแสงที่กระเจิงนี้ จะมีการแกว่งในทิศทางเดียวกับการสั่นของอิเล็กตรอนด้วย นั่นคือ มีทิศทางตั้งฉากกับแสงตก กระทบด้วยเสมอ ดังนั้นแสงที่กระเจิงนี้จึงเป็นแสงโพลาไรซ์เสมอ รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางของ แสงเมื่อมีการยิงลำแสงเข้าไปตามแนวแกนตกกระทบกับวัตถุ จะเกิดปรากฏการณ์ทางแสงขึ้น ซึ่ง ประกอบด้วยแสงที่มีการทะลุผ่าน (Transmitted Light) ซึ่งมีแสงที่เกิดจากการทะลุผ่านน้อยมาก และ เกิดการกระเจิงของแสง (Scattering Light) ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกทิศทาง จะมีความ เข้มของแสงที่กระเจิงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับมุมที่กระเจิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการกระเจิงของแสง

2.1.2 ลักษณะของการกระเจิง

2.1.2.1 การกระเจิงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh Scattering) เป็นกระบวนการในการกระเจิงของการแผ่รังสีของแม่เหล็กไฟฟ้า (รวมทั้งแสง) โดยปริมาตรทรงกลมขนาดเล็ก จะแปรผันโดยตรงกับดัชนีของการหักเห อย่างเช่น อนุภาค ฟองอากาศ หยดน้ำ หรือ แม้กระทั่งความผันผวนของความหนาแน่น ผู้ที่ประสบความสำเร็จในการคิดค้น คือ Lord Rayleigh ซึ่งได้นำชื่อของเขามาตั้งชื่อ ทฤษฎีนี้ ในการนำไปใช้รูปทรงของอนุภาคต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าช่วงความ

ยาวคลื่น โดยทั่วไปอนุภาคจะอยู่ในบริเวณสนามไฟฟ้าที่เกือบเป็นสนามสม่ำเสมอ อนุภาคจะสั่นเหมือนไดโพล โดยมีโพลาริเซชันเป็นสัดส่วนกับสนามไฟฟ้าของคลื่นที่ตกกระทบ สมบัติของการกระเจิงของอนุภาคสามารถอธิบายจากความสามารถในการ โพลาริเซชัน ลักษณะการกระเจิงแบบ Rayleigh Scattering แสดงดังรูปที่ 2.3

หลักการกระเจิงแบบเรย์เลย์มีเงื่อนไขอยู่ 2 ข้อ คือ

1. ขนาดของอนุภาค $\ll k_0^{-1}$
2. $|m| \times$ ขนาดอนุภาค $\ll k_0^{-1}$

k_0 = เวกเตอร์คลื่นของแสงที่ตกกระทบ

m = มวลของอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของการกระเจิงแบบเรย์เลย์ คือ

$$I = (1 + \cos^2 \theta) k_0^4 |\alpha|^2 I_0 / 2r^2 \quad (2.2)$$

โดย I = Intensity

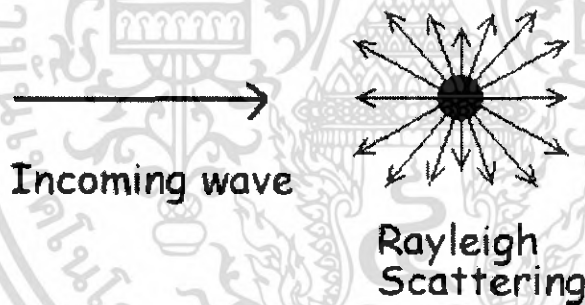
I_0 = Intensity of incident light

k_0 = wave vector of incident light

α = tensor

r = รัศมี

θ = มุมการกระเจิง



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการกระเจิงของแสงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh Scattering)

2.1.2.2 การกระเจิงแบบไม (Mie scattering)

เมื่อขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของแสง

อิเล็กตรอนของโมเลกุลก็ไม่สามารถเห็นสนามของคลื่นแสงได้ทั่วถึงเหมือนในกรณีอนุภาคขนาดเล็ก ความเข้มแต่ละทิศทางของสนามจะไม่เท่ากันในโมเลกุล อิเล็กตรอนจะถูกรังในทิศทางที่ต่างกัน และสร้างแบบการกระเจิงที่ซับซ้อน แสงที่กระเจิงออกมาจากโมเลกุลเกิดการรวมตัวและหักล้างกัน การกระเจิงแบบไมใช้ในการอธิบายการกระเจิงของแสงจากอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร ทฤษฎีของ Mie จะใช้คำนวณหาค่าดัชนีหักเหและขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคทรงกลมเนื่องจากรูปแบบที่กระเจิงออกมาจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหและขนาด เราสามารถหาขนาดของอนุภาคได้เมื่อรู้ค่าดัชนีหักเหกับรูปแบบการกระเจิง ทฤษฎีของ Mie โดยทั่วไปนำมาใช้กับการกระเจิงของคลื่นแสงระนาบความยาวคลื่นเดียวเมื่อชนกับวัตถุทรงกลมเนื้อเดียวในตัวกลางที่มีคุณสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทาง (isotropic materials) จากการวิเคราะห์รูปแบบของการกระเจิง จะสามารถหาขนาดของอนุภาคได้

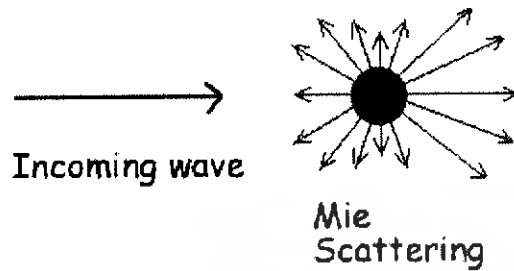
ข้อจำกัดในการใช้ทฤษฎีของไม ได้แก่

- ใช้ได้เฉพาะแสงความยาวคลื่นเดียว
- อนุภาคเป็นเนื้อเดียว เพราะว่าเมื่อลำแสงตกกระทบที่อนุภาคผลของการทดลองที่บริเวณที่ต่าง ๆ กันจะเหมือนกัน
- อนุภาคเป็นทรงกลม
- แสงตกกระทบเป็นคลื่นระนาบ
- พิจารณาทั้งการกระเจิงและการดูดกลืน ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองจำเป็นที่จะทำให้เข้าใจว่าแสงจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอนุภาคการดูดกลืนแสงจะไม่ 100 เปอร์เซ็นต์ โฟตอนบางส่วนของแสงอาจจะสะท้อนหรือผ่านวัตถุได้ ในบางกรณีอาจจะดูดกลืนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และมีโฟตอนน้อยมากที่จะสะท้อนหลังจากกระทบและผ่านวัตถุหลังจากการหักเหได้ ในกรณีที่เป็นวัตถุทึบแสง แต่ไม่ได้กำจัดการเลี้ยวเบนของการกระเจิงและวัตถุทึบแสงยังคงทำให้แสงจางลง เนื่องมาจากการสูญเสียโฟตอนจากการดูดกลืน พลังงานที่ลดลงของลำแสงทำให้เกิดการลดทอน

การลดทอน = การกระเจิง+การดูดกลืน

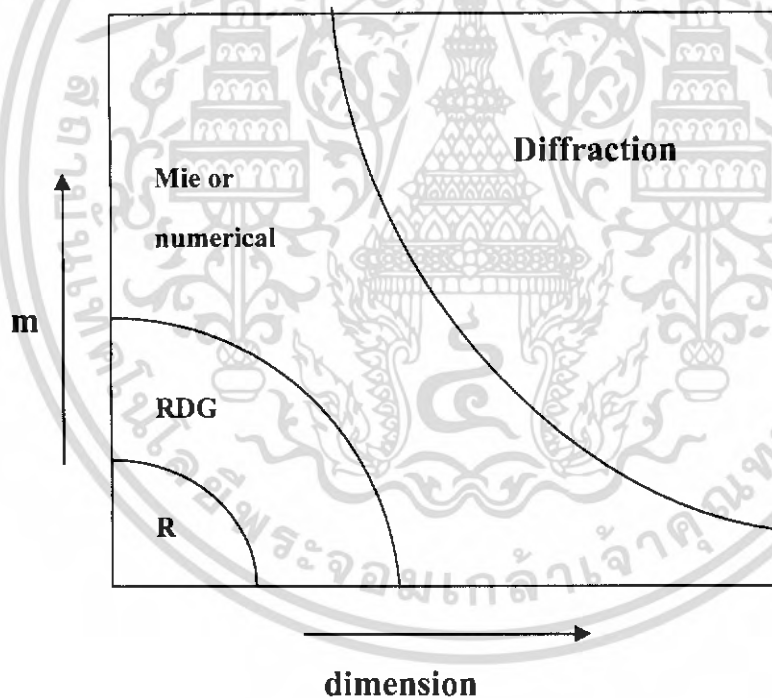
- การวิเคราะห์การกระเจิงเพียงครั้งเดียว ทฤษฎีของไม กล่าวถึงการกระเจิงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงเพียงอย่างเดียว ไม่รวมถึงการกระเจิงจากอนุภาคหนึ่งไปอนุภาคหนึ่ง
- วิเคราะห์เฉพาะการกระเจิงของแสงแบบอยู่กับที่ คือจะไม่ขึ้นกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค
- ไม่คิดถึงผลทางควอนตัม คือไม่คำนึงถึงการเปรียบเทียบความยาวคลื่นของแสง (Raman หรือ Doppler effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงการกระเจิงของแบบไม (Mie scattering)

2.1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและมวล ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้

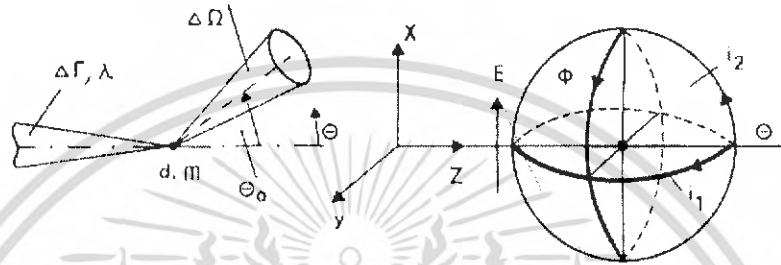


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดและมวล ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การกระเจิงโดยอนุภาคทรงกลมเดียว

ให้อนุภาคทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง d_p ทำจากวัสดุที่มีดัชนีหักเห m วางอยู่ ณ จุดกำเนิดของเส้นพิกัดของระบบทรงกลม และมีแสงมาจากทิศทาง $-z$ โดยเป็นคลื่นโพลาไรซ์เชิงเส้นและเป็นคลื่นความถี่เดียวที่มีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าอยู่ในแนวแกน x



รูปที่ 2.6 ค่าที่ใช้สำหรับการคำนวณการกระเจิงแสง

การกระจายของแสงที่กระเจิงโดยอนุภาคต่อหน่วยมุมตัน สามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันการกระเจิง i ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมกระเจิง θ มุม polarized ϕ เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค d_p ความยาวคลื่น λ และค่าดัชนีหักเห $m = n - jk$ ของตัวกลางอนุภาค

$$i = i(\theta, \phi, d_p, \lambda, m) \quad (2.3)$$

ถ้าให้เส้นผ่านศูนย์กลาง d_p และความยาวคลื่น λ มีความสัมพันธ์เป็น

$$\alpha = \frac{\pi d_p}{\lambda} \quad (2.4)$$

กำลังแสงที่กระเจิง ต่อหน่วยมุมตัน ในทิศทาง θ เป็นตามสมการ

$$S_\lambda(\theta, \phi, d_p, \lambda, m) = I_0 \frac{\lambda^2}{4\pi^2} i(\theta, \phi, \alpha, m) \quad (2.5)$$

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มของแสง (กำลังของแสงต่อหน่วยพื้นที่)

ทำการวัดการกระเจิงของแสงที่ มุมกระเจิง θ_0 ซ่องรับแสง $\Delta\Omega$ โดยใช้แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นความยาวคลื่นเดียวที่เป็นคลื่นระนาบจะคำนวณกำลังของการกระเจิงของแสงได้จากการอินทิเกรต

$$P_\lambda(d_p, \phi, \alpha, m) = I_0 \frac{\lambda^2}{4\pi^2} \iint_{\Delta\Omega} i(\theta, \phi, \alpha, m) \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันการกระเจิง i ตามมุม โพลาริซหาค่าได้จาก

$$i = i_1 \sin^2 \phi + i_2 \cos^2 \phi \quad (2.7)$$

เมื่อ $i_1(\theta, \alpha, m)$ และ $i_2(\theta, \alpha, m)$ เป็นองค์ประกอบของฟังก์ชันการกระเจิงในระนาบที่ตั้งฉากและขนานกับระนาบ หรือทิศของการโพลาริซของสนามไฟฟ้าในแสงตกกระทบสำหรับแสงที่ไม่โพลาริซ จะมี $i = \frac{1}{2}(i_1 + i_2)$ และรูปแบบการกระเจิงมีความสมมาตรต่อการหมุน เทียบกับแกนของลำแสงตกกระทบ แสงขาวจะต้องมีการอินทิเกรตบนความยาวคลื่น โดยต้องคำนึงถึงความเข้มในการแผ่สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงและความไวในการวัดสเปกตรัมของหัววัดแสง ถ้ากำหนดให้ Partial scattering cross-section เป็น

$$C_s = \frac{P_s}{I_o} \quad (2.8)$$

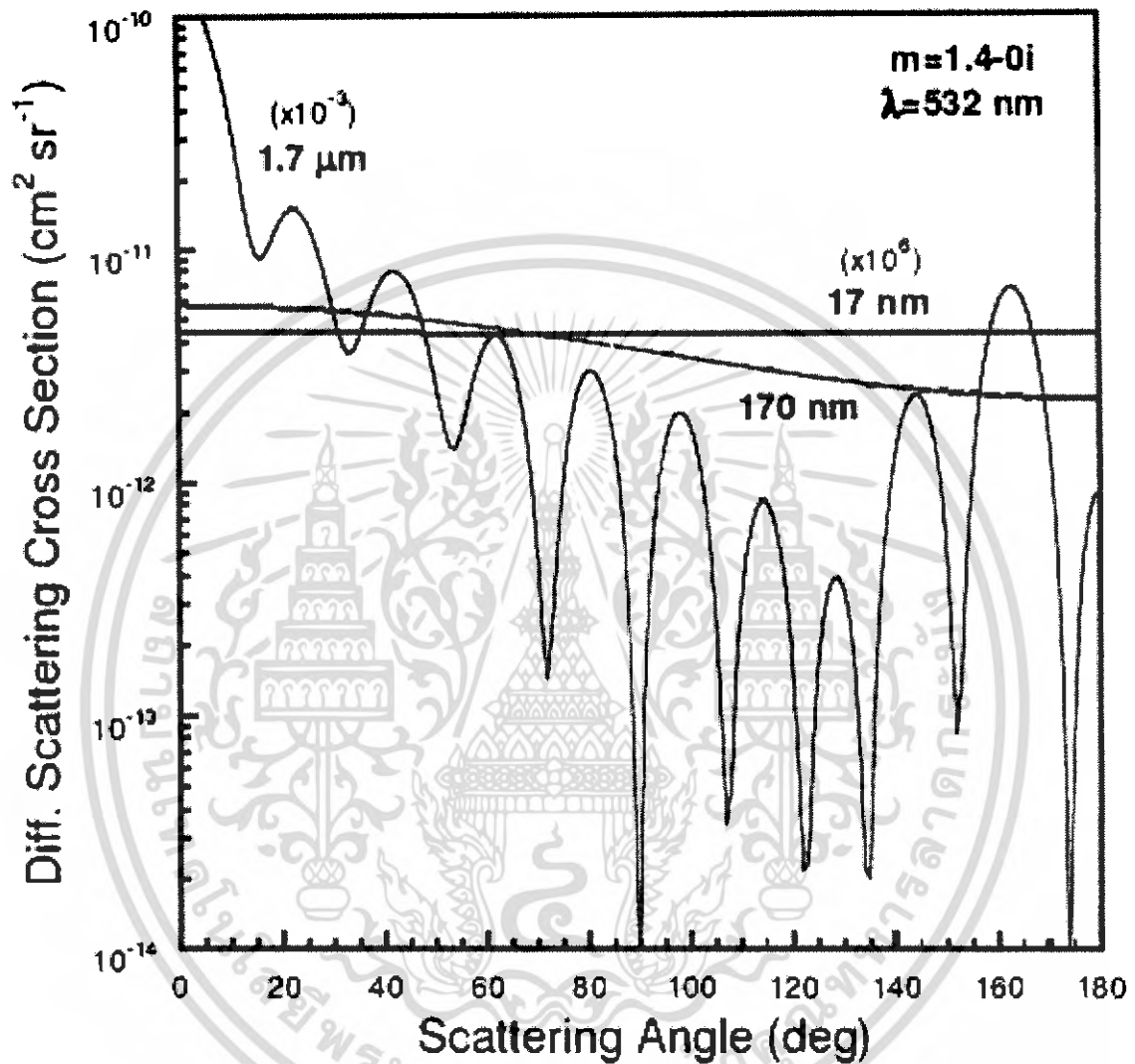
สัมประสิทธิ์การกระเจิง

$$Q_s = \frac{S_s}{I_o \left(\frac{\pi}{4}\right) d_p^2} \quad (2.9)$$

ในที่นี้ Q_s คือ กำลังของแสงกระเจิงแสงต่อหน่วย มุมตัน เทียบกับกำลัง $I_o \left(\frac{\pi}{4}\right) d_p^2$ ที่ตกกระทบ

อนุภาค

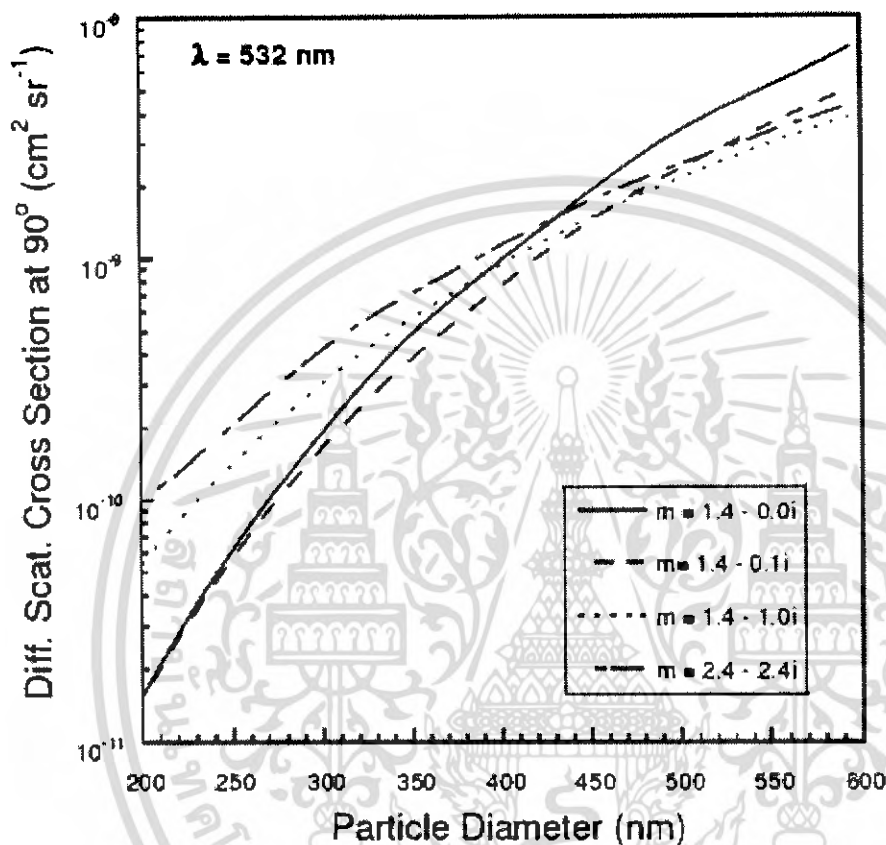
2.1.4 มุมที่มีผลต่อการกระเจิง



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง มุมของการกระเจิงกับความแตกต่างของ
ภาคตัดขวางของการกระเจิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อการกระเจิง



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างของขนาดของอนุภาค กับ ความแตกต่างของภาคตัดขวางของการกระเจิง

2.2 หลักการของแสงเลเซอร์ (Laser)

LASER ย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

แปลว่า การขยายพลังแสงด้วยการกระตุ้นให้แผ่รังสี

เลเซอร์ทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่

1. เนื้อวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์
2. การป้อนพลังงานให้แก่เนื้อวัสดุที่เป็นตัวกลางเลเซอร์เพื่อให้มีสภาพถูกกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.1 คุณสมบัติโคฮีเร้นท์ของแสงเลเซอร์

แสงเลเซอร์เกิดขึ้นจากการเปล่งแสงถูกเร้า โฟตอนจึงมีความเป็นระเบียบสูง คลื่นแสงมีลักษณะที่พร้อมเพรียงกัน และเมื่อมีการขยายสัญญาณแสงด้วยแควิตี้แสง โฟตอนจึงมีจำนวนมาก หรือแสงมีความเข้มสูง และวิ่งในทิศทางที่แน่นอน คือตั้งฉากกับกระจกที่ใช้ทำเป็นแควิตี้เท่านั้น จึงมีลักษณะเป็นลำแสง หากเปรียบเทียบกับกองทหาร ก็เป็นหน่วยทหารที่มีระเบียบเดินแถวเป็นหน้ากระดานด้วยจังหวะการ เดินที่พร้อมเพรียงกัน และก้าวเท่า ๆ กัน เดินไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงมีคุณสมบัติเด่นหลัก ๆ 4 ประการ คือ

1. เป็นแสงสีเดียว (มีค่าความยาวคลื่นเดียว)
2. มีเฟสเดียวกัน (มีหน้าคลื่น)
3. มีทิศทางแน่นอน (เป็นลำแสง)
4. มีความเข้มสูง (จำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง)

คุณสมบัติทั้ง 4 นี้เรียกรวม ๆ กันว่า คุณสมบัติโคฮีเร้นท์ (Coherent) เลเซอร์จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบโคฮีเร้นท์ (Coherent Light Source) นั่นเอง จุดเด่นทั้ง 4 นี้มีส่วนสำคัญที่ทำให้แสงเลเซอร์เกิดประโยชน์ในด้านประยุกต์ เช่น การที่แสงเลเซอร์ มีค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนจึงทำให้เลเซอร์ถูกใช้เป็นมาตรฐาน และใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง ได้แก่ การวัดระยะทางหน้าคลื่นที่เป็นระเบียบของแสงเลเซอร์ถูกนำมาใช้เพื่อบันทึกข้อมูลของภาพสามมิติ ลักษณะเป็นลำแสงมีประโยชน์ต่อการนำร่อง การสื่อสารและความ เข้มสูงของแสงเลเซอร์ มีที่ใช้งานด้านเจาะตัดเชื่อมวัสดุได้ รวมทั้งการผ่าตัดด้วยแสงเลเซอร์ในด้านการแพทย์อีกด้วย เลเซอร์มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับเนื้อวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์ ได้แก่

1. เลเซอร์ของแข็ง วัสดุที่นิยมใช้ ได้แก่ ทับทิม แก้ว
2. เลเซอร์ของเหลว วัสดุที่นิยมใช้ ได้แก่ สีย้อมผ้าผสมน้ำ หรือแอลกอฮอล์
3. เลเซอร์แก๊ส แก๊สที่ใช้ทำมีหลายชนิด เช่น ฮีเลียม-นีออน(สีแดง),ฮีเลียม-แคดเมียม (สีม่วงคราม), อาร์กอน(สีน้ำเงินเขียว),คาร์บอน ไดออกไซด์-ไนโตรเจน-ฮีเลียม(อินฟราเรด)
4. เลเซอร์ไดโอด วัสดุที่ใช้ทำเป็นสารกึ่งตัวนำซึ่งทำมาจากสารประกอบ ได้แก่ แกลเลียมอาร์เซไนด์(GaAs), แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์(GaAlAs)

โดยในโครงการนี้เลเซอร์ที่เลือกใช้ ได้เลือกใช้เลเซอร์แบบ เลเซอร์ไดโอด โด เลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้น ๆ เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดงจะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนเลเซอร์ไดโอดที่ให้แสงอินฟราเรดที่ค่าความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตรจะใช้ในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เป็นต้น

โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด ได้แก่ หัวต่อพีเอ็น แบบเฮเทอโรจังก์ชัน (Heterojunction) เช่น GaAlAs/GaAs ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอดเริ่มทำงานน้อยลง การฉีดกระแสไฟฟ้าผ่าน หัวต่อพีเอ็นของเลเซอร์ไดโอดเป็นวิธีการปั๊มพลังงาน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของพาหะนำไฟฟ้าใน สารกึ่งตัวนำและนำมาสู่การเปล่งแสง แสงที่เปล่งออกมาจะถูกขยายสัญญาณให้มีความเข้มสูงขึ้น ด้วยแควิตี้แสงที่เกิดจากผิวมันสะท้อนแสงของผิวผลึกที่ทำให้แตกโดยธรรมชาติ

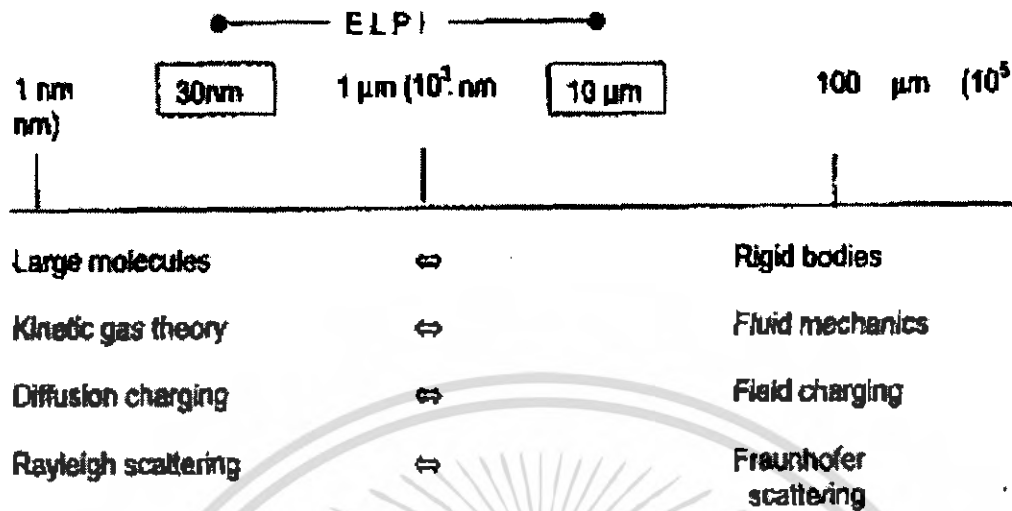
(Cleaved Surface) เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กจิ๋วกิน ใบน้อย สามารถผลิตได้จำนวนมาก ๆ ด้วยเทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ไดโอดถูกใช้งาน อย่างกว้างขวางตั้งแต่การใช้เป็น เลเซอร์พอยท์เตอร์ (Laser Pointer) ใช้ในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ใช้เป็นหัวอ่าน ของ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องวีดีโอเลเซอร์ดิสก์ และเครื่องถ่ายเอกสารประเภทเลเซอร์ พรินเตอร์ (Laser Printer) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาวิจัยการสร้าง เลเซอร์ไดโอดด้วยเทคโนโลยีด้านการปลูกผลึกจากของเหลว (Liquid Phase Epitaxy : LPE) และ เทคโนโลยีการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy : MBE)

