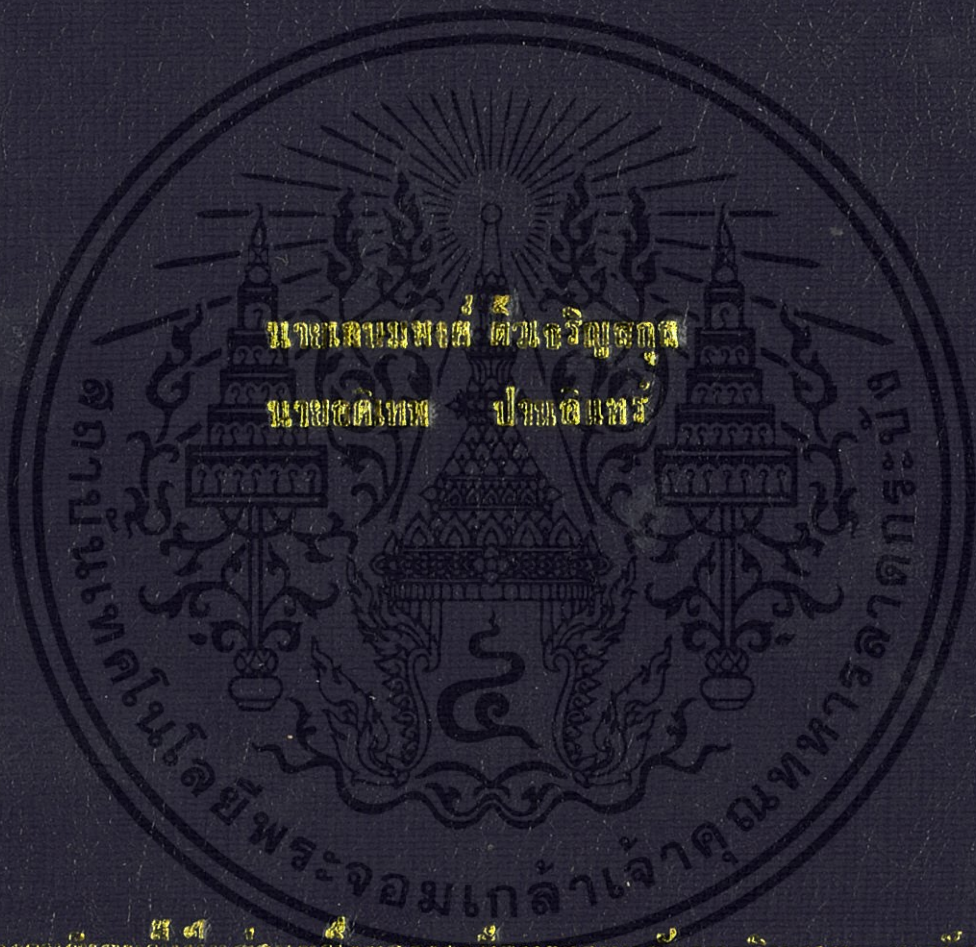


เครื่องวัดระดับเสียง
SOUND LEVEL METERS



โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติแห่งประเทศไทย

สถาบันวิจัยและพัฒนา

กรมการมาตรฐานแห่งชาติ

สำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ กรมการมาตรฐานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีพิมพ์ ๒๕๒๖

เครื่องวัดระดับเสียง

SOUND LEVEL METERS



นายเกษมพงศ์ ติวเจริญสกุล
นายอดิเทพ ปานอินทร์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOUND LEVEL METERS