เลเซอร์ไดโอดมีกำลังแสงต่ำตั้งแต่ระดับไมโครวัตต์ (μW) จนสูงถึง วัตต์ (W) และเป็น เลเซอร์ที่มีจุดเด่นคือ สามารถโมดูลเสถียรสัญญาณได้ โดยตรง โดยผ่านเข้าไปทางด้านกระแสไฟฟ้าที่ ฉีดผ่านตัวถึงประติมาตร จึงสะดวกต่อการใช้งาน โดยเฉพาะการสื่อสารทางด้านแสง

2.3 Particle Size

การแบ่งขนาดของอนุภาคโดยทั่วไป แบ่งได้ 5 ช่วง ดังแผนภาพด้านล่าง โดยการอธิบาย พฤติกรรมไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการใดได้เพียงสมการเดียว เนื่องจากการแบ่งขนาดของ อนุภาคจริงๆนั้น ไม่มีหลักเกณฑ์แน่นอน เนื่องจากคุณสมบัติทางแสงและทางกายภาพ ของฝุ่น อากาศสามารถมีหลากหลาย จึงเป็นเหตุผลให้การวัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน อาจทำให้ได้ผลการ ทดลองที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการแบ่งขนาดของอนุภาคโดยทั่วไปและการใช้กฎต่างๆ ในการอธิบายพฤติกรรมของอนุภาค

2.4 Diaphragm Pump

ไดอะแฟรมปั๊ม เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบตรวจวัดปริมาณฝุ่น ปั๊มควรจะมีขนาดที่เพียงพอต่อความต้องการของส่วนวิเคราะห์และต้องพยายามไม่ให้เกิดการรั่วขึ้น การทำงานของไดอะแฟรมปั๊ม มีส่วนกลไกลูกสูบ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการบีบและขยายแผ่นไดอะแฟรม โดยไดอะแฟรมมีลักษณะเป็นทรงกลมสามารถยืดหยุ่นได้ อาจทำมาจากโลหะเบาๆ เทฟลอน โพลีเอทีลีน หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีความยืดหยุ่น

2.4.1 หลักการทำงาน

เมื่อไดอะแฟรมมีการขยายตัว ก๊าซจะเคลื่อนจากวาล์วดูด เข้าไปยังช่องว่างภายในปั๊ม และเมื่อไดอะแฟรมหุบลง วาล์วดูดจะปิดลง และวาล์วคายจะเปิดออกและก๊าซจะถูกคายออกมาสู่บริเวณใช้งาน อัตราการไหลของก๊าซสามารถควบคุมได้ด้วยการปรับลิ้นวาล์ว ที่อยู่บริเวณส่วนของการปล่อยก๊าซ หรือติดตั้งวาล์วส่งผ่านลงบนแต่ละข้างของส่วนของการปล่อยก๊าซและทำการปรับวาล์วนั้น

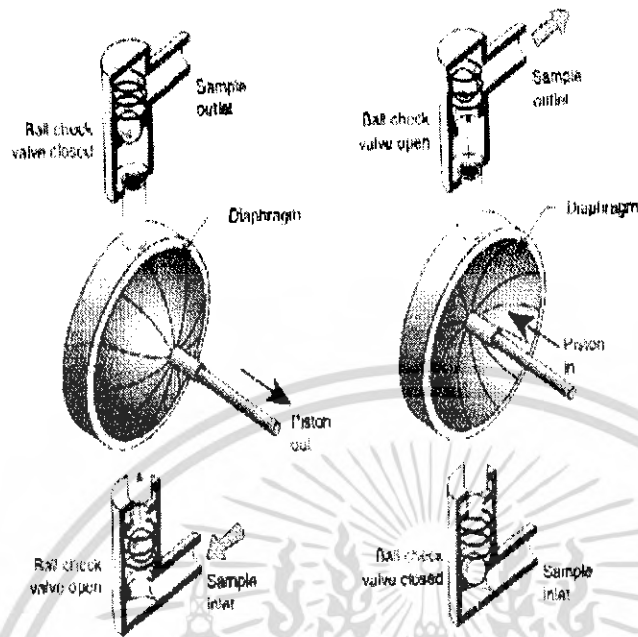


Figure 4-11. A diaphragm pump.

รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานภายใน Diaphragm Pump

2.4.2 ข้อดี ข้อเสียและข้อควรระวังในการใช้งาน Diaphragm Pump

ไดอะแฟรมปั๊มมักถูกนำไปใช้ในการสูบลำอากาศในงานพื้นฐานในระบบต่างๆ เพราะนอกจากจะสามารถทำงานได้ในขณะที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูง แล้วยังสามารถปั๊มอากาศได้สะอาดเพราะเป็นปั๊มที่ไม่ต้องใช้น้ำมันในการปั๊มอากาศอย่างไรก็ตามอนุภาคของสารบางชนิดและกรดเข้มข้น สามารถทำให้ปั๊มเกิดความเสียหาย นอกจากนี้การหดเข้าออกที่เร็วเกินไปของไดอะแฟรมอาจทำให้เกิดการเสียหายได้ นอกจากนี้พบว่าถึงแม้จะสามารถทำงานที่อากาศปกติโดยไม่ต้องมีการปรับอากาศให้ตรงกับที่ระบบต้องการใช้งานก่อนทำการปั๊มอากาศแต่ในความเป็นจริงแล้วควรปรับสภาพอากาศเช่นความชื้นเป็นกรด ฯลฯ ให้เหมาะสมกับที่ต้องการใช้งาน แล้วค่อยนำปั๊มมาใช้งานก็จะช่วยยืดอายุการทำงานของปั๊มได้

2.5 The Multi-Channel Analyzer (MCA)

เป็นวิธีที่สำคัญในการวิเคราะห์สัญญาณของแสงจาก Light Source ที่เกิดการกระเจิงกับอนุภาคของฝุ่นและผ่านเข้ามาที่ Detectors และสัญญาณที่ผ่านเข้ามานั้นมีความสูงของสัญญาณที่แตกต่างกัน ซึ่งขนาดของสัญญาณที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากขนาดของอนุภาคฝุ่นที่แตกต่างกัน ซึ่งวิธี Multi-Channel มีโหมดการทำงานที่แตกต่างกัน 2 โหมด

1. Pulse height Analyzer (PHA) mode ในโหมดนี้สัญญาณอินพุตที่เข้าไปที่ Channel จะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด

2. Multichannel Scaler (MCS) mode ในโหมดนี้สัญญาณอินพุตที่เข้าไปที่ Channel จะขึ้นอยู่กับเวลา

วิธีการเลือกความสูงของสัญญาณโดยวิธี Multi-Channel Analyzer จะถูกแสดงผลออกมาเป็นแบบ distributions และสามารถแบ่งความสูงของสัญญาณออกเป็นช่วงๆ ได้ตาม Channel และวิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความถูกต้องแม่นยำ

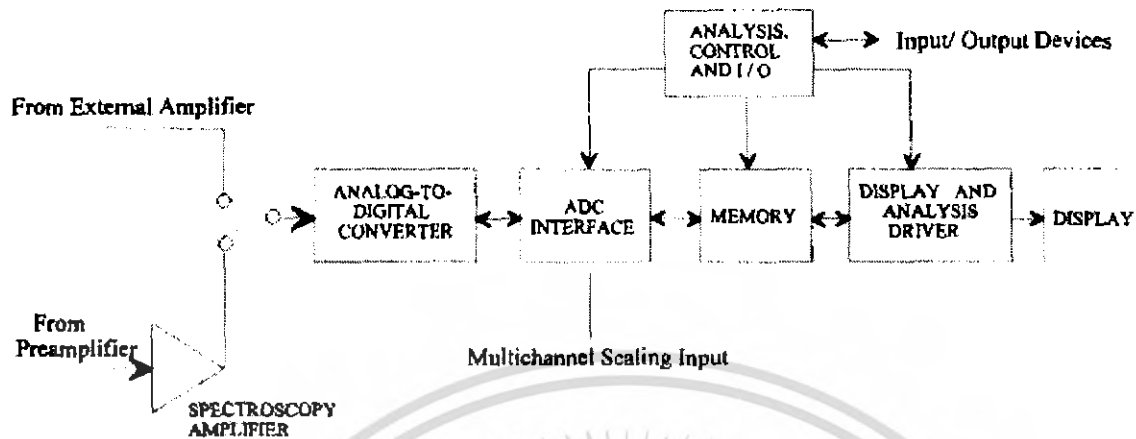
การทำงานของ Multi-Channel Analyzer ในส่วนของโหมด PHA จะมีหน้าที่ในส่วนเลือกความสูงของสัญญาณ ส่วนในโหมดของ MCS จะมีหน้าที่ในส่วนของการทางสถิติ

PHA mode

ในการวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ โดยจะมี Channel ที่ความสูงต่างๆกัน ซึ่งความสูงของกราฟแสดงถึงความต่างศักย์ และสัญญาณที่เข้ามาถึง detector เป็นสัญญาณอนาล็อกซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยวงจร ADC ดังรูปที่ 2.11

MCS mode

ในโหมดนี้สัญญาณทั้งหมดที่เข้ามาจะถูกนับเข้ามาใน Channel โดยคำนึงถึงเวลา คือเมื่อที่เวลาหนึ่งสัญญาณจะไปที่ channel หนึ่ง และเมื่อเวลาผ่านไปสัญญาณจะไปอีกที่ channel หนึ่ง



รูปที่ 2.11 MCA functional block diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณฝุ่นโดยใช้หลักการการกระเจิงของแสง ซึ่งได้มีการแบ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้ คือ

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

ในโครงการนี้ได้มีการออกแบบส่วนต่างๆของระบบ โดยแบ่งการออกแบบออกเป็นระบบต่างๆ ดังนี้

3.1.1 การออกแบบในส่วนของระบบป้อนดูดอากาศ

เนื่องจากในโครงการนี้ ส่วนของป้อนดูดอากาศที่นำมาใช้งานเป็นป้อนดูดอากาศที่มีการผลิตเชิงพาณิชย์ทั่วไป

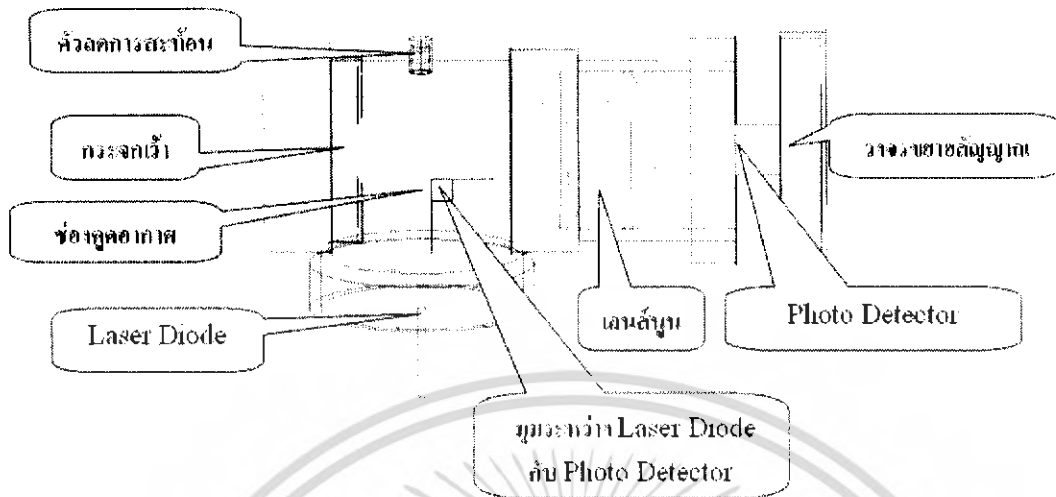
3.1.2 การออกแบบในส่วนของระบบเชิงแสง

ในส่วนของระบบเชิงแสง จะอยู่ภายใน Chamber ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสง ซึ่งการกระเจิงของแสงจะเกิดภายใน Chamber นี้ แหล่งกำเนิดแสงจะทำมุม 90 องศากับตัวตรวจจับแสง นอกจากนี้ในตัว chamber ยังประกอบไปด้วยตัวช่วยในการสะท้อนแสง ตัวคูคกลืนแสง และเลนส์นูน ดังรูปที่ 3.1,3.2



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะภายนอกของตัว Chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



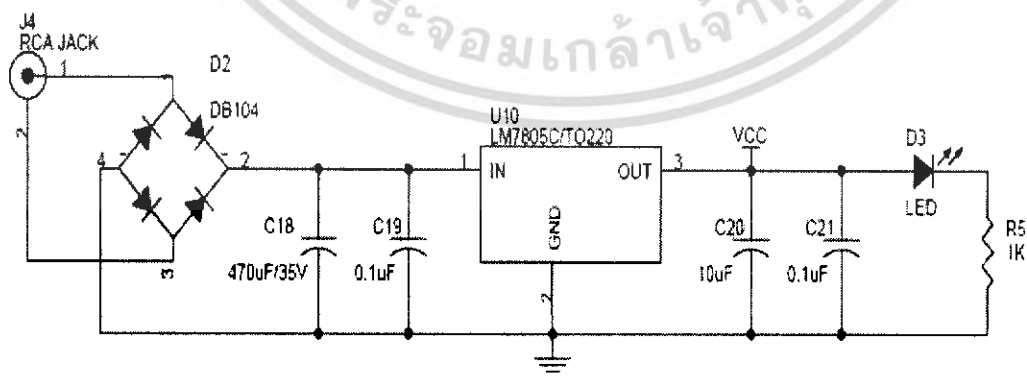
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะภายในของตัว Chamber

3.1.3 การออกแบบในส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์

ในโครงงานนี้ ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นระบบทางอิเล็กทรอนิกส์หลายส่วน จึงได้มีการออกแบบให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ดังนี้

3.1.3.1 ส่วนของวงจรแหล่งกำเนิดแสง (Laser Diode)

ได้เลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ Laser Diode มีความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตร กำลัง 5 mW ในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบไปด้วย Bridge Rectifier ที่ใช้ในการเรียงกระแส และมีตัว LM7805C ใช้ในการแปลงไฟลงและเป็นตัว Regulator ซึ่งใช้วงจรดังรูปที่ 3.3

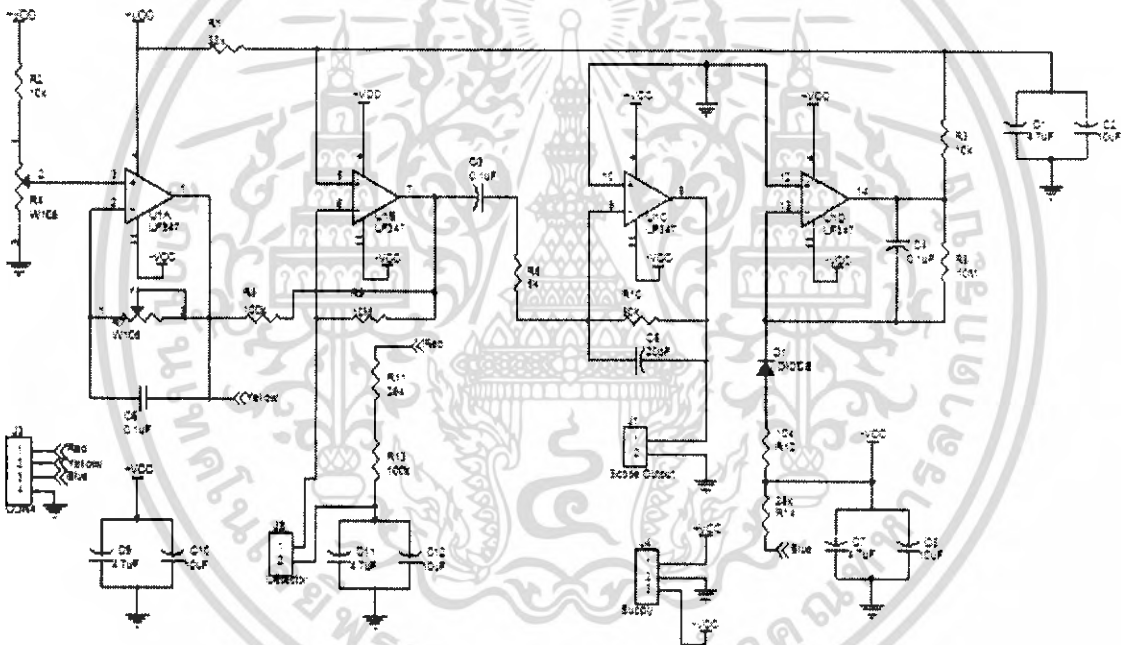


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรของแหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 วงจรตรวจจับแสง (Photo Detector)

เป็นวงจรที่ใช้ตรวจจับแสงที่เกิดจากการกระเจิงของเม็ดฝุ่น โดยรับเป็นสัญญาณของความเข้มของแสง สัญญาณที่ได้มีขนาดที่เล็กมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาวงจขยายสัญญาณมาใช้ในการขยายสัญญาณแสงที่เข้ามา เมื่อทำการขยายสัญญาณแล้วก็ส่งสัญญาณนั้น ไปสู่วงจรประมวลผลเพื่อบอกขนาดของฝุ่นว่ามีขนาดเท่าใด และทำให้สามารถบอกจำนวนเม็ดฝุ่นในบริเวณที่ทำการทดสอบว่ามีปริมาณเท่าใดได้ สัญญาณแสงที่ผ่านเข้ามาที่ตัวตรวจจับจะมีความเข้มที่แตกต่างกัน สัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า และจะส่งสัญญาณไฟฟ้านี้ไปยังส่วนต่อไป โดยวงจรประกอบไปด้วยส่วนรับแสง ส่วนขยายสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 3.4

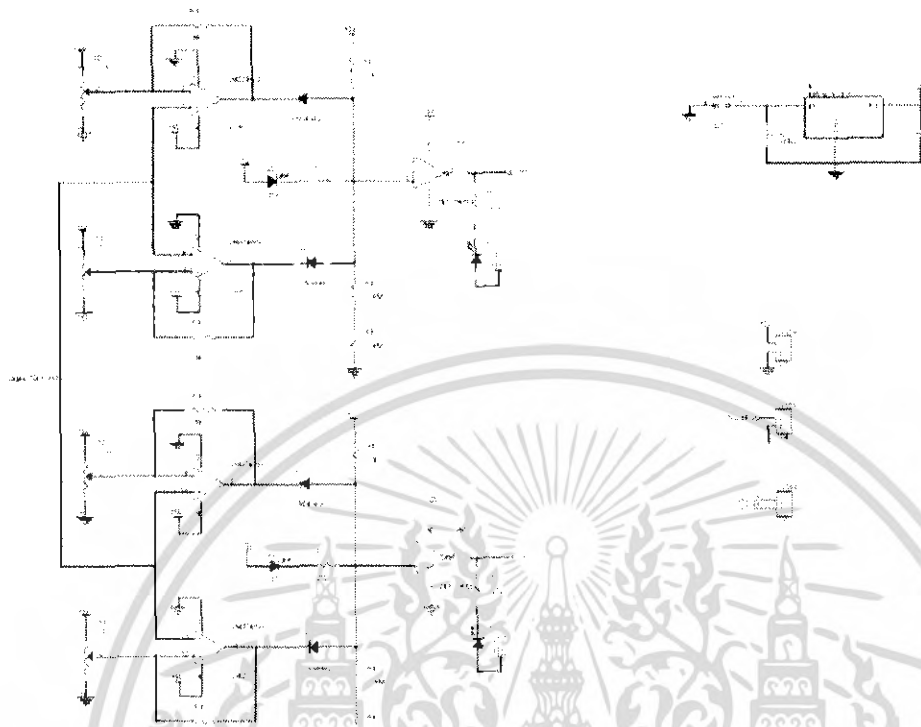


รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับแสง (Photo Detector)

3.1.3.3 วงจร Multi-Channel Analyzer

เป็นวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณแสง ที่เกิดจากการกระเจิงแสงของอนุภาคของฝุ่นซึ่งสัญญาณของแสงที่ผ่านเข้ามานั้นมีค่าความสูงของสัญญาณที่แตกต่างกัน ซึ่งขนาดของสัญญาณที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากขนาดของอนุภาคฝุ่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ใช้วงจรนี้ในการเลือกขนาดของสัญญาณให้เข้ามาในแต่ละช่อง ซึ่งเป็นการเลือกขนาดของเม็ดฝุ่น ในส่วนของวงจรประกอบด้วยส่วนของ Comparator และมีส่วนของวงจรที่ใช้กัลบลอจิก ดังรูปที่ 3.5

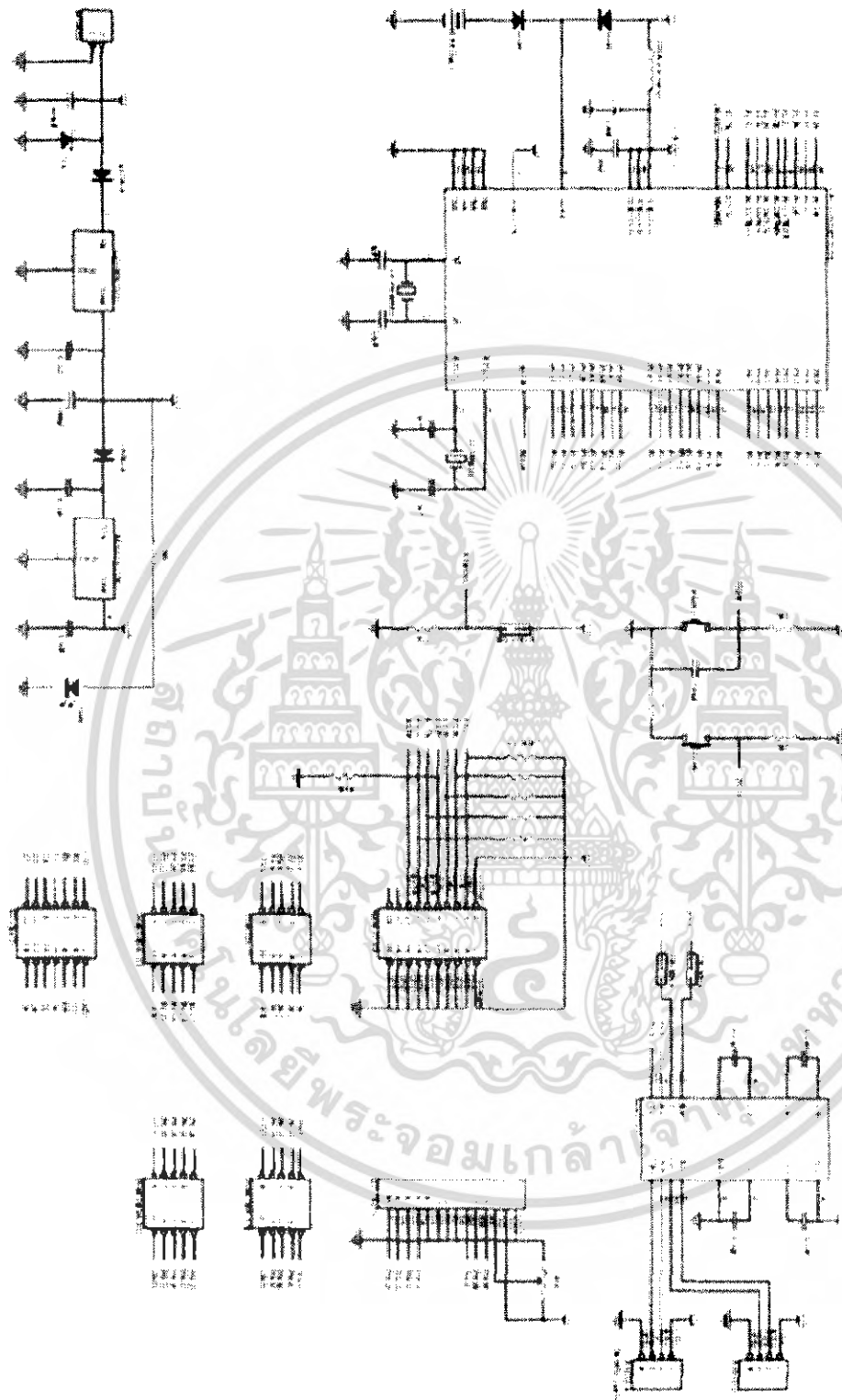
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจร Multi-Channel Analyzer

3.1.3.4 วงจรประมวลผลและแสดงผล

เป็นวงจรที่รับข้อมูลจากวงจรตรวจจับแสง (Photo Detector) มาใช้ในการประมวลผล ทำหน้าที่แยกสัญญาณความเข้มแสงเพื่อที่จะจำกัดค่าให้อยู่ในย่านที่ต้องการ ทำการประมวลผล และแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD โดยใช้เป็นตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด ARM-7 ดังรูปที่ 3.6



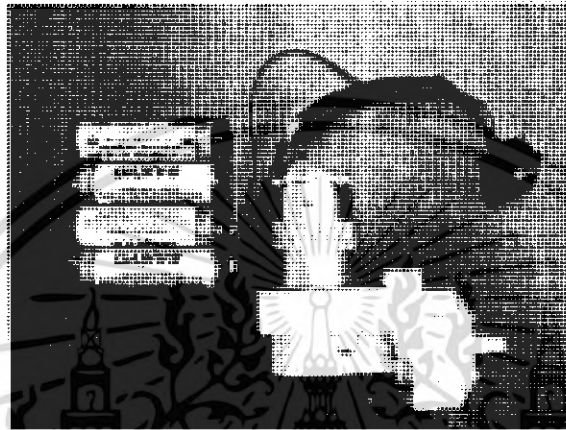
รูปที่ 3.6 วงจรประมวลผลตระกูล ET-ARM-BASE2103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์

3.2.1 ส่วนของระบบปั๊มดูดอากาศ

ในโครงการนี้ ไม่ได้ทำการประดิษฐ์ปั๊มดูดอากาศ แต่นำปั๊มที่มีอยู่แล้วมาใช้ เนื่องจากเวลาในการประดิษฐ์เครื่องมือจำกัด จึงได้เลือกใช้ปั๊มที่มีอัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที