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	เครื่องวัดระดับเสียง SOUND LEVEL METERS
ชื่อนักศึกษา	นาย เกษมพงศ์ ต้วเจริญสกุล นาย อติเทพ ปานอินทร์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ภัทริยา กิตติเดชาชาญ	
ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก	
อ. ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์	
รศ.สาหรัย เล็กชะอุ่ม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องวัดระดับเสียง
ชื่อนักศึกษา	นาย เกษมพงศ์ ติวเจริญสกุล นาย อติเทพ ปานอินทร์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเครื่องวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล แสดงผลโดย LED จำนวน 10 หลอด วงจรของเครื่องวัดระดับเสียง ประกอบด้วย วงจรขยายแบบผลต่าง วงจรขยายกระแส วงจรเปรียบเทียบ โดยทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตของแต่ละวงจร เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าภายในเครื่องวัดระดับเสียง ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีของแต่ละวงจร และทดสอบเปรียบเทียบค่าระบบเสียงในหน่วยเดซิเบลของอินพุตกับค่าแรงดันตกคร่อมเอาต์พุตที่ได้หลอด LED กับกับการวัดเปรียบเทียบค่ากับกับเครื่องวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล ผลการทดลองพบว่าวงจรขยายแบบผลต่าง ณ จุด A และจุด B ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุต เมื่อหลอด LED ดิจิต 1 หลอด มีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 1.07 mV และ 28.77 mV ตามลำดับ จนถึง วงจรเปรียบเทียบ ขานอินเวิร์ทติ้ง ขานอนอินเวิร์ทติ้ง และขานเอาต์พุต (จุด E, F และจุด G) ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุต ของวงจรเปรียบเทียบ ค่าที่ได้จากการวัด เมื่อหลอด LED ดิจิต 10 หลอดจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 4.588 V, 4.620V และ 1.882V ตามลำดับ และวัดเปรียบเทียบกับเครื่องวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล พบว่ามีค่าความไวในการวัดเท่ากับ $\frac{dB}{V}$

คำสำคัญ : เครื่องวัดระดับเสียง, ไมโครโฟน

Title	SOUND LEVEL METERS
Students	Mr. Kasampong Tewcharoensakul Mr. Aditep Pan-in
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2556
Advisor	Assoc.Prof. Sahlay Lekchaum

ABSTRACT

This project study about sound level meters 60 to 80 dB display with 10 LED with study about inside the sound level meter include is Differential amplifier. Circuit currents. Comparators. And voltage were measured with the input and output of each circuit. Then determine the relationship of voltage by measuring the volume and compared with the theory of the Circuit. Measured and compared with the measurement volume in decibels. The experiment to see the relationship of each Circuit. Differential amplifier at point A and point B, which is a measure of the voltage input - output of the differential amplifier. Values obtained from measurements on the first LED voltage is 1.07 mV and 28.77 mV, respectively, compared to the circuit at the point E, F and G, which is a measure of the voltage input - output Comparators Values obtained from measurements on a 10 LED have an average voltage 4.588 V, 4.620V and 1.882V, respectively, and compared to the measured sound level in decibels. Therefore, the value obtained from a graph. The graph shows that the author has been compared to the sound level in decibels. Between maximum and minimum values in the form of an increased number of LED bulbs and LED bulbs are a measure of the decrease can be seen that the values obtained are very similar.

Keyword : Sound Level Meters, Microphone

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุน และช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ สาหร่าย เล็กช่อมผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมา รวมไปถึงการปลูกฝังคุณธรรมและสิ่งดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรม มสช.แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ที่ได้จัดการอบรม หลักสูตร การวัดและวิเคราะห์และควบคุมเสียงในอาคาร (ทฤษฎีและปฏิบัติ) จึงได้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องวัดเสียง ลักษณะ การวัดเสียงโดยเครื่องมือวัดต่างๆรวมพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับเสียง จากท่านวิทยากรในการอบรม