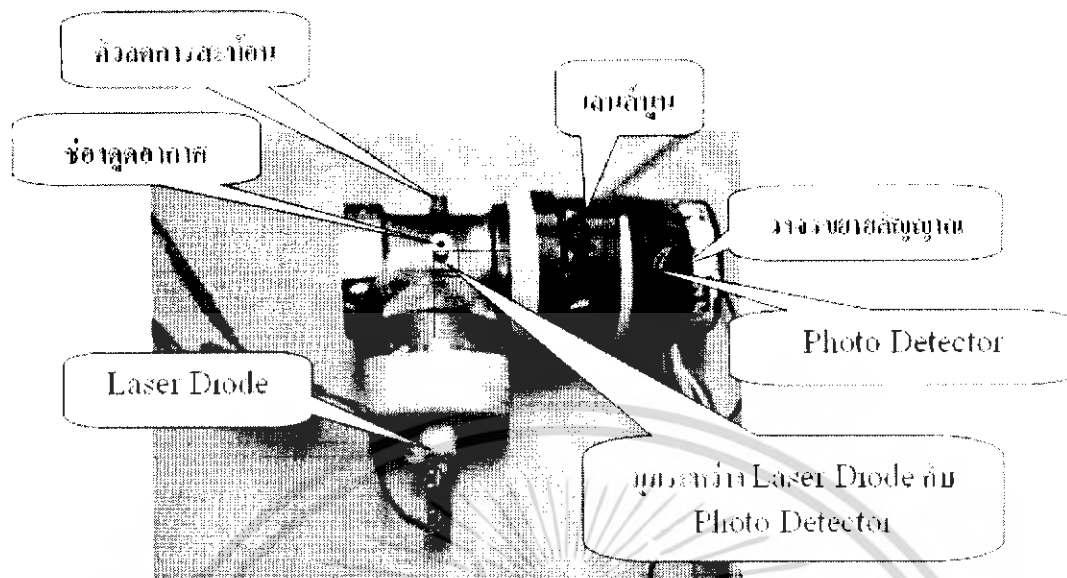


รูปที่ 3.7 แสดงรูปปั๊มที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.2 การประดิษฐ์ในส่วนของระบบเชิงแสง

เมื่อมีการออกแบบระบบเชิงแสงแล้ว จึงได้มีการประดิษฐ์ Chamber ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งลักษณะของ Chamber ที่มีการประดิษฐ์แสดงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

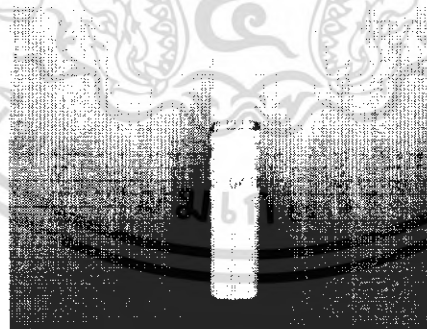


รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะ Chamber ที่ทำการประดิษฐ์

3.2.3 การประดิษฐ์ในส่วนขอระบบอิเล็กทรอนิกส์

3.2.3.1 ส่วนของวงจรแหล่งกำเนิดแสง (Laser diode)

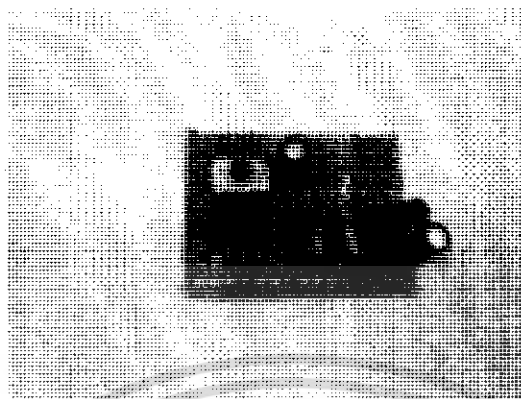
ในส่วนเลเซอร์ที่เลือกใช้ในโครงการนี้ ได้เลือกใช้ Laser ที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตรกำลัง 5 mW แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงชนิดของเลเซอร์ที่ใช้ในการประดิษฐ์

ในส่วนขอวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบไปด้วย Bridge Rectifier ที่ใช้ในการเรียงกระแส และมีตัว LM7805C ใช้ในการแปลงไฟลงและเป็นตัว Regulator ซึ่งวงจรที่ทำการประดิษฐ์ขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะวงจรที่ใช้ในการขับเลเซอร์

3.2.3.2 วงจรตรวจจับแสง (Photo Detector)

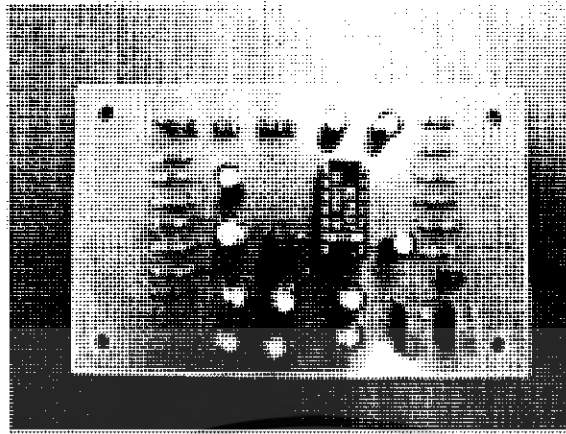
ในส่วนของตัว Detector ที่เลือกใช้ในโครงการนี้ เลือกใช้แบบ Si PIN Photodiode เบอร์ S 1223 2F ดังรูปที่ 3.11 เนื่องจากตัวตรวจจับแสงชนิดนี้มีความไวในการรับแสงดี



รูปที่ 3.11 Detector ชนิด Si PIN Photodiode เบอร์ S 1223 2F

และนอกจากนี้ยังมีส่วนของวงจรที่ใช้ในการขยายสัญญาณ

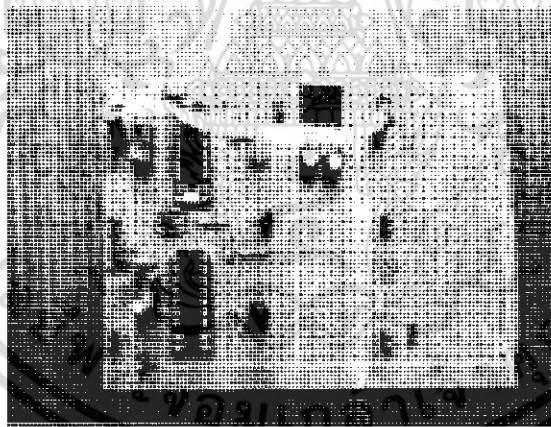
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรขยายสัญญาณ

3.2.3.3 วงจร Multi-Channel Analyzer

ในส่วนของวงจร Multi-Channel Analyzer เป็นวงจรที่ใช้ในการเลือกขนาดในการวัด โดยจะทำการแบ่งช่วงในการวัดเป็นช่วงๆ เพื่อที่จะเลือกค่าได้สะดวกยิ่งขึ้น ดังนั้น จึงได้มีการทำวงจรเป็นแบบ 2 ย่านเพื่อใช้ในการวัดขนาดของเม็ดฝุ่น 2 ขนาด ดังแสดงในรูปที่ 3.13



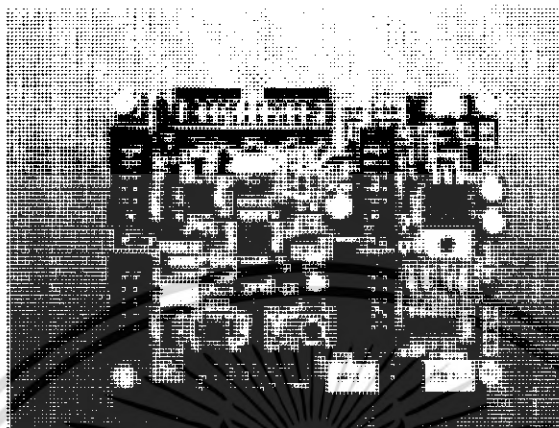
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร Multi-Channel Analyzer

3.2.3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้บอร์ด ARM-7

ส่วนของการประมวลผล ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ด ARM-7 เนื่องจากบอร์ดนี้มีความสามารถในการทำงานที่รวดเร็ว มีตัวประมวลผลขนาด 32 บิต และตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีความเร็วสูง ปริมาณฝุ่นที่ต้องการนับมีความหนาแน่นสูง ทำให้ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลผลที่ใช้ต้องมีความสามารถพอเพียงที่จะนับจำนวนฝุ่นได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของบอร์ด ARM-7 รูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงบอร์ดของ ARM-7

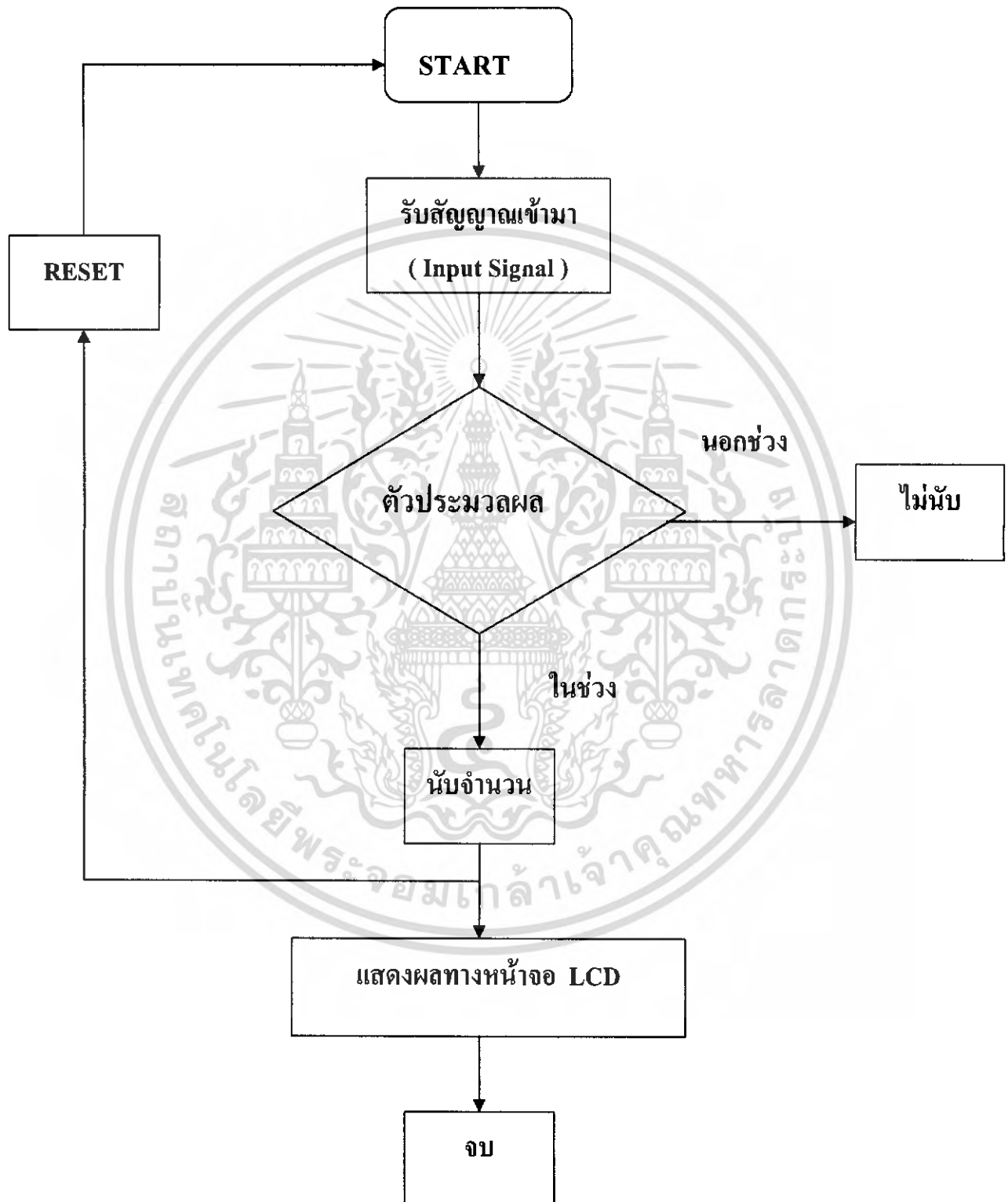
ในส่วนของการแสดงผลเราใช้ LCD (Liquid Crystal Display) เป็นตัวแสดงผลแบบ 16 ตัวอักษร 2 แถว แสดงค่าออกมาเป็นตัวอักษร ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะภายนอกของของ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

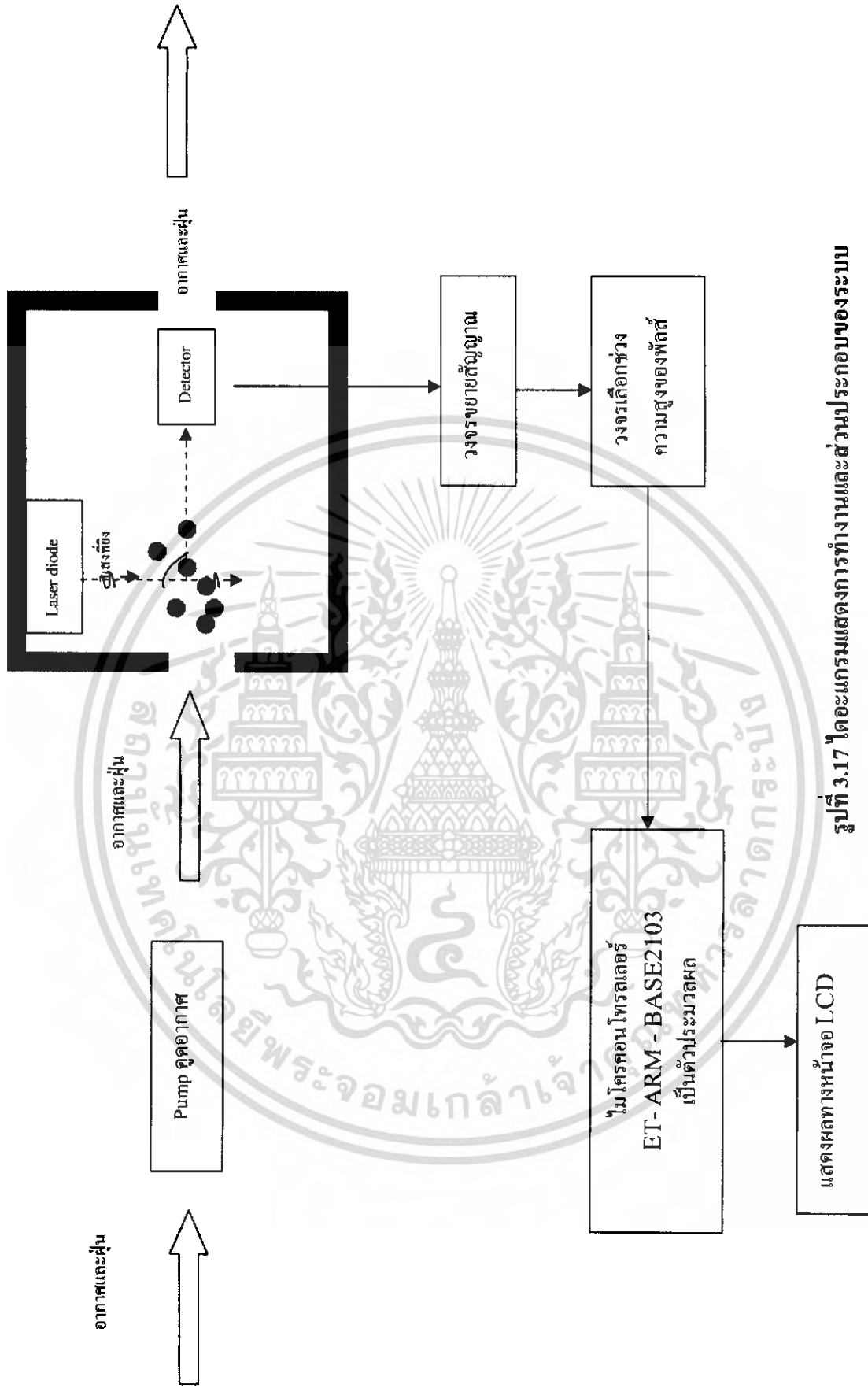
Flow chart แสดงการทำงานของส่วนประมวลผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือซึ่งแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรม

ในส่วนการทำงานของบล็อกไดอะแกรมนี้จะอธิบายถึงการทำงานของระบบอย่างคร่าวๆ โดยเริ่มจากบล็อกแรกเป็นส่วนของปั๊มดูดอากาศ ซึ่งจะเป็นการดูดอากาศเข้ามาในตัว Chamber อากาศที่เข้ามาจะมีฝุ่นละอองปะปนอยู่ในอากาศ เมื่ออากาศถูกลำเลียงไปยังส่วนของ Chamber ภายในประกอบด้วย เลเซอร์ไดโอด ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง และตัวตรวจจับสัญญาณ ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณแสงที่ได้จากการกระเจิง โดยภายในจะเป็นกระบวนการวัดการกระเจิงของแสงที่เกิดจากเม็ดฝุ่น เมื่อแสงเลเซอร์ยังผ่านเม็ดฝุ่นจะเกิดการกระเจิงของแสง โดยมี detector เป็นตัวตรวจจับการกระเจิงของแสง หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่ได้เข้าไปที่วงจรขยายสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณแสงที่รับเข้ามา เนื่องจากสัญญาณที่ได้ในตอนแรกมีขนาดเล็ก เมื่อได้สัญญาณที่ขยายแล้วก็นำสัญญาณนี้ส่งต่อไปยัง วงจร Multi-Channel-Analyzer ซึ่งใช้ในการเลือกช่วงความสูงของสัญญาณพัลส์ เมื่อเลือกช่วงของสัญญาณได้แล้ว ก็ส่งสัญญาณที่ทำการเลือกแล้วไปยังตัวประมวลผล คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ET- ARM - BASE2103 ซึ่งเมื่อทำการประมวลผลแล้ว วงจรประมวลผลนี้จะเป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลแสดงผลออกทางจอ LCD เครื่องมือชนิดนี้วัดได้เฉพาะปริมาณเม็ดฝุ่นที่อยู่ในช่วงขนาดของเม็ดฝุ่นที่ตั้งค่าไว้แล้ว อธิบายดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.17 ไดอะแกรมแสดงการทำงานและส่วนประกอบของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

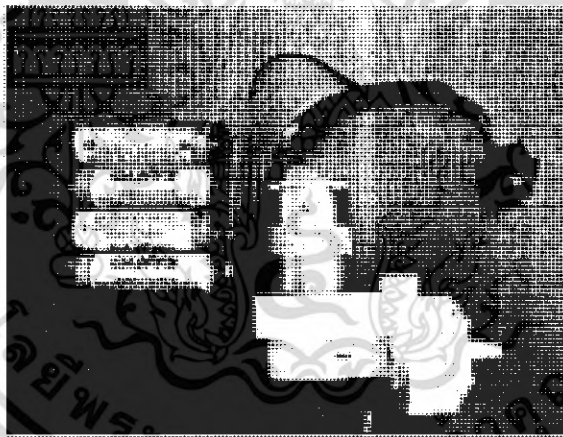
ผลการทดลองและอภิปราย

ในการทดลองในโครงการนี้ประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือ

- การทดลองในส่วนของปั๊มที่ใช้ในการดูดอากาศ
- การทดลองในส่วนของระบบเชิงแสง (Chamber)
- การทดลองในส่วน of ระบบอิเล็กทรอนิกส์
- การทดลองในส่วนของการวัดปริมาณฝุ่นและการปรับเทียบมาตรฐานเครื่อง

4.1 การทดลองในส่วนของปั๊มดูดอากาศ

ในงานวิจัยนี้ เราไม่ได้ทำการประดิษฐ์ปั๊มดูดอากาศ เนื่องจากมีเวลาที่จำกัด และเรามีปั๊มดูดอากาศอยู่แล้ว จึงได้เลือกใช้ปั๊มที่มีอัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.1

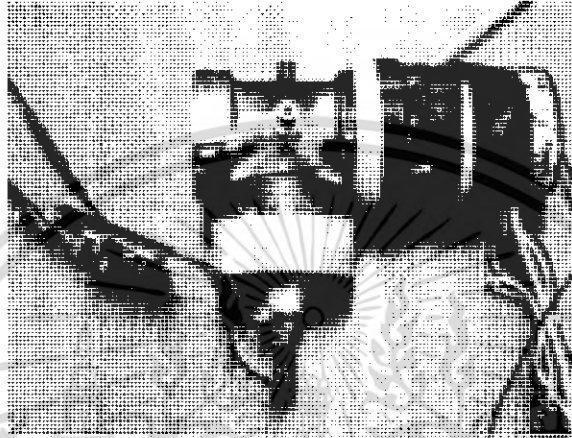


รูปที่ 4.1 แสดงรูปปั๊มที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองในส่วนของระบบเชิงแสง (Chamber)

ในส่วนของระบบเชิงแสงได้มีการออกแบบและประดิษฐ์ Chamber ขึ้นมา ซึ่งภายในประกอบไปด้วยส่วนต่างๆที่มีความสัมพันธ์ตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว เช่น เลนส์นูนและ กระจกเงา ที่อยู่ภายใน Chamber



รูปที่ 4.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในระบบของ Chamber

4.3 การทดลองในส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากในส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีหลายส่วน จึงมีการทดลองในแต่ละส่วน ดังนี้

4.3.1 การทดลองในส่วนของแหล่งกำเนิดแสง

เนื่องจากเลเซอร์ที่เราใช้เป็นเลเซอร์ไดโอด ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองวัดความเข้มแสงของแสงเลเซอร์เพื่อตรวจสอบว่าความเข้มแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงมีความคงที่ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

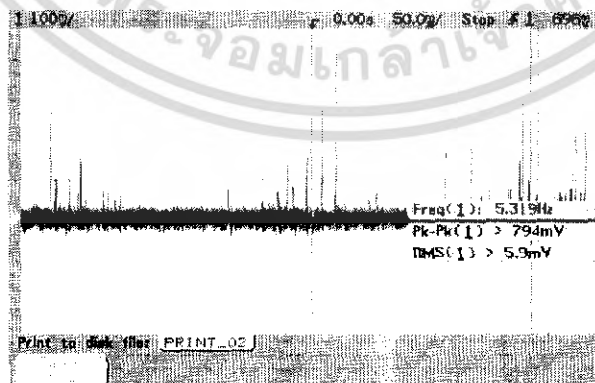
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเวลา 10 นาที เพื่อทดลองหาค่าแรงดัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง

เวลา (นาที)	ค่าแรงดันไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)
1	429
2	418
3	418
4	417
5	417
6	416
7	416
8	416
9	416
10	416

4.3.2 การทดลองตัวตรวจจับแสงและวงจรขยายสัญญาณ (Photo Detector and Amplifier Circuit)

ในระบบตัวตรวจจับแสง ได้เลือกใช้ตัวตรวจจับแสง แบบ Si PIN Photodiode เบอร์ S 1223 2F ซึ่งเป็นตัวตรวจจับแสงชนิดที่มีความไวต่อการรับแสงสูง โดยได้มีการทดลองในส่วนของการรับแสงที่ได้จากการกระเจิง เพื่อทดสอบความสามารถในการรับแสงที่มีความเข้มน้อย ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปของกราฟดังแสดงใน รูปที่ 4.3 ก - 4.3 ค

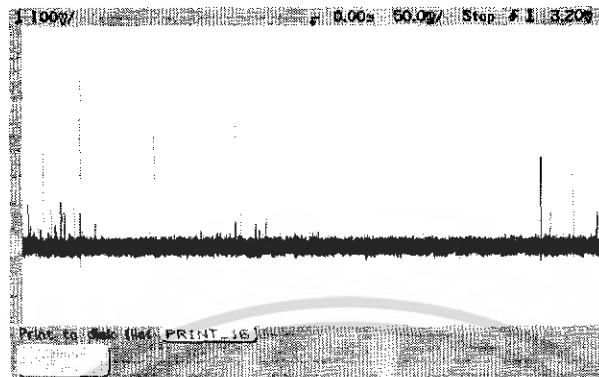
- ผลการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.3 ก แสดงกราฟการทดลองในส่วนวงจรตรวจจับแสง ครั้งที่ 1

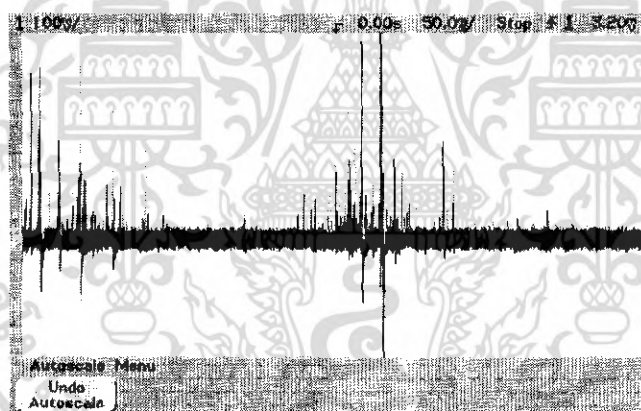
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.3 ข แสดงกราฟการทดลองในส่วนวงจรตรวจับแสง ครั้งที่ 2

- ผลการทดลองครั้งที่ 3



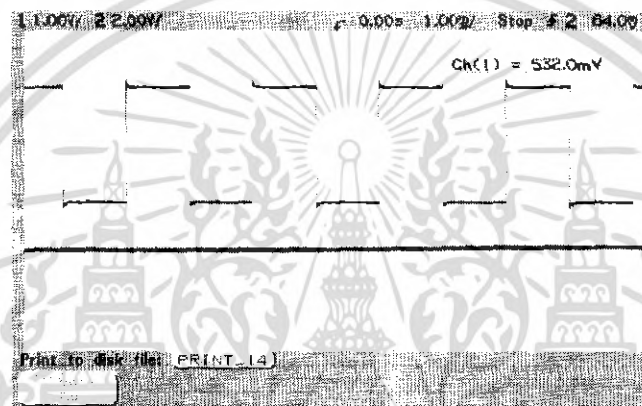
รูปที่ 4.3 ค แสดงกราฟการทดลองในส่วนวงจรตรวจับแสง ครั้งที่ 3

4.3.3 การทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer

ในส่วนของวงจร Multi-Channel Analyzer เป็นวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณแสงที่เกิดจากการกระเจิงแสงของอนุภาคของฝุ่นซึ่งสัญญาณของแสงที่ผ่านเข้ามานั้นมีค่าความสูงของสัญญาณที่ต่างกักัน ซึ่งขนาดของสัญญาณที่ต่างกักันนั้นเป็นผลมาจากขนาดของอนุภาคฝุ่นที่ต่างกักัน ดังนั้นจึงได้ใช้วงจรนี้ในการเลือกขนาดของสัญญาณให้เข้ามาในแต่ละช่อง ในการทดลอง ได้มีการทดสอบวงจร ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

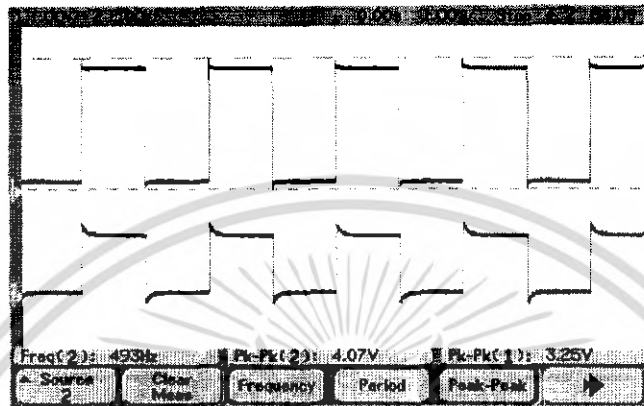
- ทำการตั้งค่าของวงจร Multi-Channel Analyzer โดยตั้งค่า ตั้งแต่ 2-3 โวลต์ ซึ่งกระแสที่จะสามารถเข้ามาในวงจร Multi-Channel Analyzer ต้องมีค่า ในช่วงที่กำหนดเท่านั้น ในการทดลองใช้ฟังก์ชันเงิน ในการจ่ายกระแสเพื่อเป็นสัญญาณอินพุท
- ในการทดลองครั้งที่ 1 จ่ายกระแส 1 โวลต์เข้าวงจร Multi-Channel Analyzer ซึ่งเป็นกระแสที่มีค่าอยู่นอกช่วงที่กำหนดไว้ ดังนั้นจะต้องไม่มีกระแสผ่านเข้ามาในวงจร Multi-Channel Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ก กราฟผลการทดลอง



รูปที่ 4.4 ก กราฟแสดงผลการทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer ครั้งที่ 1

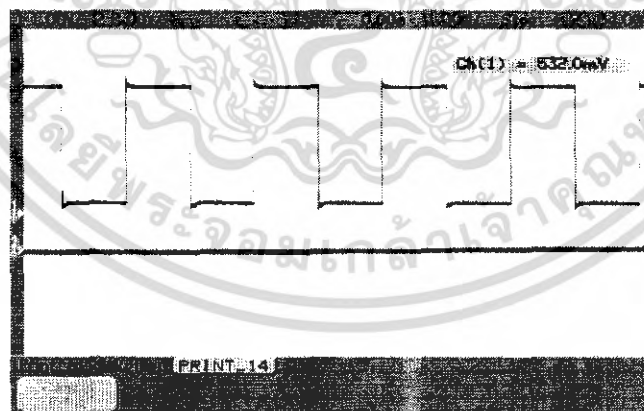
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในการทดลองครั้งที่ 2 จ่ายกระแส 2.5 โวลต์เข้าวงจร Multi-Channel Analyzer ซึ่งเป็นกระแสที่มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ดังนั้นจะต้องมีกระแสผ่านเข้ามาในวงจร Multi-Channel Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ข กราฟผลการทดลอง



รูปที่ 4.4 ข กราฟแสดงผลการทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer ครั้งที่ 2

- ในการทดลองครั้งที่ 3 จ่ายกระแส 4 โวลต์เข้าวงจร Multi-Channel Analyzer ซึ่งเป็นกระแสที่มีค่าอยู่นอกช่วงที่กำหนดไว้ ดังนั้นจะต้องไม่มีกระแสผ่านเข้ามาในวงจร Multi-Channel ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ค กราฟผลการทดลอง

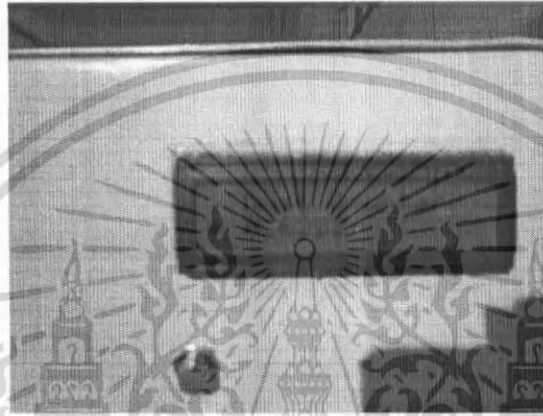


รูปที่ 4.4 ค กราฟแสดงผลการทดลองวงจร Multi-Channel Analyzer ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM-7 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วสูงกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 8 BIT ต่างๆมาก ใช้ X' TAL 19.6608 เมกกะเฮิร์ตประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 เมกกะเฮิร์ต มี LCD Port แบบ Character Type ดังรูปที่ 4.9 และมีขนาด PCB 6.2 x 8.1 เซนติเมตร



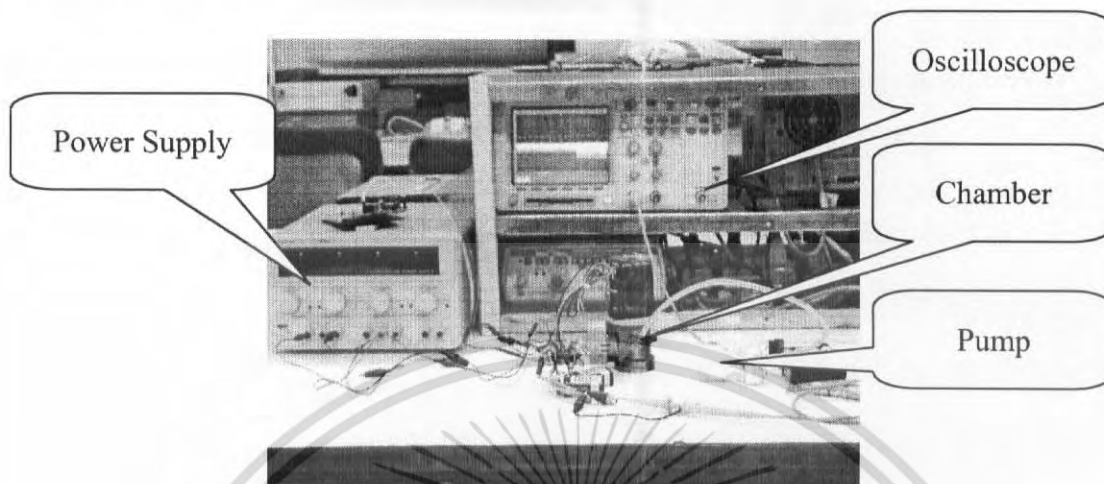
รูปที่ 4.5 แสดงการประมวลผลออกทางหน้าจอ LCD

4.4 การทดลองในส่วนของการวัดปริมาณฝุ่นและการวัดเปรียบเทียบกับมาตรฐานเครื่อง

การทดลองในส่วนนี้ ได้แบ่งออกเป็น 7 การทดลองหลักๆ ดังนี้

การทดลองตอนที่ 1 ทำการทดลองวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศปกติ
วัตถุประสงค์ เพื่อดูสัญญาณที่ออกมาจากวงจรตัวตรวจจับสัญญาณ

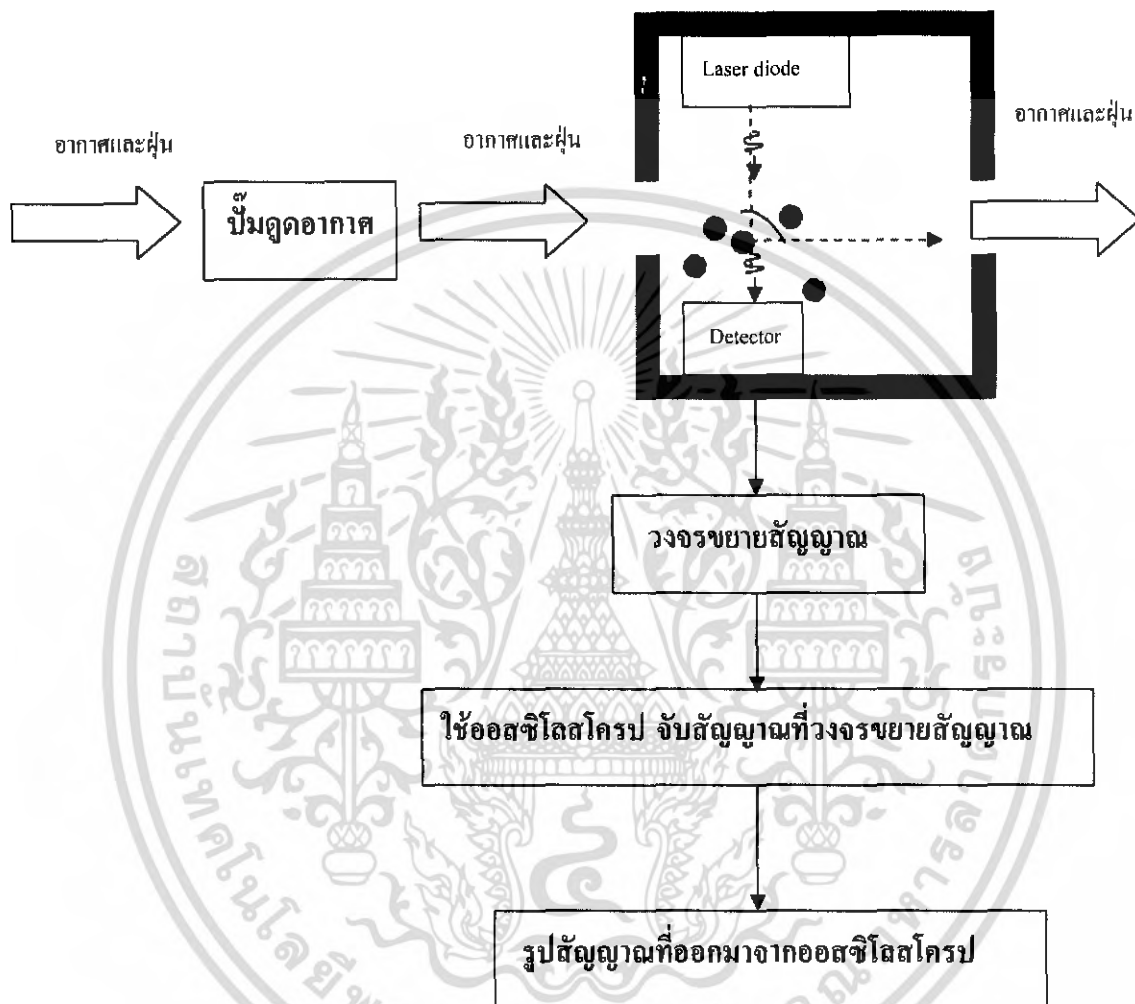
- การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงการเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไลอะแกรมการทดลองตอนที่ 1

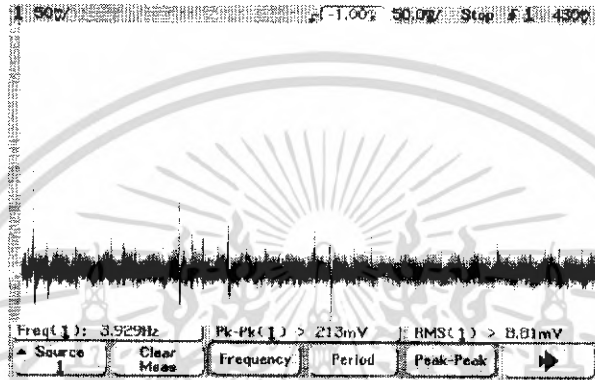


รูปที่ 4.7 แสดงบล็อกไลอะแกรมการทดลองตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

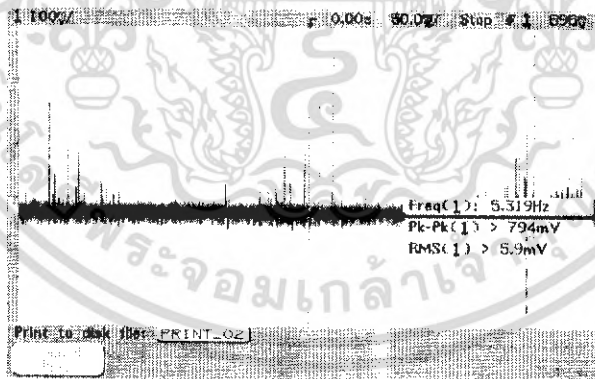
ผลการทดลองที่ได้ออกมาจากออสซิลโลสโคปจะอยู่ในรูปของ สัญญาณของแรงดันไฟฟ้า มีลักษณะเป็นพัลส์ โดยสัญญาณที่ได้ออกมามีความสูงของพัลส์ที่แตกต่างกันออกไปและให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อดูพื้นที่มีขนาดต่างกัน ก็จะให้ความสูงของพัลส์ที่แตกต่างกัน แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 ก ถึง 4.7 ค

- ผลการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.8 ก แสดงผลการทดลองการวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศ ครั้งที่ 1

- ผลการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.8 ข แสดงผลการทดลองการวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศ ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 4.8 ค แสดงผลการทดลองการวัดปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศ ครั้งที่ 3

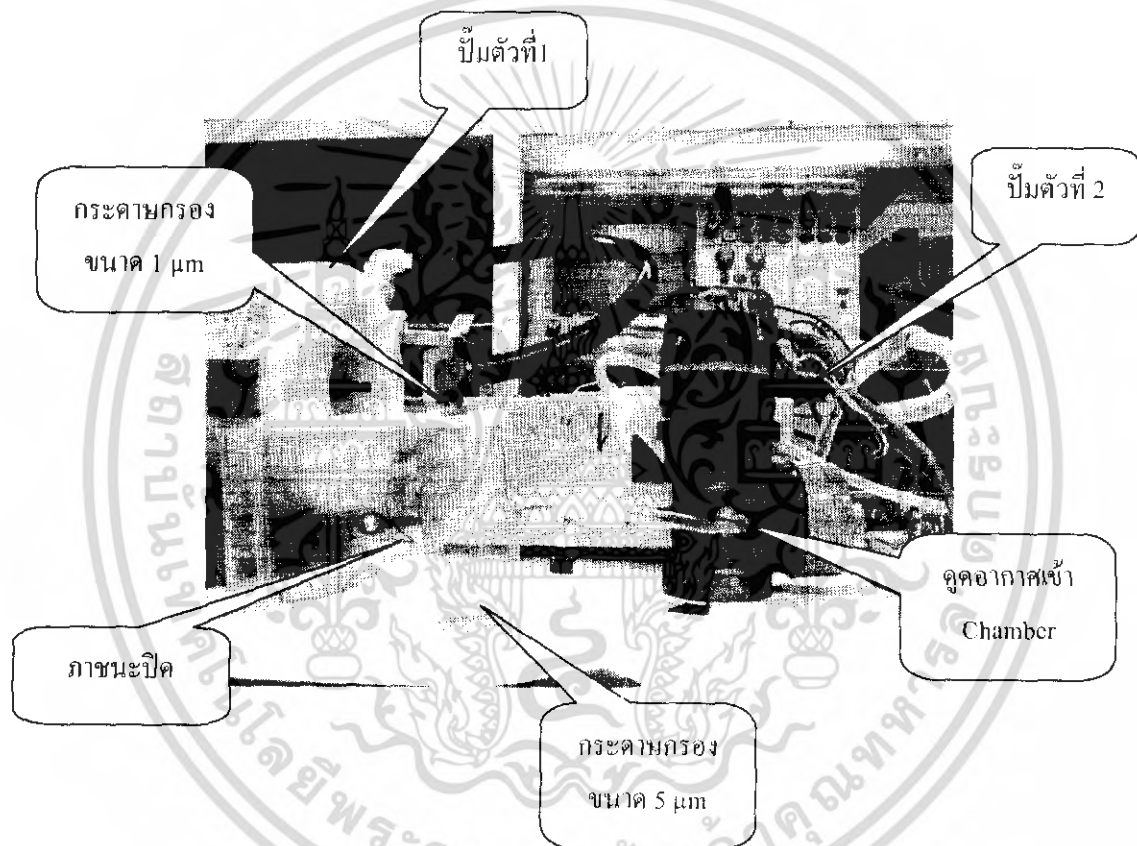


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองตอนที่ 2 ทำการวัดขนาดของสัญญาณพัลส์โดยการกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่นขนาดตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร

วัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณที่ได้ แล้วนำค่าที่ได้มาตั้งค่าช่วงของวงจรมulti-Channel Analyzer ในการกำหนดขนาดของเม็ดฝุ่น เนื่องจากไม่มีเม็ดฝุ่นที่มีขนาดแน่นอนในการปรับตั้งค่า ดังนั้น จึงได้ใช้วิธีการทางอ้อมในการกำหนดค่าของขนาดเม็ดฝุ่น มีการทดลองดังนี้

- การจัดวางอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9

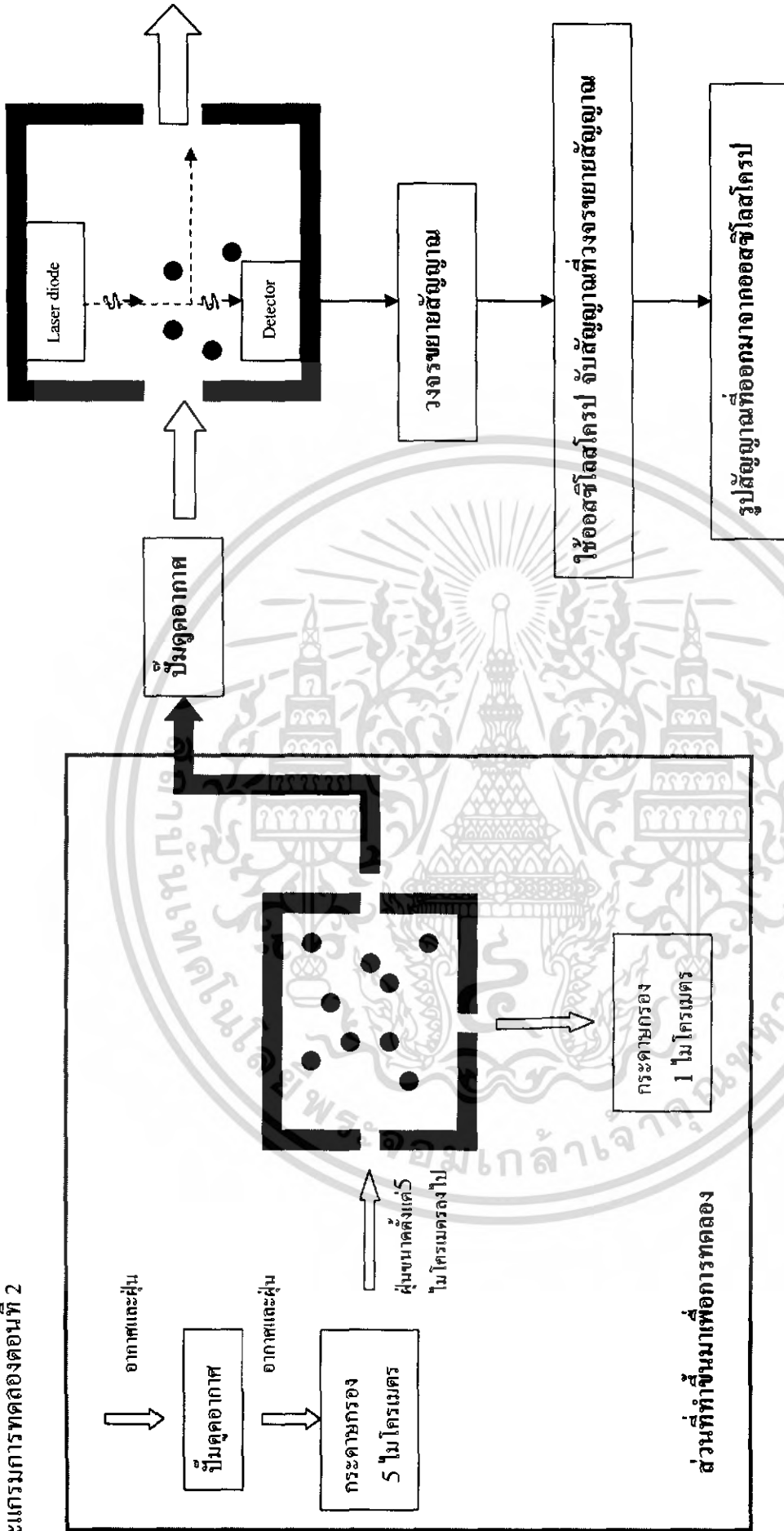


รูปที่ 4.9 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทำการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง ใช้ปั๊มสูบอากาศเข้ามาในบริเวณภาชนะทดลองที่มีกระดาษกรองอยู่สองขนาดดังรูปที่ 4.9 เมื่อทำการสูบอากาศเสร็จ ฝุ่นที่เข้าไปอยู่ในภาชนะปิด ซึ่งมีขนาดของฝุ่นอยู่ในช่วง 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร จากนั้นจุด ฝุ่นที่อยู่ในภาชนะทดลองเข้าไปสู่ Chamber เพื่อวัดสัญญาณไฟฟ้าซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้นั้นก็คือนสัญญาณไฟฟ้าของฝุ่นที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลองตอนที่ 2



รูปที่ 4.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดลองตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองในตอนที 2 ค่าที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของค่าแรงดันไฟฟ้า มีลักษณะของสัญญาณเป็นพัลส์ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นก็คือค่าแรงดันไฟฟ้าของฝุ่นที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

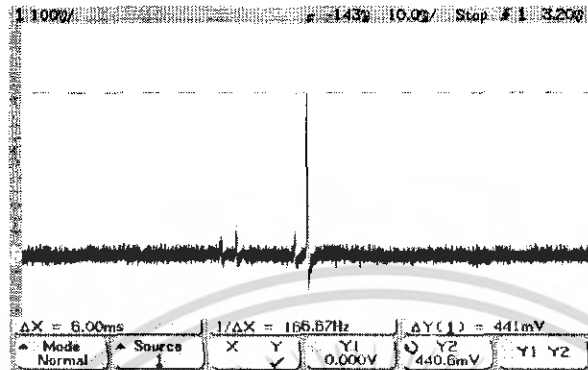
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดขนาดของพัลส์โดยการกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่นขนาด ตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร

ครั้งที่	Pk - Pk (มิลลิโวลต์)	รูปที่
1	444 mV	4.21
2	563 mV	4.22
3	728 mV	4.23
4	547 mV	4.24
5	472 mV	4.25
6	703 mV	4.26
7	750 mV	4.27
8	459 mV	4.28
9	497 mV	4.29
10	559.4 mV	4.30
เฉลี่ย	ประมาณ 440 mV – 750 mV	

- ค่าที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 มีลักษณะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่มาจาก ความสูงของสัญญาณที่เป็นพัลส์ แสดงลักษณะของสัญญาณที่เป็นพัลส์ ดังรูปที่ 4.11 ก – รูปที่ 4.11 ญ

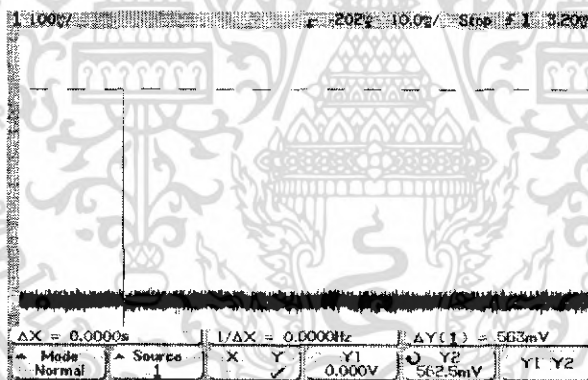
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.11ก แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1

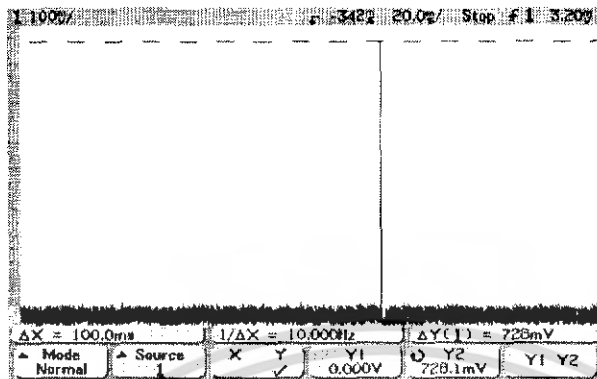
- ผลการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.11ข แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2

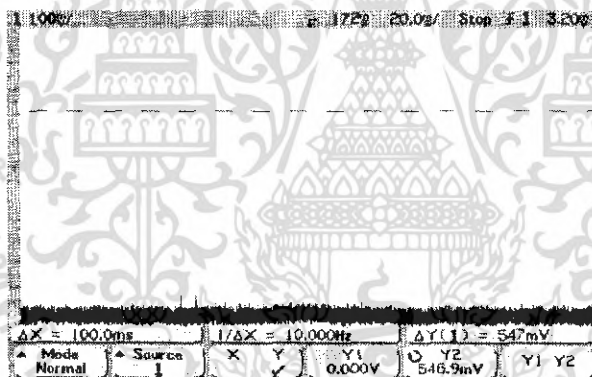
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 4.11ค แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 3

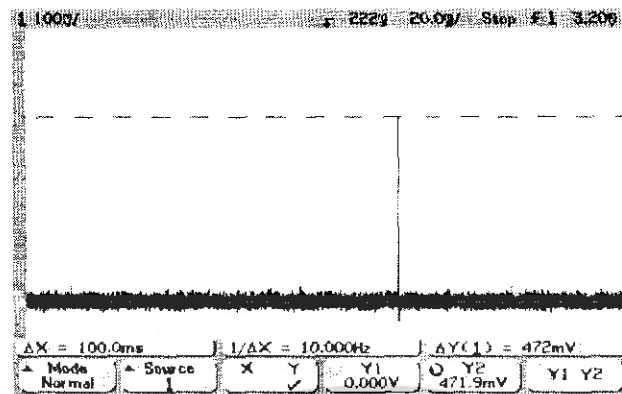
- ผลการทดลองครั้งที่ 4



รูปที่ 4.11ง แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 4

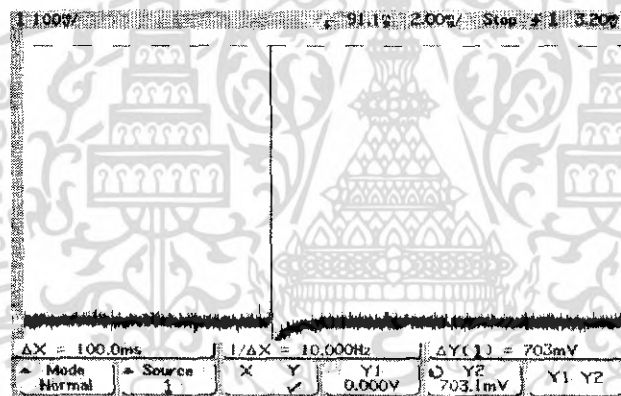
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 5