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ลีสท์ทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจและเป็นเพื่อนที่แสนดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ทุกท่านที่เมตตาประสาทวิชา ตั้งแต่การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจน กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้อุปการะทุนการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นาย เกษมพงศ์ ติวเจริญสกุล
นาย อติเทพ ปานอินทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีเสียง	3
2.2 อัตราเร็วของคลื่นเสียง	5
2.3 คุณสมบัติของเสียง	9
2.4 ความเข้มเสียง	16
2.5 เสียงที่เป็นอันตราย	18
2.6 เสียงรบกวนและการตรวจวัด	19
2.7 ไมโครโฟน (Microphone)	22
2.8 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง	30
2.9 การตอบสนองของควมถี่ (Frequency Response)	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	34
3.1 ระบบการวัดระดับเสียง	34
3.2 การออกแบบระบบการวัดระดับเสียง	35
3.3 การทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการวัดระดับเสียง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4	ทฤษฎีวงจรระดับเสียง	43
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	44
4.1	การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง	44
4.2	การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายกระแส	58
4.3	การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรเปรียบเทียบของชุดวัดระดับเสียง	66
4.4	การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรเปรียบเทียบของชุดวัดระดับเสียง	70
บทที่ 5	สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
5.1	สรุปผลการทดลอง	79
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง	80
5.3	ข้อเสนอแนะ	80
5.4	ข้อจำกัด	80
เอกสารอ้างอิง		81
ภาคผนวก ก		82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มเสียงจากแหล่งกำเนิดต่างๆ	5
ตารางที่ 2.2 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ	10
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง A ของวงจรขยายผลต่าง	46
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง B ของวงจรขยายผลต่าง	52
ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง C ของวงจรต้นแบบ	59
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง D ของวงจรต้นแบบ	65
ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง E และ F ของวงจรต้นแบบ	67
ตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง G ของวงจรต้นแบบ	68
ตารางที่ 4.7 ผลการวัดค่า PEAK เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดเสียง และวงจรวัดระดับเสียงในหน่วย เดซิเบล	71
ตารางที่ 4.8 ผลการวัดค่า Average เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดเสียง และวงจรวัดระดับเสียงในหน่วย เดซิเบล	72

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและความดันของคลื่นเสียง	3
รูปที่ 2.2 คลื่นของการกระจัดและคลื่นของความดัน	4
รูปที่ 2.3 อัตราเร็วของคลื่นตามยาวในของไหล	7
รูปที่ 2.4 การสะท้อนของเสียง	9
รูปที่ 2.5 ลักษณะการหักเหของเสียงที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ	10
รูปที่ 2.6 การเลี้ยวเบนของเสียง	11
รูปที่ 2.7 การแทรกสอดของเสียงที่มีเฟสตรงกัน	11
รูปที่ 2.8 การแทรกสอดของเสียงที่มีเฟสตรงข้ามกัน	12
รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิดบีตส์ของเสียง	12
รูปที่ 2.10 การฟังของสะพาน Tacoma Narrow เป็นผลมาจากการสั่นพ้อง เนื่องจากมีลมพัดอย่างแรงพอดีกับจังหวะการสั่นของสะพานพอดี	14
รูปที่ 2.11 การเกิดปรากฏการณ์คอปเพลอร์	14
รูปที่ 2.12 การเกิดคลื่นกระแทก	15
รูปที่ 2.13 การเกิดเสียงโซนิกบูม	15
รูปที่ 2.14 ลักษณะความเข้มเสียง	16
รูปที่ 2.15 ลักษณะภายในของไมโครโฟนไดนามิก หรือ มูฟวี่งคอยล์	23
รูปที่ 2.16 ลักษณะภายในของไมโครโฟนคอนเดนเซอร์	24
รูปที่ 2.17 ลักษณะภายในของรีบบอนไมค์	25
รูปที่ 2.18 ลักษณะของพีซีเอ็ม (PZMs)	25
รูปที่ 2.19 ลักษณะของคอนแทคไมค์	26
รูปที่ 2.20 ลักษณะรัศมีไมค์แบบออมนีไดเร็กชันนอล	26
รูปที่ 2.21 ลักษณะรัศมีไมค์แบบคาร์ไดออยด์	27
รูปที่ 2.22 ลักษณะรัศมีไมค์แบบไฮเปอร์คาร์ไดออยด์	27
รูปที่ 2.23 ลักษณะรัศมีไมค์แบบไบไดเร็กชันนอล	28
รูปที่ 2.24 ลักษณะรัศมีไมค์แบบชีตกัน	38
รูปที่ 2.25 ลักษณะของโทคลิปไมโครโฟน	29
รูปที่ 2.26 ลักษณะของไบนารอลไมค์	29
รูปที่ 2.27 ลักษณะของไมค์ไร้สาย	29
รูปที่ 2.28 วงจรขยายแบบผลต่าง	30

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.29 วงจรขยายแรงดันติดตาม	31
รูปที่ 2.30 แถบความถี่ผ่านวงจขยาย	32
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานการวัดระดับเสียง	34
รูปที่ 3.2 ลักษณะภายในของไมโครโฟนคอนเดนเซอร์	35
รูปที่ 3.3 วงจรขยายแบบผลต่าง	36
รูปที่ 3.4 การใช้ทรานซิสเตอร์รักษาแรงดันให้คงที่ตามค่า V_{in}	37
รูปที่ 3.5 วงจรเปรียบเทียบ	38
รูปที่ 3.6 วงจรการวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล	39
รูปที่ 3.7 แสดงลายวงจรวัดระดับเสียง	43
รูปที่ 3.8 แสดงลายวงจรวัดระดับเสียงเมื่อทำการใส่อุปกรณ์	43
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งที่สำคัญในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจขยายแบบผลต่าง	45
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 1 ดวง	47
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 2 ดวง	47
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 3 ดวง	48
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 4 ดวง	48
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 5 ดวง	49
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 6 ดวง	49
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 7 ดวง	50
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 8 ดวง	50
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 9 ดวง	51
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 10 ดวง	51
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ เอาท์พุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 1 ดวง	53
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ เอาท์พุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 2 ดวง	53
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ เอาท์พุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 3 ดวง	54
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ เอาท์พุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 4 ดวง	54
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ เอาท์พุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 5 ดวง	55
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ เอาท์พุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 6 ดวง	55
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า $V(mV)$ เอาท์พุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 7 ดวง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 8 ดวง	56
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 9 ดวง	57
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 10 ดวง	57
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 1 ดวง	60
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 2 ดวง	60
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 3 ดวง	61
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 4 ดวง	61
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 5 ดวง	62
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 6 ดวง	62
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 7 ดวง	63
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 8 ดวง	63
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 9 ดวง	64
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุทของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 10 ดวง	64
รูปที่ 4.32 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 1 หลอด	73
รูปที่ 4.33 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 2 หลอด	73
รูปที่ 4.34 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 3 หลอด	73
รูปที่ 4.35 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 4 หลอด	74
รูปที่ 4.36 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 5 หลอด	74
รูปที่ 4.37 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 6 หลอด	74
รูปที่ 4.38 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 7 หลอด	75
รูปที่ 4.39 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 8 หลอด	75
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความเข้มเสียงสูงสุดเทียบกับจำนวนหลอด LED ที่ทำงาน	76
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความเข้มเสียงเฉลี่ยเทียบกับจำนวนหลอด LED ที่ทำงาน	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การวัดเสียงเป็นส่วนหนึ่งของเรื่องคลื่น ซึ่งเรื่องคลื่นเป็นส่วนหนึ่งของวิชาฟิสิกส์การศึกษาทางด้านนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ เครื่องมือวัดเสียง ซึ่งการวัดเสียงนั้นมีความสำคัญมากเนื่องจากเสียงเป็นระบบสัมผัสอย่างหนึ่งของมนุษย์ ถ้าหากเกิดการสูญเสียไป คงทำให้มนุษย์อยู่กันได้อย่างลำบากมากขึ้นอย่างแน่นอนซึ่งปัจจัยที่จะเกิดการสูญเสียการได้ยินมีอยู่มากมาย เช่นกัน