รูปที่ 4.11จ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 5

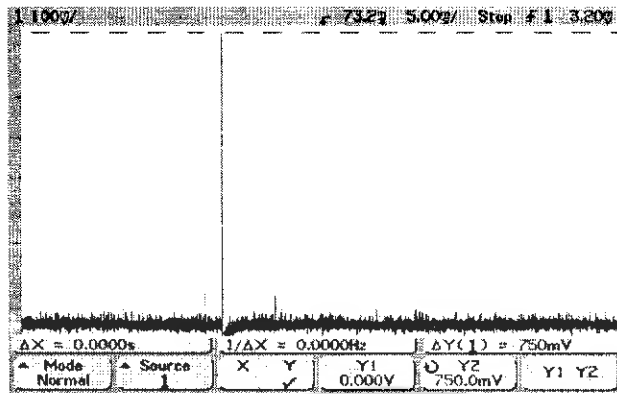
- ผลการทดลองครั้งที่ 6



รูปที่ 4.11ฉ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 6

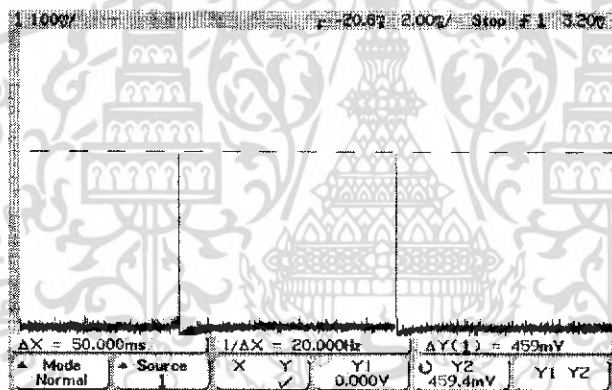
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 7



รูปที่ 4.11x แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 7

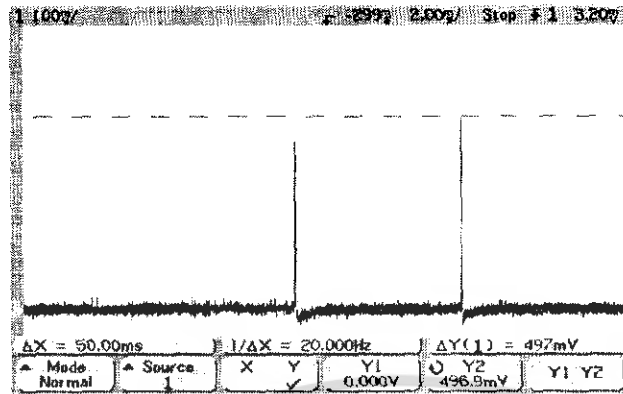
- ผลการทดลองครั้งที่ 8



รูปที่ 4.11x แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 8

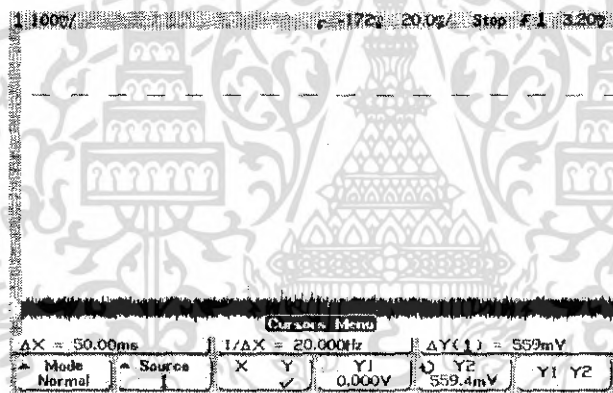
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 9



รูปที่ 4.11ฉ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 9

- ผลการทดลองครั้งที่ 10



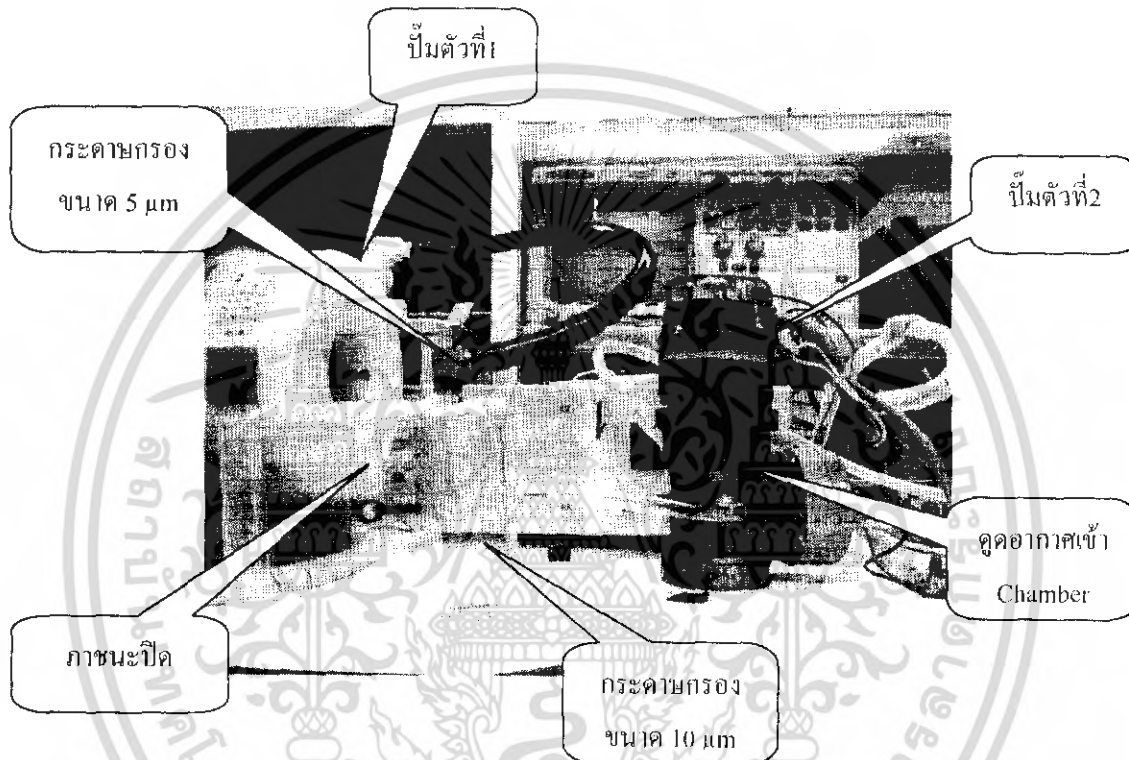
รูปที่ 4.11ญ แสดงการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองตอนที่ 3 ทำการวัดขนาดของสัญญาณพัลส์โดยการ โดยกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่น ตั้งแต่ 5 ไมโครเมตรถึง 10 ไมโครเมตร

วัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณที่ได้ แล้วนำค่าที่ได้มาตั้งค่าช่วงของ วงจร Multi- Channel Analyzer ในการกำหนดขนาดของเม็ดฝุ่น เนื่องจากไม่มี เม็ดฝุ่นที่มีขนาดแน่นอนในการปรับตั้งค่า ดังนั้น จึงได้ใช้วิธีการทางอ้อม ในการกำหนดค่าของขนาดเม็ดฝุ่น มีการทดลองดังนี้

- แสดงการจัดวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.12

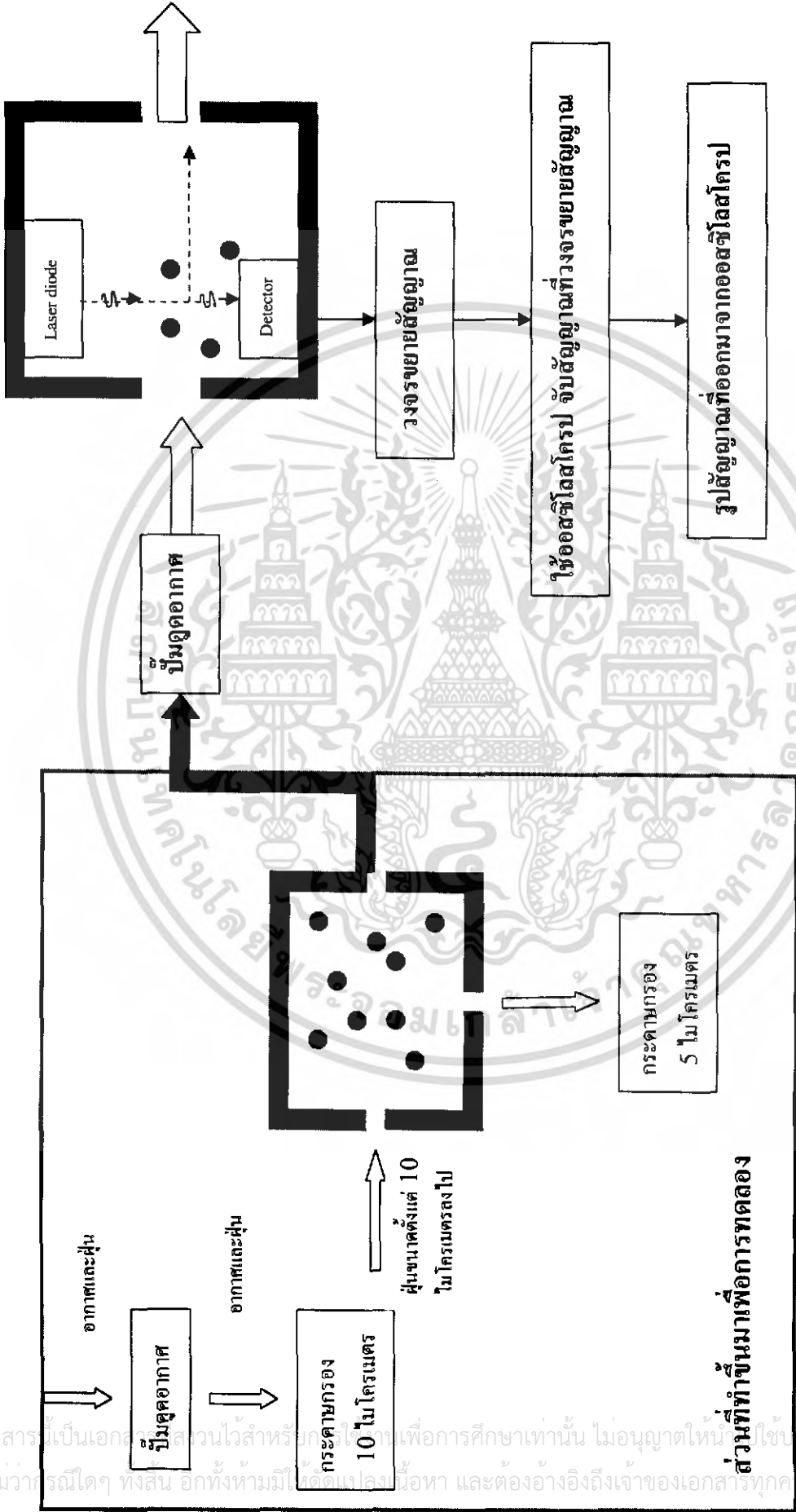


รูปที่ 4.12 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทำการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง ใช้ปืนสูบอากาศเข้ามาในบริเวณภาชนะทดลองที่มีกระดวยกรองอยู่สอง ขนาดดังรูปที่ 4.9 เมื่อทำการสูบอากาศเสร็จ ฝุ่นที่เข้าไปอยู่ในภาชนะปิด ซึ่งมีขนาดของฝุ่นอยู่ ในช่วง 5 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตรจากนั้นดูด ฝุ่นที่อยู่ในภาชนะทดลองเข้าไปสู่ Chamber เพื่อวัดสัญญาณไฟฟ้าซึ่ง สัญญาณไฟฟ้าที่ได้นั้นก็คือนสัญญาณไฟฟ้าของฝุ่นที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดอะแกรมการทดลองตอนที่ 2



รูปที่ 4.13 ไดอะแกรมแสดงการทดลองตอนที่ 3

ผลการทดลองในตอนที 3 ค่าที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของค่าแรงดันไฟฟ้า มีลักษณะของสัญญาณ เป็นพัลส์ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นก็คืค่าแรงดันไฟฟ้าของฝุ่นที่มีขนาด 5 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

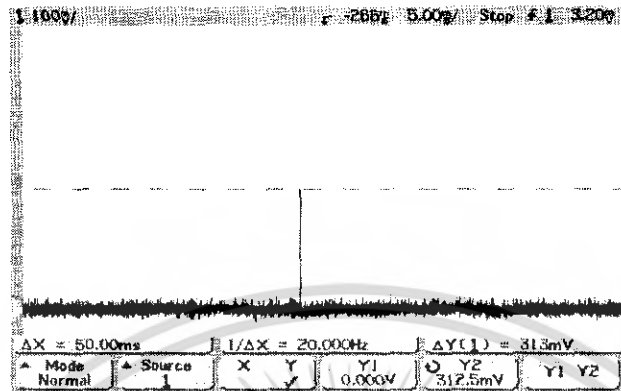
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดขนาดของพัลส์โดยการ กำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่นขนาดตั้งแต่ 5 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร

ครั้งที่	Pk - Pk (มิลลิโวลต์)	รูปที่
1	313 mV	4.31
2	219 mV	4.32
3	166 mV	4.33
4	269 mV	4.34
5	169 mV	4.35
6	291 mV	4.36
7	225 mV	4.37
8	178 mV	4.38
9	181 mV	4.39
10	222 mV	4.40
เฉลี่ย	ประมาณ 320 mV – 150 mV	

- ค่าที่ได้จากการทดลองแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ค่าที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 มีลักษณะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่มา จาก ความสูงของสัญญาณที่เป็นพัลส์ แสดงลักษณะของสัญญาณที่เป็นพัลส์ ดังรูปที่ 4.14ก – 4.14ง

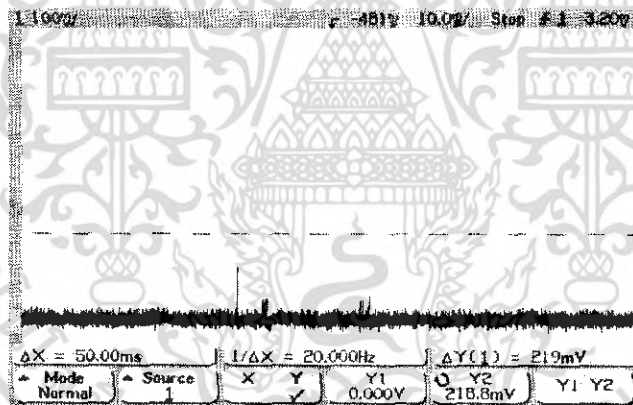
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.14ก แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 1

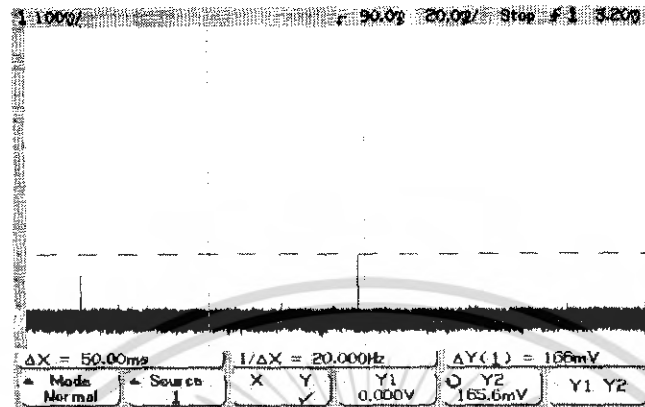
- ผลการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.14ข แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 2

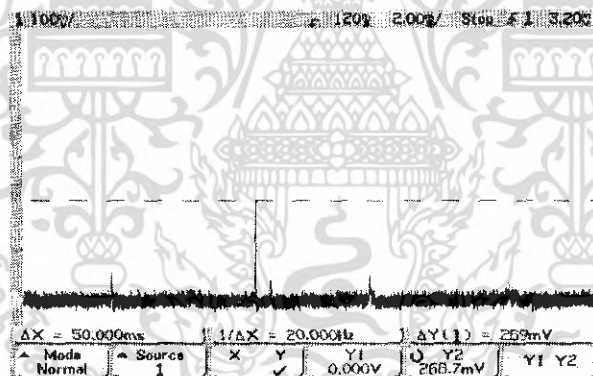
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 4.14ค แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 3

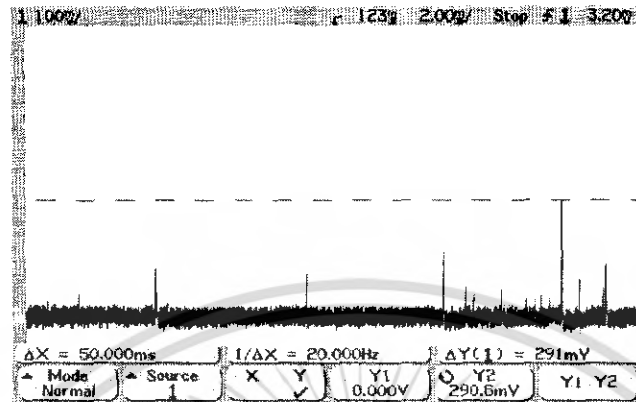
- ผลการทดลองครั้งที่ 4



รูปที่ 4.14ง แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 4

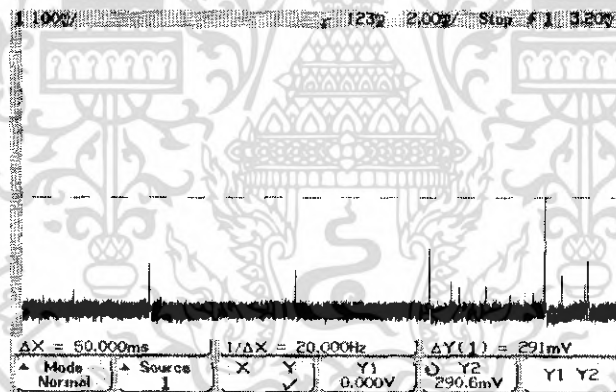
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 5



รูปที่ 4.14จ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 5

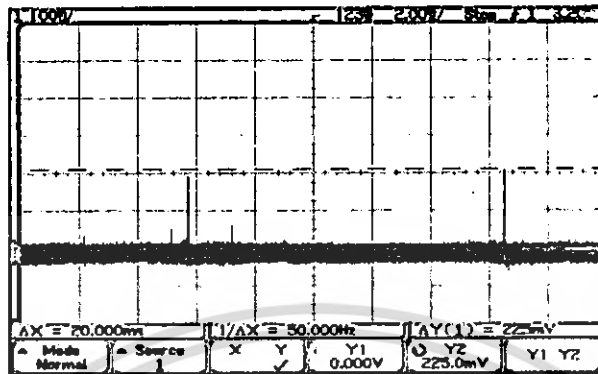
- ผลการทดลองครั้งที่ 6



รูปที่ 4.14ค แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 6

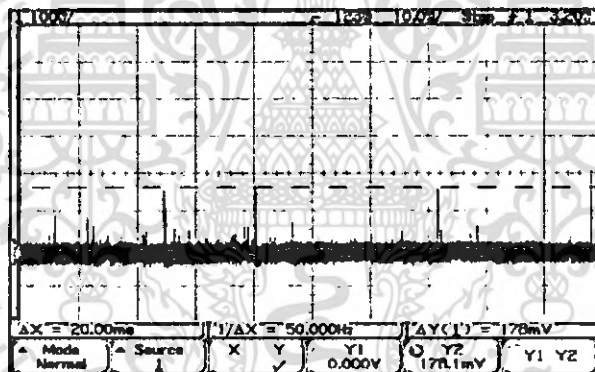
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 7



รูปที่ 4.14x แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 7

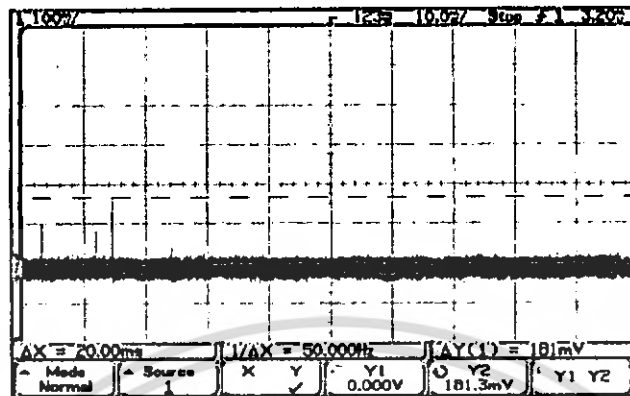
- ผลการทดลองครั้งที่ 8



รูปที่ 4.14x แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 8

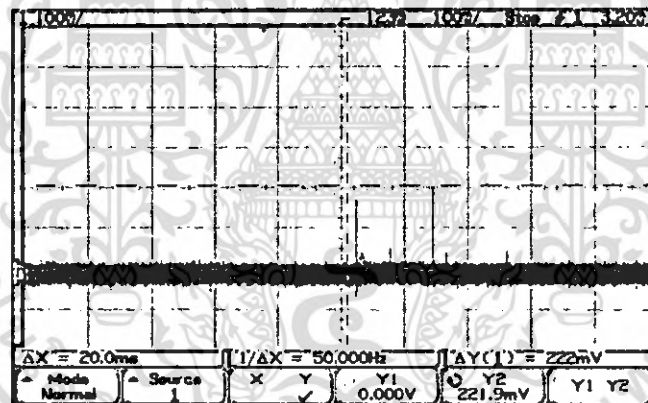
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองครั้งที่ 9



รูปที่ 4.14 ฉ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 9

- ผลการทดลองครั้งที่ 10



รูปที่ 4.14ฉ แสดงการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองตอนที่ 4 ทำการทดลองวัดปริมาณฝุ่นในบริเวณห้องปกติ

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือที่ทำการประดิษฐ์

ขั้นตอนการทดลอง ทำการจับเวลาในการเดินเครื่องในทุกๆ 30 วินาทีแล้วบันทึกค่าที่ได้ ทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

- แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.15 แสดงกราฟการทดลองวัดปริมาณฝุ่นในบริเวณห้องปกติ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดปริมาณฝุ่นในบริเวณห้องปกติ

ครั้งที่	เวลา (วินาที)					
	30 วินาที	60 วินาที	90 วินาที	120 วินาที	150 วินาที	180 วินาที
1	213	539	1387	1865	2391	3214
2	195	412	1123	1678	2143	2854
3	234	508	1205	1562	2296	2940
เฉลี่ย	213	486	1238	1701	2276	3002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟการทดลองตอนที่ 4 วัดปริมาณฝุ่นในห้วงปกติ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการทดลองตอนที่ 4 วัดปริมาณฝุ่นในบริเวณห้วงปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดลองตอนที่ 5 ทำการวัดปริมาณฝุ่นบริเวณที่มีปริมาณฝุ่นหนาแน่น (ตามท้องถนน)
 วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือที่ทำการประดิษฐ์
 ขั้นตอนการทดลอง ทำการจับเวลาในการเดินเครื่องในทุกๆ 30 วินาทีแล้วบันทึกค่าที่ได้
 ทำการ ทดลอง 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย
 - แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.15 แสดงกราฟการทดลองวัดปริมาณฝุ่น
 ในบริเวณห้องปกติ

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดปริมาณฝุ่นบริเวณที่มีปริมาณฝุ่นหนาแน่น

ครั้งที่	เวลา (วินาที)					
	30 วินาที	60 วินาที	90 วินาที	120 วินาที	150 วินาที	180 วินาที
1	2314	5081	7390	12960	15686	18963
2	2386	6038	8401	11456	16098	20478
3	2103	5842	7956	13864	14975	19435
เฉลี่ย	2267	5658	7915	12760	15586	19625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟการทดลองตอนที่ 5 ทำการวัดปริมาณฝุ่นที่บริเวณที่มีฝุ่นหนาแน่น

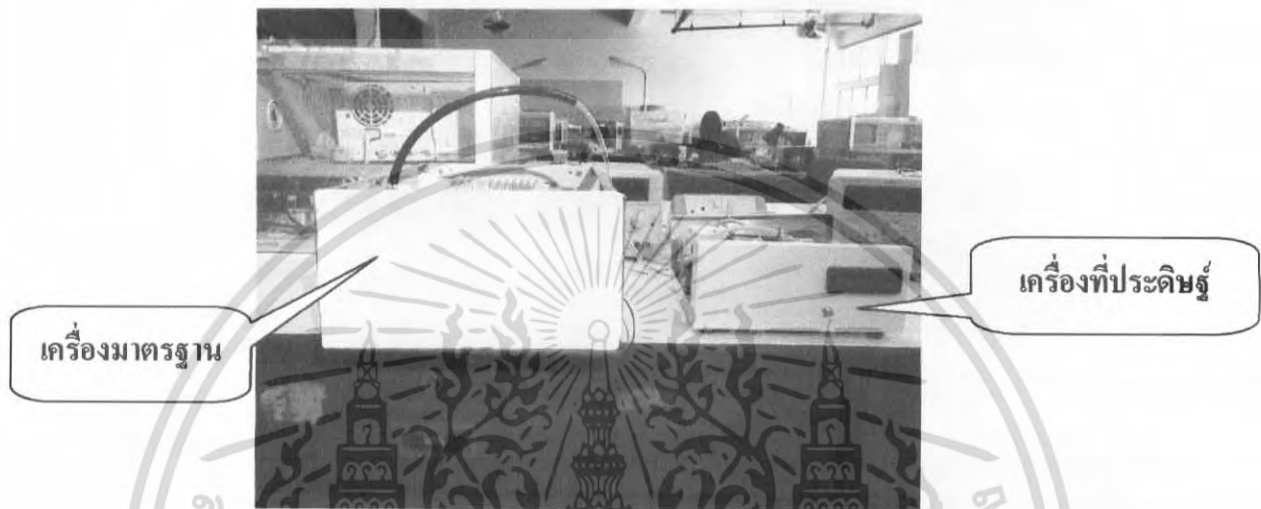


รูปที่ 4.16 แสดงกราฟการทดลองตอนที่ 5 ทำการวัดปริมาณฝุ่นในบริเวณที่มีฝุ่นหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง ตอนที่ 6 ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าของเครื่องที่ประดิษฐ์ กับเครื่องมือที่มาตรฐาน
วัตถุประสงค์ เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ทำการประดิษฐ์ขึ้น

- ทำการจัดอุปกรณ์ในการทดลองดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทำการทดลอง

- ไคอะแกรมการทดลอง ตอนที่ 6 ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าของเครื่องที่ประดิษฐ์ กับเครื่องมือที่
มาตรฐาน



รูปที่ 4.18 แสดงบล็อกไคอะแกรมการทดลองตอนที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั๊มที่ใช้ในการทดลองได้ใช้ปั๊มจากเครื่องมาตรฐาน เนื่องจากปั๊มของเครื่องมาตรฐาน กับ เครื่องที่ทำการประดิษฐ์มีอัตราการไหลที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น เพื่อความแม่นยำของค่าที่ได้ จึงเลือกใช้ ปั๊มของเครื่องมาตรฐานที่มีอัตราการไหล 40 ลิตรต่อนาที ในการทดลองนี้ ผลการทดลองในตอน ที่ 6 แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบค่าของเครื่องที่ประดิษฐ์กับเครื่องมือที่มาตรฐาน โดยใช้เวลาในการทดลอง 30 วินาที

ครั้งที่	เครื่องที่ประดิษฐ์	เครื่องมาตรฐาน
1	50253	50326
2	58479	72156
3	48213	59873
4	49421	69856
5	62156	55432
เฉลี่ย	53704	61528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองตอนที่ 7 ทำการทดลองวัดมวลของฝุ่น

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบเครื่องโดยจะเห็นได้ว่าเครื่องมือที่ทำการประดิษฐ์สามารถวัดมวลของฝุ่นได้แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดปริมาณฝุ่นที่ใช้หลักการของ Quartz Crystal Microbalance (QCM) ที่ให้ปริมาณฝุ่นออกมาเป็นมวล แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองวัดมวลของฝุ่นจากเครื่องที่ประดิษฐ์