การได้รับหรือสัมผัสเสียงดังในระยะเวลาอันนานก่อให้เกิด การสูญเสียการได้ยิน หรือความสามารถในการได้ยินเสียงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคนที่มีการได้ยินปกติ การสูญเสียการได้ยินเนื่องจากเสียงดัง โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือระดับความดังเสียง ชนิด ของเสียง ระยะเวลาที่ได้รับเสียงต่อวัน และตลอดอายุการทำงาน นอกจากนี้ ยังพบปัจจัยอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องทำให้เกิดการสูญเสีย การได้ยินเช่น ความไวของเสียงแต่ละบุคคล อายุ สภาพแวดล้อมของแหล่งเสียง ฯลฯ

มนุษย์จะได้ยินเสียง ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20-20,000 เฮิรตซ์ ถ้าต่ำกว่าหรือสูงกว่าจะไม่สามารถรับรู้ได้ โดยทั่วไปการสูญเสียการได้ยิน จะเริ่มที่ความถี่ 4,000 เฮิรตซ์ เป็นลำดับแรกในระยะเวลาต่อมา จึงจะสูญเสียการได้ยิน ที่ความถี่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่ 4,000 เฮิรตซ์ ส่วนความถี่ของการสนทนาซึ่งมีความถี่ต่ำคือที่ 500-2,000 เฮิรตซ์ จะสูญเสียช้ากว่าที่ความถี่สูง

การตรวจวัดระดับเสียงมีหลายประเภทและมีขั้นตอนรวมทั้งรายละเอียดวิธีการตรวจวัดที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการตรวจวัด และยังมีราคาค่อนข้างสูง เช่น การตรวจวัดระดับเสียงจากยานพาหนะ ตรวจวัดระดับเสียงสิ่งแวดล้อม การตรวจวัดเสียงรบกวน เป็นต้น ดังนั้น เราควรจะศึกษา เครื่องมือวัดเสียงและออกแบบเครื่องมือวัดเสียงเพื่อที่จะนำมาใช้งานได้ง่าย สะดวกในการตรวจวัดในสถานการณ์ต่างๆ และราคาไม่แพง

โครงการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาและออกแบบระบบการทำงานการทดลองของเครื่องมือวัดเสียง โดยการศึกษาและออกแบบระบบการทำงานและการทดลองของเครื่องมือวัดเสียง

โดยมีขนาดเล็ก ในช่วง 60-80 เดซิเบล โดยใช้วงจรเปรียบเทียบ ด้วยหลักการของสัญญาณเสียงที่แตกต่างกัน ของแต่ละความถี่ของเสียง โดยเครื่องมือนี้มีส่วนประกอบสำคัญคือ ไมโครโฟน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาดังหลักการวัดเสียง
2. เพื่อศึกษาระบบเครื่องมือวัดระดับเสียง
3. เพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการออกแบบระบบเครื่องมือวัดระดับเสียง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องวัดระดับเสียง
2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการออกแบบระบบของเครื่องมือเพื่อวัดระดับเสียง

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
พฤษภาคม – มิถุนายน พ.ศ. 2555	- ศึกษาทฤษฎีและหลักการของเครื่องมือวัดระดับเสียง
กรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2555	- ศึกษาทฤษฎีและหลักการออกแบบระบบการวัดเพื่อคำนวณหาค่าของทฤษฎี
กันยายน-ตุลาคม พ.ศ. 2555	- ทำการประดิษฐ์เครื่องมือวัดระดับเสียงและทำการทดสอบระบบ
พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555	- ศึกษาวิเคราะห์ผลการออกแบบระบบ
กุมภาพันธ์ – มีนาคม พ.ศ. 2556	- ทำการสรุปผลศึกษาโครงการพิเศษ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการวัดเสียง โดยการใช้เครื่องมือวัด
2. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการประยุกต์ความรู้ที่เรียนมาให้เหมาะสมแก่การใช้งาน
3. ทำให้มีความรู้เพิ่มเติมในการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือวัดระดับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