ขนาดของอนุภาค	เวลา	มวล (g)
1 ไมโครเมตร – 5 ไมโครเมตร	10 นาที	36.78×10^{-6}
5 ไมโครเมตร – 10 ไมโครเมตร	10 นาที	51.921×10^{-6}

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองวัดมวลโดยใช้หลักการ Quartz crystal Microbalance (QCM)

ขนาดของอนุภาค	เวลา	มวล (g)
1 ไมโครเมตร – 5 ไมโครเมตร	10 นาที	20×10^{-6}
5 ไมโครเมตร – 10 ไมโครเมตร	10 นาที	53×10^{-6}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในโครงการนี้ สามารถที่จะวิเคราะห์ผลในแต่ละการทดลองได้ ดังนี้

การทดลองใน ตอนที่ 1 การวัดปริมาณฝุ่นเพื่อสังเกตลักษณะของสัญญาณที่ได้ออกมาจากการวัดฝุ่น จะเห็นได้ว่าสัญญาณจะมีลักษณะเป็นพัลส์ที่มีความสูงของพัลส์เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแต่ละพัลส์จะมีความสูงที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้ทราบว่าเมื่อฝุ่นแต่ละเม็ดที่มีขนาดไม่เท่ากันจะให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน นั่นก็ทำให้ความสูงของพัลส์ไม่เท่ากันด้วย

การทดลองใน ตอนที่ 2 และตอนที่ 3 โดยทำการจำกัดขนาดของเม็ดฝุ่นที่เข้ามาในเครื่องวัดปริมาณฝุ่น โดยใช้ เป็นการกำหนดช่วงของขนาดเม็ดฝุ่นซึ่งสามารถนำค่าที่ได้นี้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งค่าของวงจร Multi-Channel Analyzer ได้ ผลที่ได้ คือ เมื่อทำการกำหนดช่วงของเม็ดฝุ่นให้มีขนาดตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสัญญาณในช่วงประมาณ 440 มิลลิโวลต์ - 750 มิลลิโวลต์ และ อีกช่วงหนึ่ง คือ เม็ดฝุ่นที่มีขนาดตั้งแต่ 5 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร จะได้ค่าความสูงของสัญญาณในช่วงประมาณ 320 มิลลิโวลต์ - 150 มิลลิโวลต์ ซึ่ง ค่าที่ได้จากการทดลอง เป็นไปตามทฤษฎีของการกระเจิงของแสง ที่ว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเกิดการกระเจิงแสงมากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

การทดลองในตอนที่ 4 และตอนที่ 5 เป็นการทดลองวัดปริมาณฝุ่นตามบริเวณทั่วไปซึ่งแบ่งออกเป็นบริเวณที่มีปริมาณฝุ่นปกติ กับ บริเวณที่มีปริมาณฝุ่นหนาแน่น เพื่อดูความมีเสถียรภาพของเครื่องมือ และ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องมือที่ทำการประดิษฐ์มีความเป็นเชิงเส้น

การทดลอง ตอนที่ 5 ทดลองเปรียบเทียบค่าของเครื่องมือที่ประดิษฐ์กับเครื่องมือที่ได้มาตรฐาน โดยจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากขนาดอนุภาคของเครื่องที่ประดิษฐ์กับเครื่องมือมาตรฐาน มีขนาดไม่เท่ากันทำให้จำนวนอนุภาคที่นับได้มีค่าแตกต่างกันด้วย

การทดลอง ตอนที่ 6 ทดลองวัดปริมาณฝุ่นโดยแสดงค่าออกมาเป็นมวล เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าจากเครื่องที่ใช้หลักการของ Quartz crystal Microbalance (QCM) จากผลการทดลองค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน

5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินโครงการ

1. ปุ่มสูบอากาศที่ใช้ไม่ค่อยดูดอากาศเท่าที่ควร ปุ่มสูบอากาศควรมีประสิทธิภาพดีกว่านี้
2. เครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้นยังไม่ค่อยมีความเสถียรเท่าที่ควร

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ

เนื่องจากเครื่องมือวัดปริมาณฝุ่นที่ประดิษฐ์ขึ้นมาในโครงการนี้ เป็นเครื่องมือต้นแบบ ดังนั้นจึงต้องมีแนวทางในการพัฒนาต่อไป ส่วนที่ควรมีการพัฒนามีดังนี้

- ขนาดของตัวเครื่องมือควรที่จะมีขนาดเล็กมากกว่านี้
- ปุ่มที่ใช้ในการดูดอากาศ ควรที่จะมีอัตราการไหลคงที่มากกว่านี้
- ขนาดของเม็ดฝุ่นที่เครื่องสามารถวัดได้ ควรวัดได้หลายขนาดมากกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การกระเจิงของแสง. ค้นเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2549, จาก
<http://en.wikipedia.org/wiki/Scattering>
- [2] การกระเจิงแบบเรย์เลห์ . ค้นเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2549, จาก
<http://www.philiplaven.com/p8b.html>
- [3] การกระเจิงแบบไม (Mie scattering). ค้นเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2549 ,จาก
<http://farside.ph.utexas.edu/teaching/jk1/lectures/node103.html>
- [4] Van de Hulst, H.C 2002. “ **Light scattering by small particles / by H.C. van de Hulst**”
.New York : Dover, c1981 : 2-132
- [5] Wickramasinghe, N.C. “**Light scattering functions for small particles with applications in astronomy / N.C. Wickramasinghe** “ London : Adam Hilger, c1973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

74HC00; 74HCT00 Quad 2-input NAND gate

Product specification
Supersedes data of 1997 Aug 26

2003 Jun 30

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

FEATURES

Complies with JEDEC standard no. 8-1A
 ESD protection:
 HBM EIA/JESD22-A114-A exceeds 2000 V
 MM EIA/JESD22-A115-A exceeds 200 V
 Specified from -40 to +85 °C and -40 to +125 °C.

DESCRIPTION

The 74HC00/74HCT00 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The 74HC00/74HCT00 provide the 2-input NAND function.

TEST REFERENCE DATA

V_D = 0 V; T_{amb} = 25 °C; t_r = t_f = 6 ns.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			74HC00	74HCT00	
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nA, nB to nY	C _L = 15 pF; V _{CC} = 5 V	7	10	ns
C _I	input capacitance		3.5	3.5	pF
C _{PD}	power dissipation capacitance per gate	notes 1 and 2	22	22	pF

NOTES

C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW).

P_D = C_{PD} × V_{CC}² × f_i × N + Σ(C_L × V_{CC}² × f_o) where:

f_i = input frequency in MHz;

f_o = output frequency in MHz;

C_L = output load capacitance in pF;

V_{CC} = supply voltage in Volts;

N = total load switching outputs;

Σ(C_L × V_{CC}² × f_o) = sum of the outputs.

For 74HC00 the condition is V_i = GND to V_{CC}.

For 74HCT00 the condition is V_i = GND to V_{CC} - 1.5 V.

FUNCTION TABLE

See note 1.

INPUT		OUTPUT
nA	nB	nY
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

NOTE

H = HIGH voltage level;

L = LOW voltage level.

Quad 2-input NAND gate

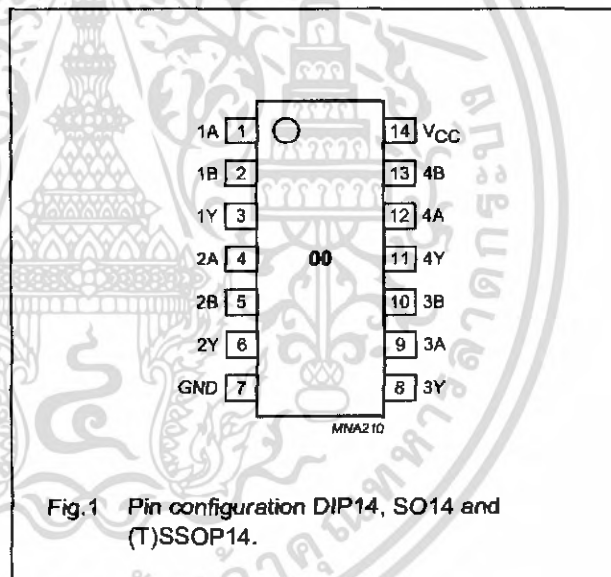
74HC00; 74HCT00

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE				
	TEMPERATURE RANGE	PINS	PACKAGE	MATERIAL	CODE
4HC00N	-40 to +125 °C	14	DIP14	plastic	SOT27-1
4HCT00N	-40 to +125 °C	14	DIP14	plastic	SOT27-1
4HC00D	-40 to +125 °C	14	SO14	plastic	SOT108-1
4HCT00D	-40 to +125 °C	14	SO14	plastic	SOT108-1
4HC00DB	-40 to +125 °C	14	SSOP14	plastic	SOT337-1
4HCT00DB	-40 to +125 °C	14	SSOP14	plastic	SOT337-1
4HC00PW	-40 to +125 °C	14	TSSOP14	plastic	SOT402-1
4HCT00PW	-40 to +125 °C	14	TSSOP14	plastic	SOT402-1
4HC00BQ	-40 to +125 °C	14	DHVQFN14	plastic	SOT762-1
4HCT00BQ	-40 to +125 °C	14	DHVQFN14	plastic	SOT762-1

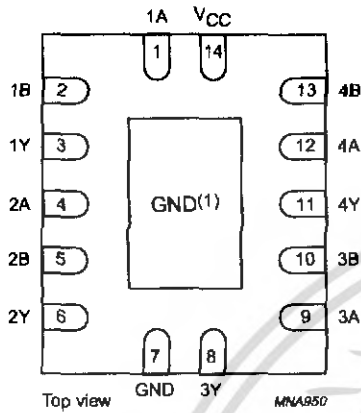
PINNING

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	1A	data input
2	1B	data input
3	1Y	data output
4	2A	data input
5	2B	data input
6	2Y	data output
7	GND	ground (0 V)
8	3Y	data output
9	3A	data input
10	3B	data input
11	4Y	data output
12	4A	data input
13	4B	data input
14	V _{CC}	supply voltage



Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00



(1) The die substrate is attached to this pad using conductive die attach material. It can not be used as a supply pin or input.

Fig.2 Pin configuration DHVQFN14.

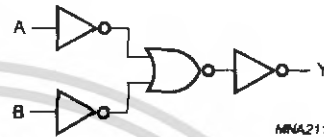


Fig.3 Logic diagram (one gate).

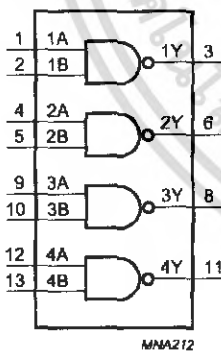


Fig.4 Function diagram.

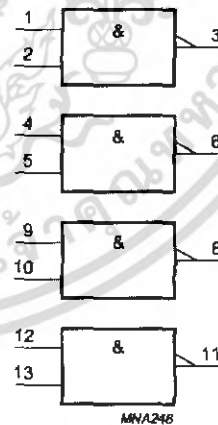


Fig.5 IEC logic symbol.

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	74HC00			74HCT00			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.	
V _{CC}	supply voltage		2.0	5.0	6.0	4.5	5.0	5.5	V
V _I	input voltage		0	–	V _{CC}	0	–	V _{CC}	V
V _O	output voltage		0	–	V _{CC}	0	–	V _{CC}	V
T _{amb}	operating ambient temperature	see DC and AC characteristics per device	–40	+25	+125	–40	+25	+125	°C
t _r	input rise and fall times	V _{CC} = 2.0 V	–	–	1000	–	–	–	ns
		V _{CC} = 4.5 V	–	6.0	500	–	6.0	500	ns
		V _{CC} = 6.0 V	–	–	400	–	–	–	ns

LIMITING VALUES

in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134); voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V _{CC}	supply voltage		–0.5	+7.0	V
I _K	input diode current	V _I < –0.5 V or V _I > V _{CC} + 0.5 V	–	±20	mA
I _{OK}	output diode current	V _O < –0.5 V or V _O > V _{CC} + 0.5 V	–	±20	mA
I _O	output source or sink current	–0.5 V < V _O < V _{CC} + 0.5 V	–	±25	mA
I _{CC} , I _{GND}	V _{CC} or GND current		–	±50	mA
T _{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
P _{tot}	power dissipation	T _{amb} = –40 to +125 °C; note 1	–	500	mW

Notes

- For DIP14 packages: above 70 °C derate linearly with 12 mW/K.
- For SO14 packages: above 70 °C derate linearly with 8 mW/K.
- For SSOP14 and TSSOP14 packages: above 60 °C derate linearly with 5.5 mW/K.
- For DHVQFN14 packages: above 60 °C derate linearly with 4.5 mW/K.

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

C CHARACTERISTICS

type 74HC00

at recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = -40 to +85 °C; note 1							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		2.0	1.5	1.2	–	V
			4.5	3.15	2.4	–	V
			6.0	4.2	3.2	–	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		2.0	–	0.8	0.5	V
			4.5	–	2.1	1.35	V
			6.0	–	2.8	1.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = -20 µA	2.0	1.9	2.0	–	V
		I _O = -20 µA	4.5	4.4	4.5	–	V
		I _O = -20 µA	6.0	5.9	6.0	–	V
		I _O = -4.0 mA	4.5	3.84	4.32	–	V
		I _O = -5.2 mA	6.0	5.34	5.81	–	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = 20 µA	2.0	–	0	0.1	V
		I _O = 20 µA	4.5	–	0	0.1	V
		I _O = 20 µA	6.0	–	0	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	–	0.15	0.33	V
		I _O = 5.2 mA	6.0	–	0.16	0.33	V
I _I	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	6.0	–	–	±1.0	µA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND	6.0	–	–	±5.0	µA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	6.0	–	–	20	µA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = -40 to +125 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		2.0	1.5	-	-	V
			4.5	3.15	-	-	V
			6.0	4.2	-	-	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		2.0	-	-	0.5	V
			4.5	-	-	1.35	V
			6.0	-	-	1.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = -20 μA	2.0	1.9	-	-	V
		I _O = -20 μA	4.5	4.4	-	-	V
		I _O = -20 μA	6.0	5.9	-	-	V
		I _O = -4.0 mA	4.5	3.7	-	-	V
		I _O = -5.2 mA	6.0	5.2	-	-	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = 20 μA	2.0	-	-	0.1	V
		I _O = 20 μA	4.5	-	-	0.1	V
		I _O = 20 μA	6.0	-	-	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	-	-	0.4	V
		I _O = 5.2 mA	6.0	-	-	0.4	V
I _I	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	6.0	-	-	±1.0	μA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND	6.0	-	-	±10.0	μA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	6.0	-	-	40	μA

Note

All typical values are measured at T_{amb} = 25 °C.

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

type 74HCT00

t recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = -40 to +85 °C; note 1							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		4.5 to 5.5	2.0	1.6	–	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		4.5 to 5.5	–	1.2	0.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = -20 µA	4.5	4.4	4.5	–	V
		I _O = -4.0 mA	4.5	3.84	4.32	–	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = 20 µA	4.5	–	0	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	–	0.15	0.33	V
I _I	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	5.5	–	–	±1.0	µA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	±5.0	µA
I _{QC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	20	µA
I _{CC}	additional supply current per input	V _I = V _{CC} - 2.1 V; I _O = 0	4.5 to 5.5	–	150	675	µA
T _{amb} = -40 to +125 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		4.5 to 5.5	2.0	–	–	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		4.5 to 5.5	–	–	0.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = -20 µA	4.5	4.4	–	–	V
		I _O = -4.0 mA	4.5	3.7	–	–	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL} I _O = 20 µA	4.5	–	–	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	–	–	0.4	V
I _I	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	5.5	–	–	±1.0	µA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	±10	µA
I _{QC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	40	µA
I _{CC}	additional supply current per input	V _I = V _{CC} - 2.1 V; I _O = 0	4.5 to 5.5	–	–	735	µA

note

All typical values are measured at T_{amb} = 25 °C.

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

C CHARACTERISTICS

type 74HC00

ND = 0 V; $t_r = t_f = 6$ ns; $C_L = 50$ pF.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		WAVEFORMS	V _{CC} (V)				
T _{amb} = -40 to +85 °C; note 1							
t _{PLH} /t _{PLH}	propagation delay nA, nB to nY	see Fig.6	2.0	-	25	115	ns
		see Fig.6	4.5	-	9	23	ns
		see Fig.6	6.0	-	7	20	ns
t _{HL} /t _{TLH}	output transition time		2.0	-	19	95	ns
			4.5	-	7	19	ns
			6.0	-	6	16	ns
T _{amb} = -40 to +125 °C							
t _{PLH} /t _{PLH}	propagation delay nA, nB to nY	see Fig.6	2.0	-	-	135	ns
		see Fig.6	4.5	-	-	27	ns
		see Fig.6	6.0	-	-	23	ns
t _{HL} /t _{TLH}	output transition time		2.0	-	-	110	ns
			4.5	-	-	22	ns
			6.0	-	-	19	ns

note

All typical values are measured at T_{amb} = 25 °C.

type 74HCT00

ND = 0 V; $t_r = t_f = 6$ ns; $C_L = 50$ pF

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		WAVEFORMS	V _{CC} (V)				
T _{amb} = -40 to +85 °C; note 1							
t _{PLH} /t _{PLH}	propagation delay nA, nB to nY	see Fig.6	4.5	-	12	24	ns
t _{HL} /t _{TLH}	output transition time		4.5	-	-	29	ns
T _{amb} = -40 to +125 °C							
t _{PLH} /t _{PLH}	propagation delay nA, nB to nY	see Fig.6	4.5	-	-	29	ns
t _{HL} /t _{TLH}	output transition time		4.5	-	-	22	ns

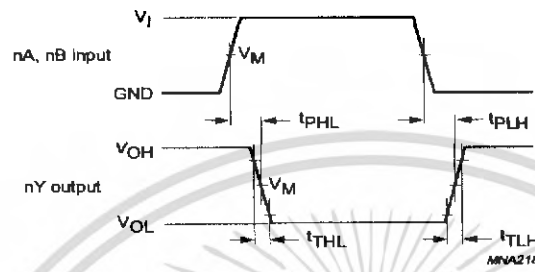
note

All typical values are measured at T_{amb} = 25 °C.

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

C WAVEFORMS



74HC00: V_M = 50%; V_I = GND to V_{CC}.
 74HCT00: V_M = 1.3 V; V_I = GND to 3 V.

Fig.6 Waveforms showing the input (nA, nB) to output (nY) propagation delays.

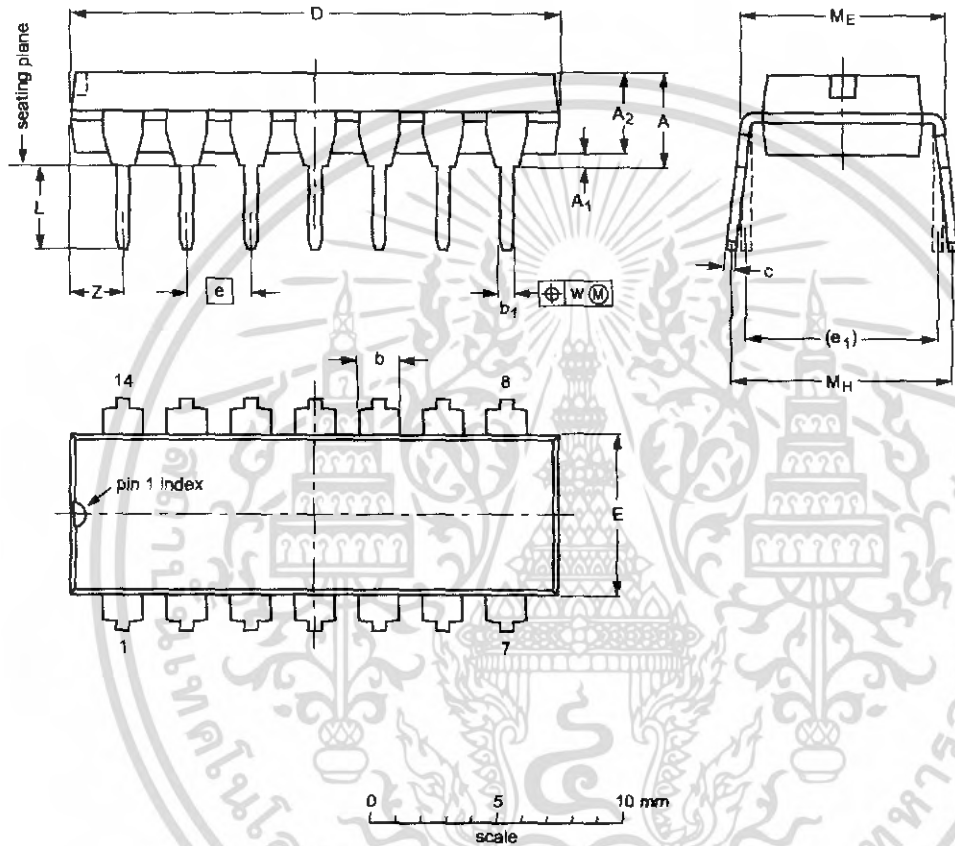
Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

PACKAGE OUTLINES

NP14: plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)

SOT27-1



DIMENSIONS (Inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.13	0.53 0.38	0.38 0.23	19.50 18.55	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	2.2
inches	0.17	0.02	0.13	0.068 0.044	0.021 0.015	0.014 0.009	0.77 0.73	0.26 0.24	0.1	0.3	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.087

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm (0.01 inch) maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT27-1	050G04	MO-001	SC-501-14		98-12-27 03-02-13

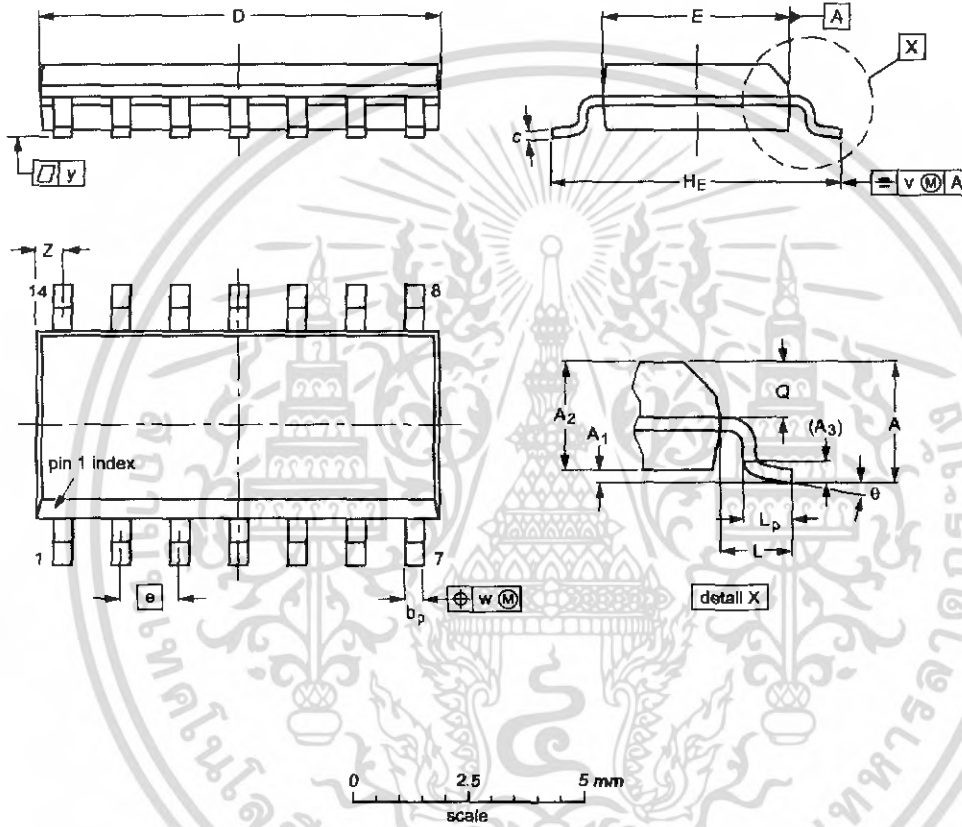
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

014: plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm

SOT108-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	z ⁽¹⁾	θ
mm	1.75	0.25 0.10	1.45 1.25	0.25	0.49 0.36	0.25 0.19	8.75 8.55	4.0 3.8	1.27	6.2 5.8	1.05	1.0 0.4	0.7 0.6	0.25	0.25	0.1	0.7 0.3	8° 0°
inches	0.069	0.010 0.004	0.057 0.049	0.01	0.019 0.014	0.0100 0.0075	0.35 0.34	0.16 0.15	0.05	0.244 0.228	0.041	0.039 0.016	0.028 0.024	0.01	0.01	0.004	0.028 0.012	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm (0.006 inch) maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA			
SOT108-1	076E06	MS-012				99-12-27 03-02-19

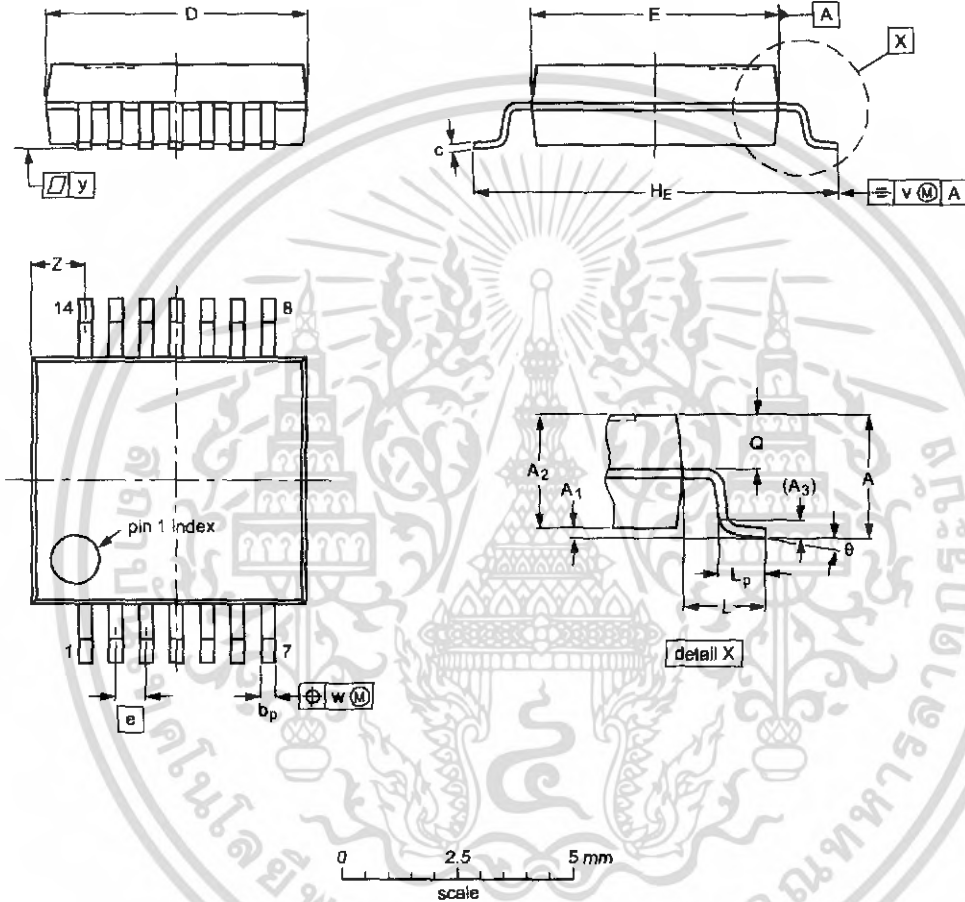
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

SOP14: plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm

SOT337-1



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	Z ⁽¹⁾	θ
mm	2	0.21 0.05	1.80 1.85	0.25	0.38 0.25	0.20 0.09	6.4 6.0	5.4 5.2	0.65	7.9 7.6	1.25	1.03 0.63	0.9 0.7	0.2	0.13	0.1	1.4 0.9	8° 0°

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT337-1		MO-150			98-12-27 03-02-19

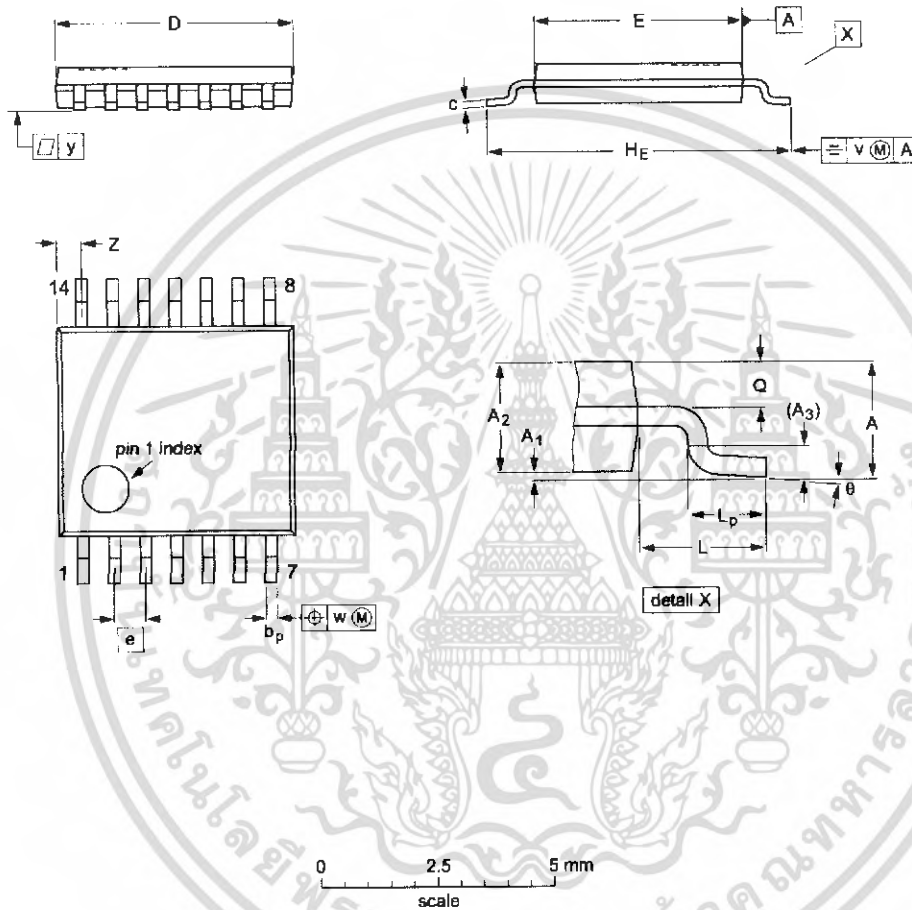
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

SSOP14: plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm

SOT402-1



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A _{max.}	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽²⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	z ⁽¹⁾	θ
mm	1.1	0.15 0.05	0.95 0.80	0.25	0.30 0.19	0.2 0.1	5.1 4.9	4.5 4.3	0.65	6.6 6.2	1	0.75 0.50	0.4 0.3	0.2	0.13	0.1	0.72 0.38	8° 0°

Notes

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.
2. Plastic interlead protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT402-1		MO-153			99-12-27 03-02-18

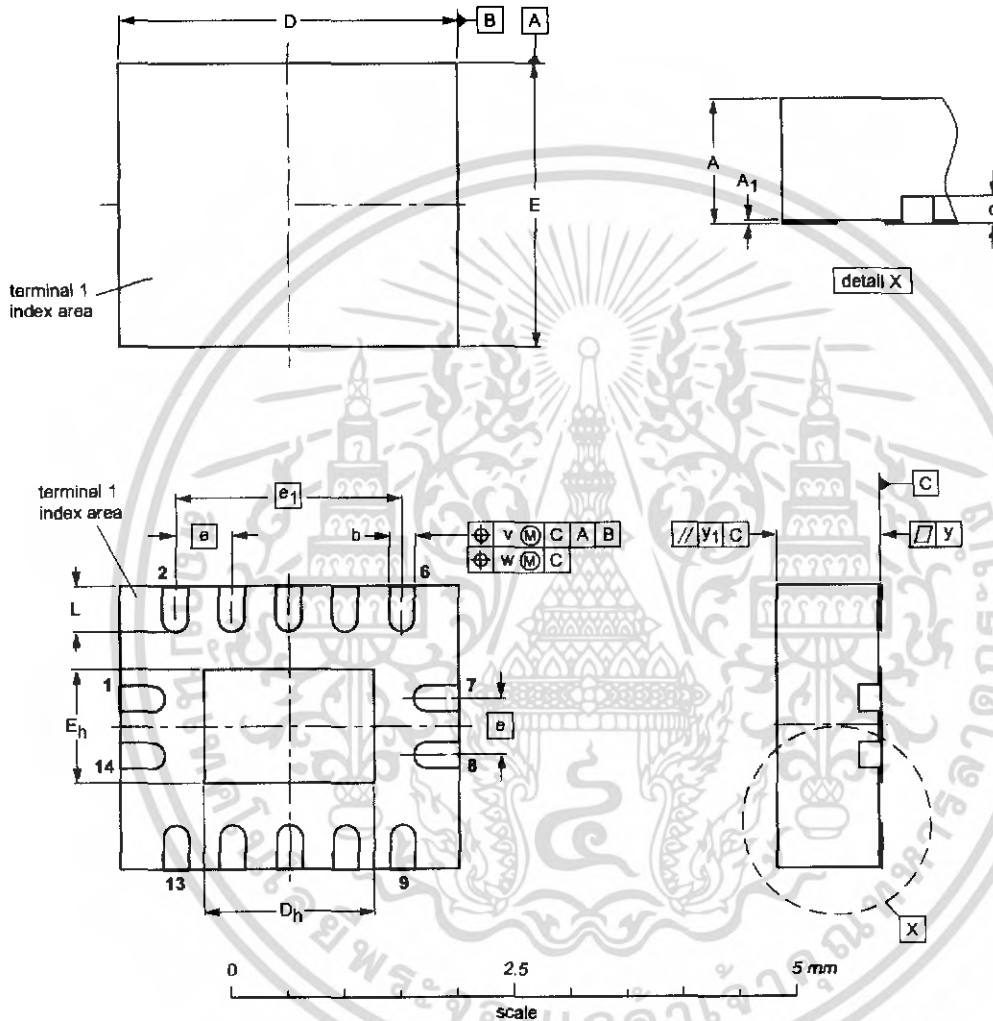
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

HVQFN14: plastic dual in-line compatible thermal enhanced very thin quad flat package; no leads;
4 terminals; body 2.5 x 3 x 0.85 mm

SOT762-1



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A ⁽¹⁾ max.	A ₁	b	c	D ⁽¹⁾	D _h	E ⁽¹⁾	E _h	e	e ₁	L	v	w	y	y ₁
mm	1	0.05 0.00	0.30 0.18	0.2	3.1 2.9	1.65 1.35	2.6 2.4	1.15 0.85	0.5	2	0.5 0.3	0.1	0.05	0.05	0.1

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.075 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT762-1	---	MO-241	---		02-10-17 03-01-27

Quad 2-input NAND gate

74HC00; 74HCT00

DATA SHEET STATUS

LEVEL	DATA SHEET STATUS ⁽¹⁾	PRODUCT STATUS ⁽²⁾⁽³⁾	DEFINITION
	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
I	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
II	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

Notes

- Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.
- The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL <http://www.semiconductors.philips.com>.
- For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

DEFINITIONS

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

DISCLAIMERS

Life support applications — These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products - including circuits, standard cells, and/or software - described or contained herein in order to improve design and/or performance. When the product is in full production (status 'Production'), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no licence or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

Philips Semiconductors – a worldwide company

Contact information

For additional information please visit <http://www.semiconductors.philips.com>. Fax: +31 40 27 24825
For sales offices addresses send e-mail to: sales.addresses@www.semiconductors.philips.com.



© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2003

SCA75

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

613508/03/pp.17

Date of release: 2003 Jun 30

Document order number: 9397 750 11258

Let's make things better

**Philips
Semiconductors**



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Si PIN photodiode S1223 series

For visible to IR, precision photometry



- High sensitivity
- High reliability
- High-speed response
S1223: $f_c=30$ MHz
S1223-01: $f_c=20$ MHz
- Low capacitance

- Optical measurement equipment
- Analytical equipment, etc.

General ratings

Parameter	Symbol	S1223	S1223-01	Unit
Window material	-	borosilicate glass		-
Package	-	TO-5		-
Active area size	A	2.4 × 2.8	3.6 × 3.6	mm
Effective active area	-	6.6	13	mm ²

Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	S1223	S1223-01	Unit
Reverse voltage	V_R Max.	30		V
Power dissipation	P	100		mW
Operating temperature	T_{opr}	-40 to +100		°C
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +125		°C

Electrical and optical characteristics ($T_a=25$ °C)

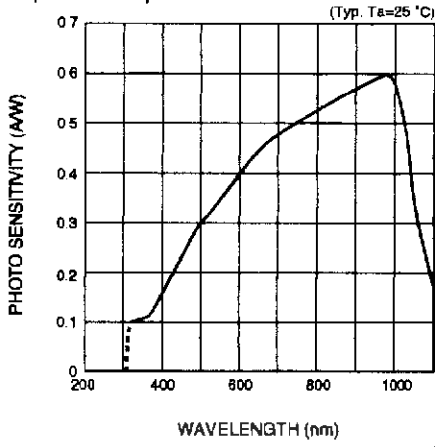
Parameter	Symbol	Condition	S1223			S1223-01			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Spectral response range	λ		-	320 to 1100	-	-	320 to 1100	-	nm
Peak sensitivity wavelength	λ_p		-	960	-	-	960	-	nm
Photo sensitivity	S	$\lambda=\lambda_p$	-	0.6	-	-	0.6	-	A/W
		$\lambda=660$ nm	-	0.45	-	-	0.45	-	
		$\lambda=780$ nm	-	0.52	-	-	0.52	-	
		$\lambda=830$ nm	-	0.54	-	-	0.54	-	
Dark circuit current	I_{sc}	100 lx	5	6.3	-	10	13	-	μ A
Dark current	I_D	$V_R=20$ V	-	0.1	10	-	0.2	10	nA
Temp. coefficient of I_D	T_{CID}		-	1.15	-	-	1.15	-	times/°C
Cut-off frequency	f_c	$V_R=20$ V, -3 dB	-	30	-	-	20	-	MHz
Minimal capacitance	C_t	$V_R=20$ V, $f=1$ MHz	-	10	-	-	20	-	pF
Equivalent power	NEP	$V_R=20$ V	-	9.4×10^{-15}	-	-	1.3×10^{-14}	-	W/Hz ^{1/2}

SOLID STATE DIVISION

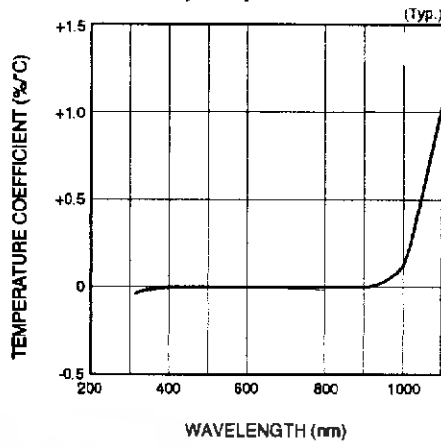
HAMAMATSU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

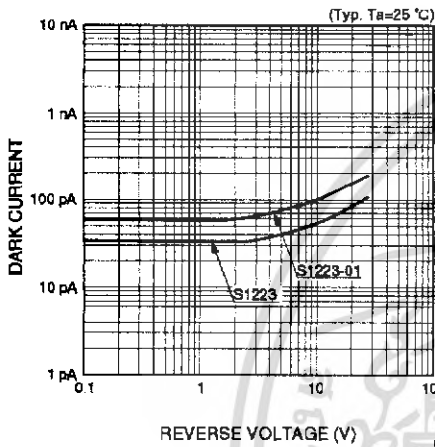
■ Spectral response



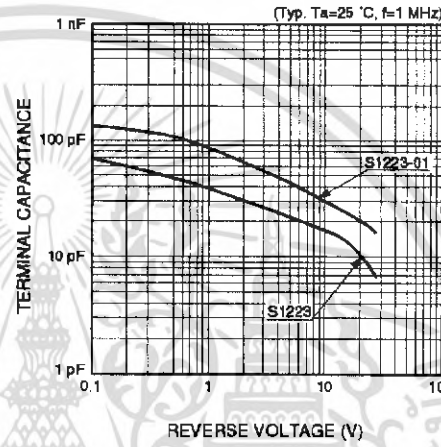
■ Photo sensitivity temperature characteristic



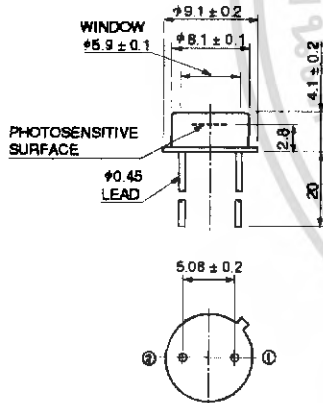
■ Dark current vs. reverse voltage



■ Terminal capacitance vs. reverse voltage



■ Dimensional outline (unit: mm)



CONNECTED TO CASE



The glass window may extend a maximum of 0.2 mm above the upper surface of the cap.

KPNB0-48EA

HAMAMATSU

Information furnished by HAMAMATSU is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omissions. Specifications are subject to change without notice. No patent rights are granted to any of the circuits described herein. ©2001 Hamamatsu Photonics K.K.

PHOTONICS K.K., Solid State Division

Shimo-cho, Hamamatsu City, 435-8558 Japan, Telephone: (81) 053-434-3311, Fax: (81) 053-434-5184, <http://www.hamamatsu.com>

Hamamatsu Corporation, 360 Foothill Road, P.O. Box 8010, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1) 908-231-0900, Fax: (1) 908-231-1218

Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH, Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49) 08152-3750, Fax: (49) 08152-2658

Hamamatsu Photonics France S.A.R.L.: 8, Rue du Seuil Trapu, Parc du Moulin de Massey, 91882 Massey Cedex, France, Telephone: 33-(1) 69 53 71 00, Fax: 33-(1) 69 53 71 10

Hamamatsu Photonics UK Limited, 2 Howard Court, 10 Twin Road, Welwyn Garden City, Hertfordshire AL7 1BW, United Kingdom, Telephone: (44) 1707-294888, Fax: (44) 1707-325777

Hamamatsu Photonics Norden AB, Smidsavägen 12, SE-171 41 Soine, Sweden, Telephone: (46) 8-509-031-00, Fax: (46) 8-509-031-01

Hamamatsu Photonics Italia S.R.L.: Strada della Mola, 1/E, 20020 Aressa, (Milano), Italy, Telephone: (39) 02-935-81-733, Fax: (39) 02-935-81-741

Cat. No. KPIN1050E01
Mar. 2001 CN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

Low Offset Voltage Operational Amplifier

OP07

General Description

The OP07 is a precision operational amplifier with very low input offset voltage (10 μ V typ., 25 μ V max. for the OP07A), input offset drift of 0.2 μ V/ $^{\circ}$ C and low input bias current of 0.7nA. The wide input common mode range of \pm 14V combined with high CMRR of 110dB minimum (OP07A), plus high input impedance and high open-loop gain make these devices particularly useful for high-gain instrumentation applications.

The excellent linearity and gain accuracy are maintained at high open-loop gains, over both time and temperature. The OP07 has become an industry standard and Maxim's reliability and quality are added advantages.

Features

- ◆ Ultra Low Offset Voltage: 10 μ V
- ◆ Ultra Low Offset Voltage Drift: 0.2 μ V/ $^{\circ}$ C
- ◆ Ultra Stable vs. Time: 0.2 μ V/Month
- ◆ Ultra Low Noise: 0.35 μ V_{p-p}
- ◆ Wide Supply Voltage: \pm 3V to \pm 16V
- ◆ High Common Mode Input: \pm 14V
- ◆ No External Components Required
- ◆ Fits AD810, 725, 106A/306A, 741 Sockets

Applications

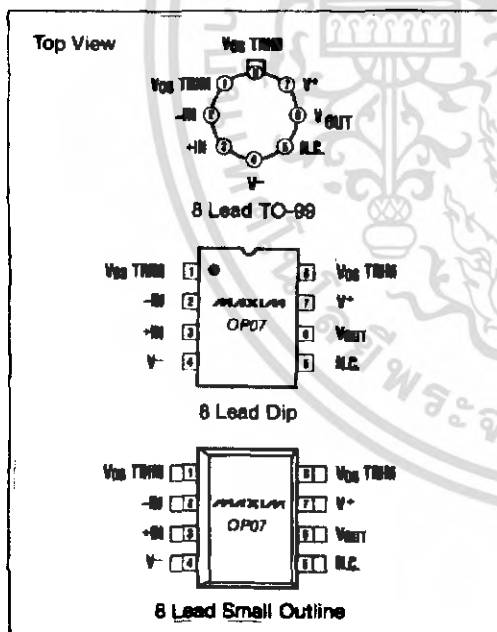
- Precision Amplifiers
- Thermocouple Amplifiers
- Low Level Signal Processing
- Medical Instrumentation
- Strain Gauge Amplifiers
- High Accuracy Data Acquisition

Ordering Information

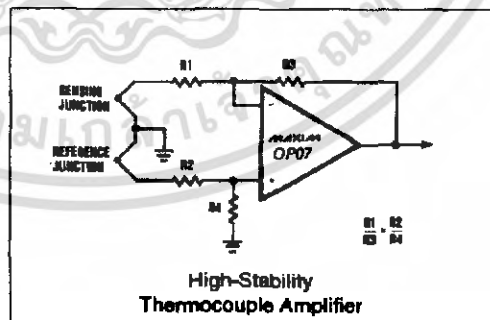
PART	TEMP RANGE	PACKAGE
OP07AJ	-55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C	TO-99
OP07J	-55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C	TO-99
OP07EJ	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	TO-99
OP07CJ	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	TO-99
OP07DJ	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	TO-99
OP07EP	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Plastic Dip
OP07CP	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Plastic Dip
OP07DP	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Plastic Dip
OP07AZ	-55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C	8 Lead Hermetic Dip
OP07Z	-55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C	8 Lead Hermetic Dip
OP07EZ	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Hermetic Dip
OP07CZ	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Hermetic Dip
OP07ECSA	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Small Outline
OP07CCSA	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Small Outline
OP07DCSA	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	8 Lead Small Outline
OP07D/D	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	Dice

* Contact factory for dice specifications.

Pin Configuration



Typical Operating Circuit



MAXIM

Maxim Integrated Products 1

Call toll free 1-800-998-8800 for free samples or literature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low Offset Voltage Operational Amplifier

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Total Supply Voltage (V^+ to V^-)	±22V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Internal Power Dissipation	500mW	Operating Temperature Range	
TO-99(J) — derate at 7.1mW/°C above +80°C		OP07AJ, OP07AZ, OP07J and OP07Z	-55°C to +125°C
Hermetic Dip(Z) — derate at 6.7mW/°C above +75°C		All Other Parts	0°C to +70°C
Plastic Dip(P) — derate at 5.6mW/°C above +36°C		Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	+300°C
Small Outline — derate at 5mW/°C above +65°C		Duration of Output Short Circuit	Indefinite
Differential Input Voltage	±30V	Junction Temperature (T_J)	-65°C to +180°C
Input Voltage (Note 1)	±22V		

Note 1: For supply voltages less than ±22V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Stresses above 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 above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_S = \pm 15V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP07A			OP07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 2)		10	25		30	75	μV
Long-Term Input Offset Voltage Stability	$V_{OS}/Time$	(Note 3)		0.2	1.0		0.2	1.0	$\mu V/$ Month
Input Offset Current	I_{OS}			0.3	2.0		0.4	2.8	nA
Input Bias Current	I_B			±0.7	±2.0		±1.0	±3.0	nA
Input Noise Voltage	$e_{N\text{-P-P}}$	0.1Hz to 10Hz (Note 4)		0.35	0.6		0.35	0.6	μV_{P-P}
Input Noise Voltage Density	e_N	$f_O = 10\text{Hz}$ (Note 4)		10.3	18.0		10.3	18.0	nV/\sqrt{Hz}
		$f_O = 100\text{Hz}$ (Note 4)		10.0	13.0		10.0	13.0	
		$f_O = 1000\text{Hz}$ (Note 4)		9.8	11.0		9.6	11.0	
Input Noise Current	$I_{N\text{-P-P}}$	0.1Hz to 10Hz (Note 4)		14	30		14	30	pA_{P-P}
Input Noise Current Density	I_N	$f_O = 10\text{Hz}$ (Note 4)		0.32	0.80		0.32	0.80	pA/\sqrt{Hz}
		$f_O = 100\text{Hz}$ (Note 4)		0.14	0.23		0.14	0.23	
		$f_O = 1000\text{Hz}$ (Note 4)		0.12	0.17		0.12	0.17	
Input Resistance Differential-Mode	R_{IN}	(Note 5)	30	80		20	80	M Ω	
Input Resistance Common-Mode	R_{INCM}			200			200	G Ω	
Input Voltage Range	IVR		±13	±14		±13	±14	V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	110	126		110	120	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		4	10		4	10	$\mu V/V$
Large Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	300	500		200	500	V/mV	
		$R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$ $V_S = \pm 3V$ (Note 5)	150	400		150	400		
Output Voltage Swing	$-V_O$	$R_L \geq 10k\Omega$	±12.5	±13.0		±12.5	±13.0	V	
		$R_L \geq 2k\Omega$	±12.0	±12.8		±12.0	±12.8		
		$R_L \geq 1k\Omega$	±10.5	±12.0		±10.5	±12.0		

Note 2: OP07A grade V_{OS} is measured one minute after application of power. For all other grades V_{OS} is measured approximately 0.5 seconds after application of power.

Note 3: Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the average trend line of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically 2.5 μV . Parameter is sample tested.

Note 4: Sample tested.

Note 5: Guaranteed by design.

Low Offset Voltage Operational Amplifier

OP07

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_S = \pm 15V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP07A			OP07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$ (Note 6)	0.1	0.3		0.1	0.3		V/ μ S
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VCL} = +1V$ (Note 8)	0.4	0.6		0.4	0.6		MHz
Open-Loop Output Resistance	R_O	$V_O = 0V$, $I_O = 0$		60			60		Ω
Power Consumption	P_D	$V_S = \pm 15V$, No Load $V_S = \pm 3V$, No Load		75 4	120 8		75 4	120 8	mW
Offset Adjustment Range		$R_P = 20k\Omega$		± 4			± 4		mV

Note 8: Sample tested.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP07A			OP07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 7)		25	60		60	200	μ V
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	TCV_{OS}	(Note 8)		0.2	0.6		0.3	1.3	μ V/ $^\circ$ C
Input Offset Current	I_{OS}			0.8	4.0		1.2	5.8	nA
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}	(Note 8)		5	25		8	60	pA/ $^\circ$ C
Input Bias Current	I_B			± 1.0	± 4.0		± 2.0	± 6.0	nA
Average Input Bias Current Drift	TCI_B	(Note 8)		8	25		13	60	pA/ $^\circ$ C
Input Voltage Range	IVR		± 13	± 13.5		± 13	± 13.5		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123		106	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		5	20		5	20	μ V/V
Large Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	200	400		150	400		V/mV
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12.0	± 12.6		± 12.0	± 12.6		V

Note 7: OP07A grade Offset Voltage is measured one minute after application of power. For all other grades V_{OS} is measured 0.5 seconds after power on.

Note 8: Sample tested.

Low Offset Voltage Operational Amplifier

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_S = \pm 15V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP07E			OP07C			OP07D			
			MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	30	75		80	150		60	150	μV	
Long Term Input Offset Voltage Stability	$V_{OS}/Time$	(Note 2)	0.3	1.5		0.4	2.0		0.5	3.0	$\mu V/$ Month	
Input Offset Current	I_{OS}		0.5	3.8		0.8	6.0		0.8	6.0	nA	
Input Bias Current	I_B		± 1.2	± 4.0		± 1.8	± 7.0		± 2.0	± 12.0	nA	
Input Noise Voltage	$e_{N P-P}$	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	0.35	0.8		0.38	0.85		0.38	0.85	μV_{P-P}	
Input Noise Voltage Density	e_N	$f_O = 10Hz$ (Note 3)	10.3	18.0		10.5	20.0		10.5	20.0	nW/\sqrt{Hz}	
		$f_O = 100Hz$ (Note 3)	10.0	13.0		10.2	13.5		10.3	13.5		
		$f_O = 1000Hz$ (Note 3)	9.6	11.0		9.8	11.5		9.8	11.5		
Input Noise Current	$I_{N P-P}$	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	14	30		15	35		15	35	μA_{P-P}	
Input Noise Current Density	I_N	$f_O = 10Hz$ (Note 3)	0.32	0.80		0.38	0.90		0.35	0.90	$\mu A/\sqrt{Hz}$	
		$f_O = 100Hz$ (Note 3)	0.14	0.23		0.15	0.27		0.15	0.27		
		$f_O = 1000Hz$ (Note 3)	0.12	0.17		0.13	0.18		0.13	0.18		
Input Resistance Differential-Mode	R_{iD}	(Note 4)	15	50		8	33		7	31	M Ω	
Input Resistance Common-Mode	R_{iCM}		180		120		120		120	G Ω		
Input Voltage Range	I_{VR}		± 13	± 14		± 13	± 14		± 13	± 14	V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123		100	120		94	110	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	5	20		7	32		7	32	$\mu V/V$	
Large Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	200	500		120	400		120	400	W/mV	
		$R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$	150	400		100	400		100	400		
		$V_S = \pm 3V$ (Note 5)										
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 10k\Omega$	± 12.5	± 13.0		± 12.0	± 13.0		± 12.0	± 13.0	V	
		$R_L \geq 2k\Omega$	± 12.0	± 12.8		± 11.5	± 12.8		± 11.5	± 12.8		
		$R_L \geq 1k\Omega$	± 10.5	± 12.0		± 12.0		± 12.0		± 12.0		
Slow Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3		0.1	0.3		0.1	0.3	V/ μS	
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VCL} = +1V$ (Note 3)	0.4	0.6		0.4	0.6		0.4	0.6	MHz	
Open-Loop Output Resistance	R_O	$V_O = 0V$, $I_O = 0$	60			60			60		Ω	
Power Consumption	P_d	$V_S = \pm 15V$, No Load	75	120		60	150		60	150	mW	
		$V_S = \pm 3V$, No Load	4	6		4	8		4	8		
Offset Adjustment Range		$R_P = 20k\Omega$	± 4			± 4			± 4		mV	

Note 1: Input Offset Voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

Note 2: Long-Term Input Offset Stability refers to the average trend line of V_{OS} vs Time over extended periods after the first 30 days of operation.

Note 3: Sample tested.

Note 4: Guaranteed by design.

Low Offset Voltage Operational Amplifier

OP07

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_S = \pm 15V, 0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP07E		OP07C		OP07D		
			MIN.	TYR. MAX.	MIN.	TYR. MAX.	MIN.	TYR. MAX.	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 6)	45	130	85	250	85	250	μV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	TCV_{OS}	(Note 6)	0.3	1.3	0.4	1.8	0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{OS}		0.9	5.3	1.6	8.0	1.6	8.0	nA
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}	(Note 6)	8	35	12	50	12	50	$pA/^\circ C$
Input Bias Current	I_B		± 1.5	± 5.5	± 2.2	± 9.0	± 3.0	± 14	nA
Average Input Bias Current Drift	TCI_B	(Note 6)	13	35	18	50	18	50	$pA/^\circ C$
Input Voltage Range	IVR		± 13.0	± 13.5	± 13.0	± 13.5	± 13.0	± 13.5	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	103	123	97	120	94	106	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	7	32	10	51	10	51	$\mu V/V$
Large Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega, V_O = \pm 10V$	180	400	100	400	100	400	V/mV
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12.0	± 12.8	± 11.0	± 12.6	± 11.0	± 12.6	V

Note 6: Input Offset Voltage is measured 0.5 seconds after application of power.
 Note 8: Sample tested.

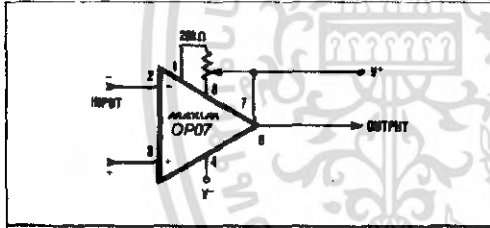


Figure 1. Optional Offset Nulling Circuit.

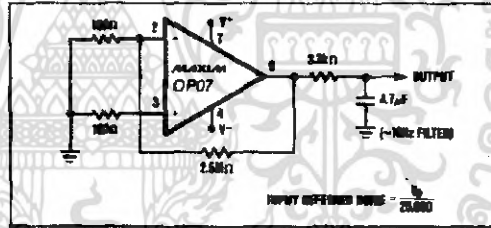
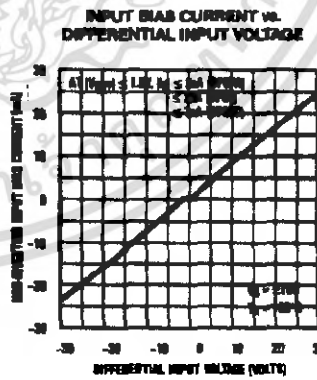
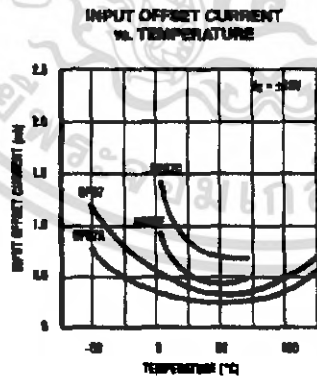
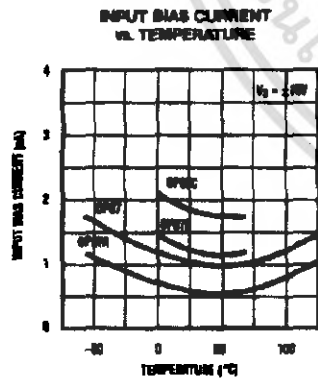
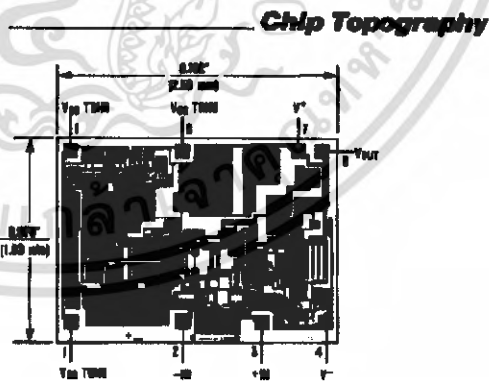
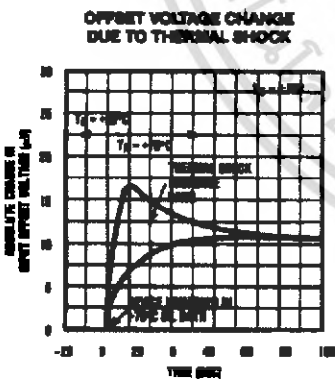
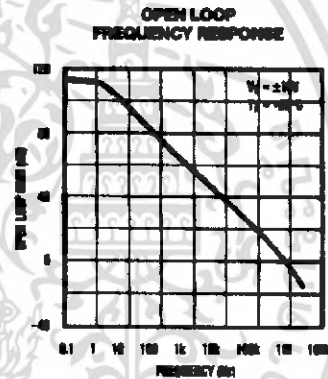
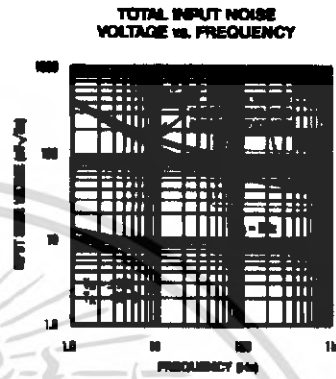
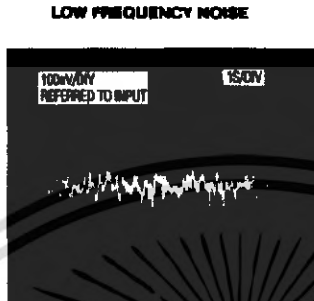
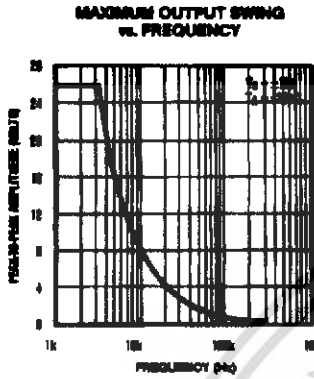


Figure 2. Low Frequency Noise Test Circuit.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low Offset Voltage Operational Amplifier



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

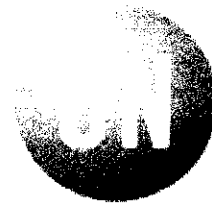
The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V (LM224, LM324, LM324A)
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

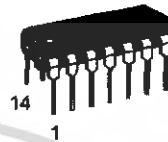
Rating	Symbol	LM224 LM324, LM324A	LM2902, LM2902V	Unit
Power Supply Voltages Single Supply	V_{CC}	32	26	Vdc
Split Supplies	V_{CC}, V_{EE}	± 16	± 13	
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	± 26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	I_{SC}	Continuous		
Junction Temperature	T_J	150		$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150		$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A			$^\circ\text{C}$
LM224		-25 to +85		
LM324, 324A		0 to +70		
LM2902			-40 to +105	
LM2902V, NCV2902			-40 to +125	

1. Split Power Supplies.

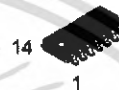


ON Semiconductor™

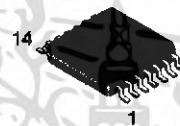
<http://onsemi.com>



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646

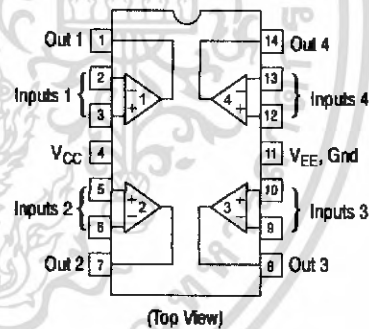


SO-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 9 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 10 of this data sheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V to }30\text{ V}$ (28 V for LM2902, V), $V_{ICR} = 0\text{ V to }V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 2) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 2)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 2 and 4)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 2 and 4)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	I_{IB}	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 3) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	24.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, for Large V_O Swing $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation 10 kHz $\leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	50	100	-	dB

- LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
NCV2902 is qualified for automotive use.
- The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.
- Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EF} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage – High Limit ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 5) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	V
Output Voltage – Low Limit, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	V_{OL}	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	100	–	5.0	100	mV
Output Source Current ($V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{O+}	20	40	–	20	40	–	20	40	–	20	40	–	20	40	–	mA
Output Sink Current ($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{O-}	10	20	–	10	20	–	10	20	–	10	20	–	10	20	–	mA
Output Sink Current ($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)		12	50	–	12	50	–	12	50	–	–	–	–	–	–	–	μA
Output Short Circuit to Ground (Note 6)	I_{SC}	–	40	60	–	40	60	–	40	60	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 5) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V), $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	–	–	3.0	–	1.4	3.0	–	–	3.0	–	–	3.0	–	–	3.0	mA
		–	–	1.2	–	0.7	1.2	–	–	1.2	–	–	1.2	–	–	1.2	

5. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.
6. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

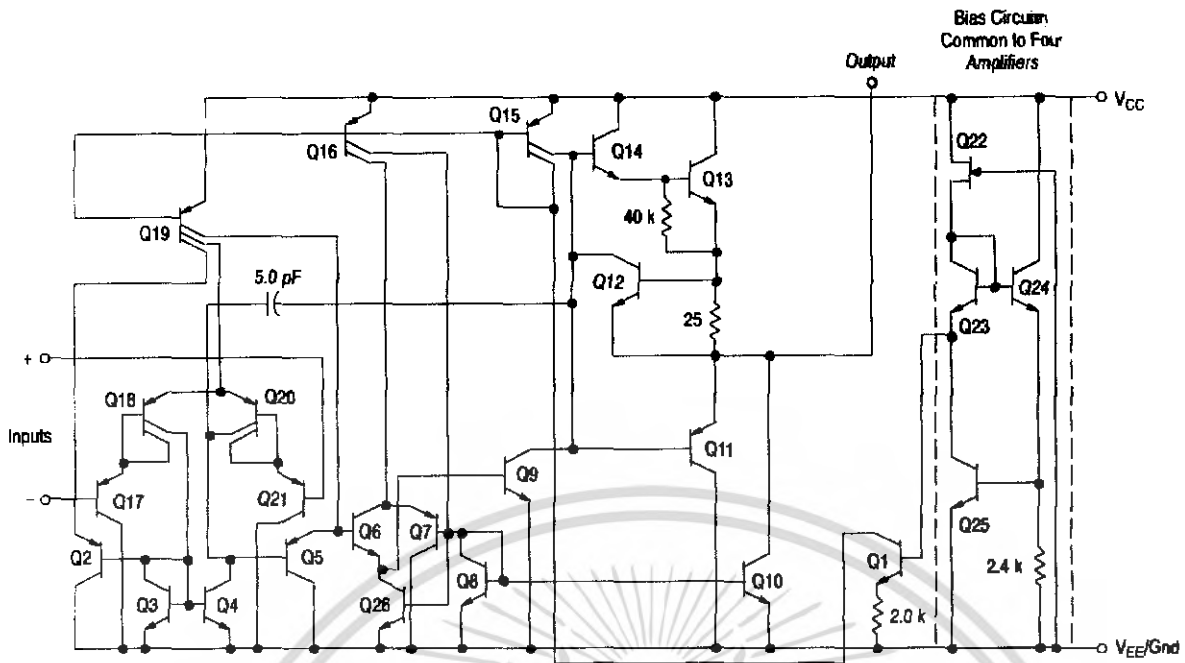


Figure 1. Representative Circuit Diagram
(One-Fourth of Circuit Shown)

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

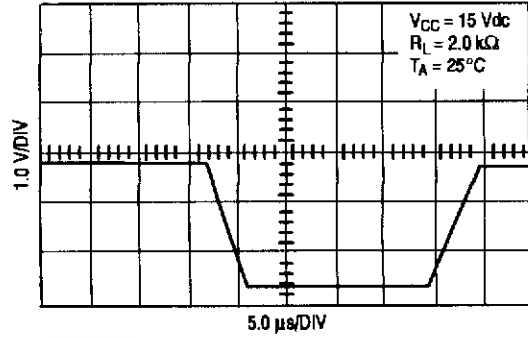


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.



Figure 3.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

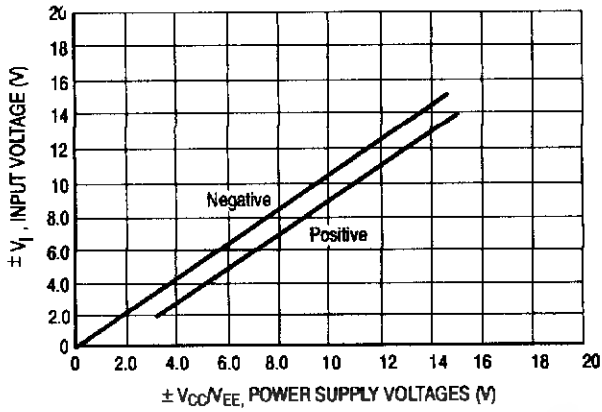


Figure 4. Input Voltage Range

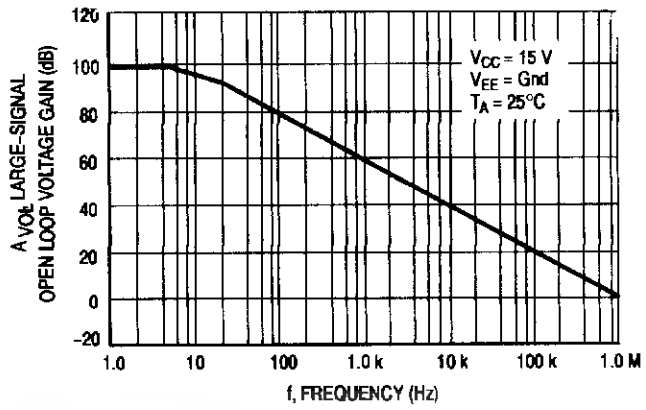


Figure 5. Open Loop Frequency

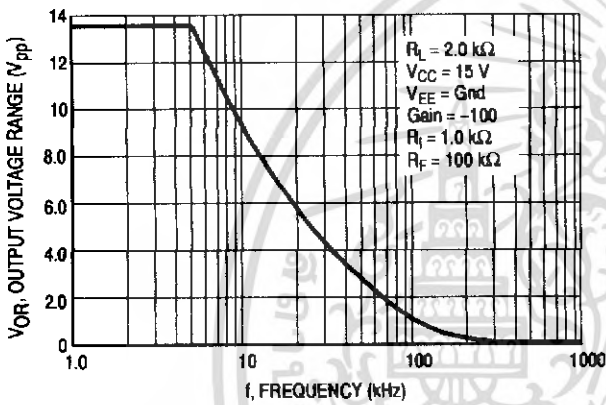


Figure 6. Large-Signal Frequency Response

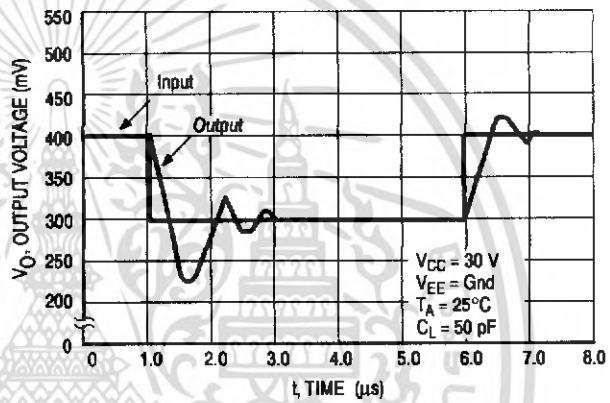


Figure 7. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

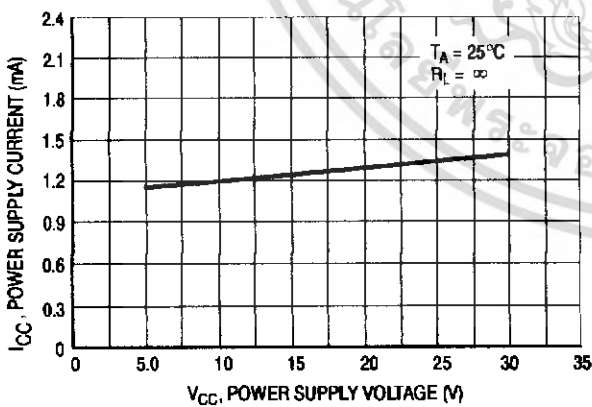


Figure 8. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

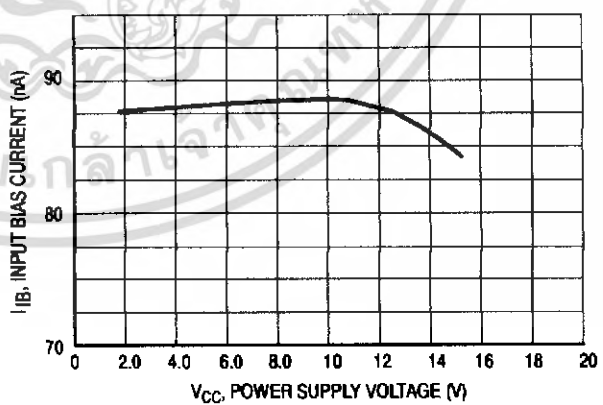


Figure 9. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

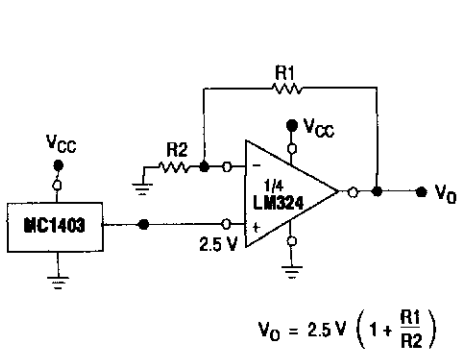


Figure 10. Voltage Reference

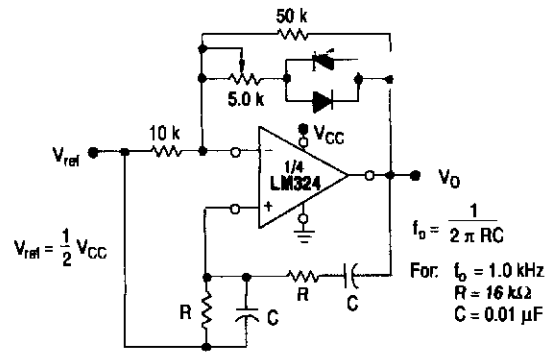


Figure 11. Wien Bridge Oscillator

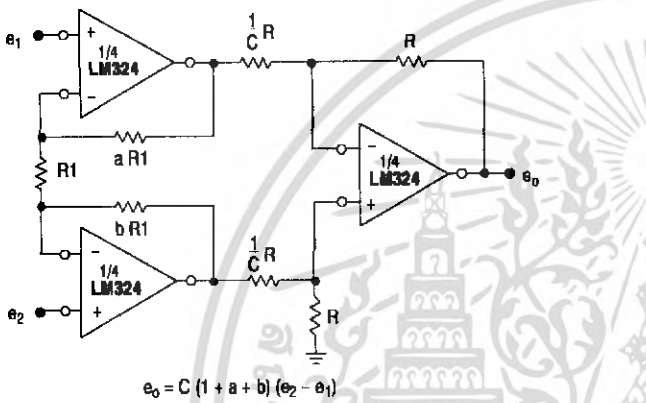


Figure 12. High Impedance Differential Amplifier

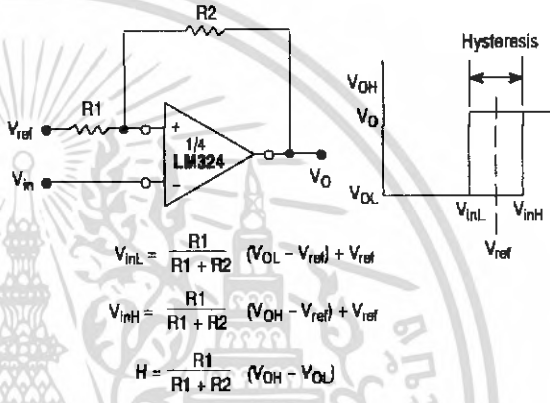


Figure 13. Comparator with Hysteresis

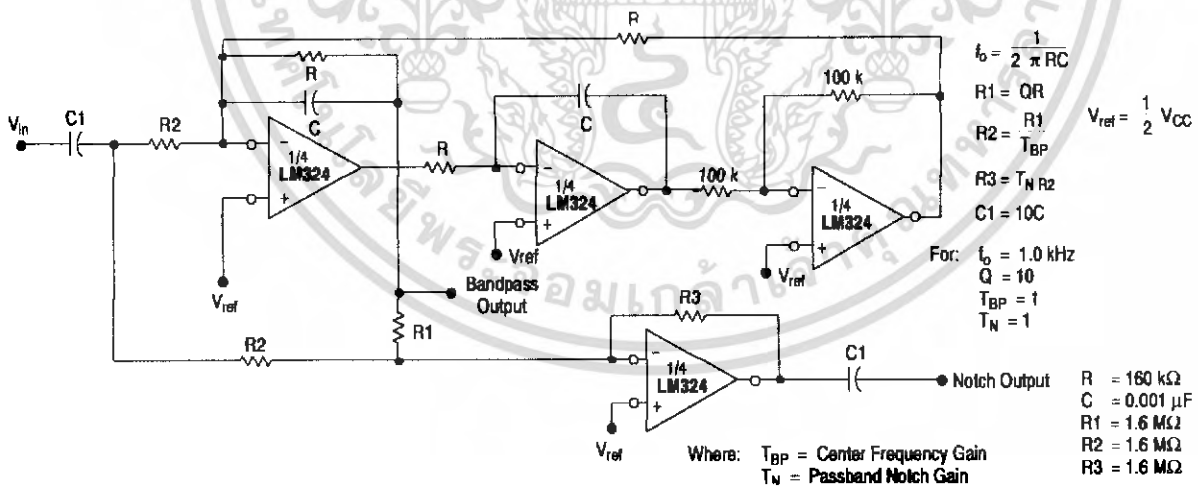


Figure 14. Bi-Quad Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

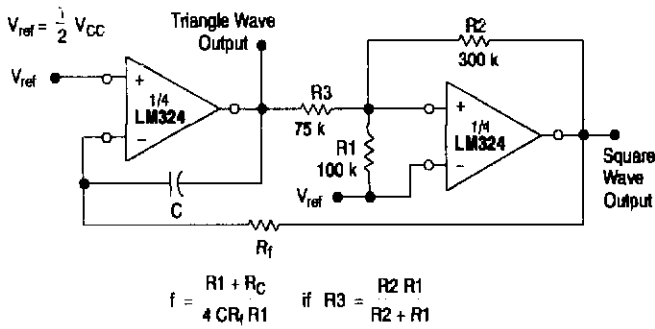


Figure 15. Function Generator

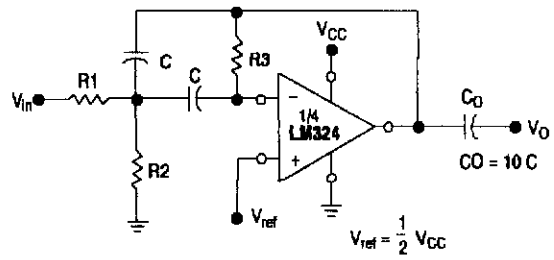


Figure 16. Multiple Feedback Bandpass Filter

Given: f_0 = center frequency
 $A(f_0)$ = gain at center frequency

Choose value f_0, C

$$\text{Then: } R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$$

$$R1 = \frac{R3}{2 A(f_0)}$$

$$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$$

For less than 10% error from operational amplifier, $\frac{Q_0 f_0}{BW} < 0.1$
 where f_0 and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Operating Temperature Range	Shipping
LM224D	SO-14	-25° to +85°C	55 Units/Rail
LM224DR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM224DTB	TSSOP-14		96 Units/Rail
LM224DTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM224N	PDIP-14		25 Units/Rail
LM324D	SO-14	0° to +70°C	55 Units/Rail
LM324DR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM324DTB	TSSOP-14		96 Units/Rail
LM324DTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM324N	PDIP-14		25 Units/Rail
LM324AD	SO-14		55 Units/Rail
LM324ADR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM324ADTB	TSSOP-14		96 Units/Rail
LM324ADTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM324AN	PDIP-14		25 Units/Rail
LM2902D	SO-14	-40° to +105°C	55 Units/Rail
LM2902DR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM2902DTB	TSSOP-14		96 Units/Rail
LM2902DTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM2902N	PDIP-14		25 Units/Rail
LM2902VD	SO-14	-40° to +125°C	55 Units/Rail
LM2902VDR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM2902VDTB	TSSOP-14		96 Units/Rail
LM2902VDTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM2902VN	PDIP-14		25 Units/Rail
NCV2902DR2	SO-14		2500 Tape & Reel

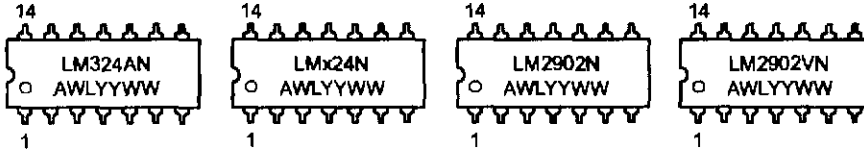
<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

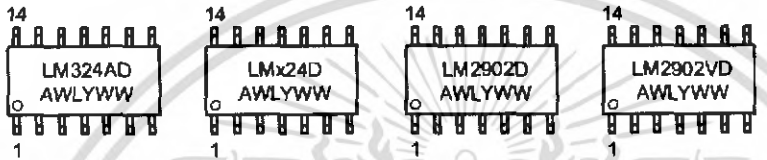
LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

MARKING DIAGRAMS

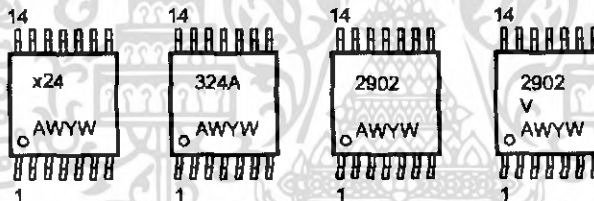
PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646



SO-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G



x = 2 or 3
A = Assembly Location
WL = Wafer Lot
YY, Y = Year
WW, W = Work Week

*This marking diagram also applies to NCV2902.