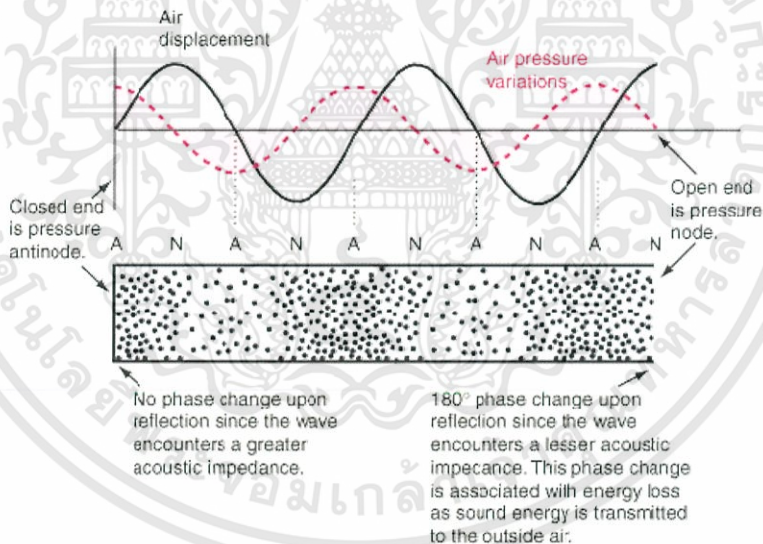
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลตามยาวซึ่งเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง โดยการเคลื่อนที่ของเสียงจากตัวก่อกำเนิดเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นจากตัวก่อกำเนิดเสียงนั้น ไปยังที่ต่างๆ ซึ่งเสียงนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด

คลื่นเสียงเป็นคลื่นความดัน ความดันนี้หมายถึงความดันที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความดันปกติ(ความดันเกจ)เมื่อคลื่นเสียงแผ่ไปในอากาศจะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงแล้วโมเลกุลของอากาศรวมกันและมีผลต่อโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลของอากาศสั่นไป-มาพร้อมกับถ่ายโอนพลังงานให้กับโมเลกุลอื่นๆอย่างต่อเนื่องแล้วกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม

Production of a standing wave in an air column involves reflections from both the closed end and the open end of the column.



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและความดันของคลื่นเสียง

หมายเหตุ ค่าความดันปกติ(ความดันเกจ)ของอากาศเป็น 1.013×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ถ้าได้รับคลื่นเสียงที่มีแอมพลิจูด 300 นิวตันต่อตารางเมตร จะทำให้อากาศมีความดัน 1.016×10^5 นิวตันต่อตารางเมตรที่ส่วนอัด และมีความดัน 1.010×10^5 นิวตันต่อตารางเมตรที่ส่วนขยาย

ขณะที่คลื่นเสียงแผ่ไปในอากาศนั้นก็เกิดบริเวณที่มีการอัด(compression) ซึ่งจะมีความหนาแน่นมากและการขยายตัว(expansion) ซึ่งจะมีความหนาแน่นน้อย โมเลกุลอากาศสลับกันไปอย่างกลมกลืนและมีระเบียบตามทิศทางการแผ่ของคลื่นเสียง

ในรูปของความดัน ขณะปกติ(ไม่มีเสียง) ตัวกลางคืออากาศมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศปกติ อากาศมีความหนาแน่นขนาดหนึ่ง ในคลื่นเสียงที่มีความหนาแน่นสูงและต่ำ ทำให้ตัวกลางมีความดันสูงและต่ำตามไปด้วย คลื่นเสียงจะมีความดันอยู่ในรูป

$$P_0 = P_a \sin(\omega t + \phi) \quad (2.1)$$

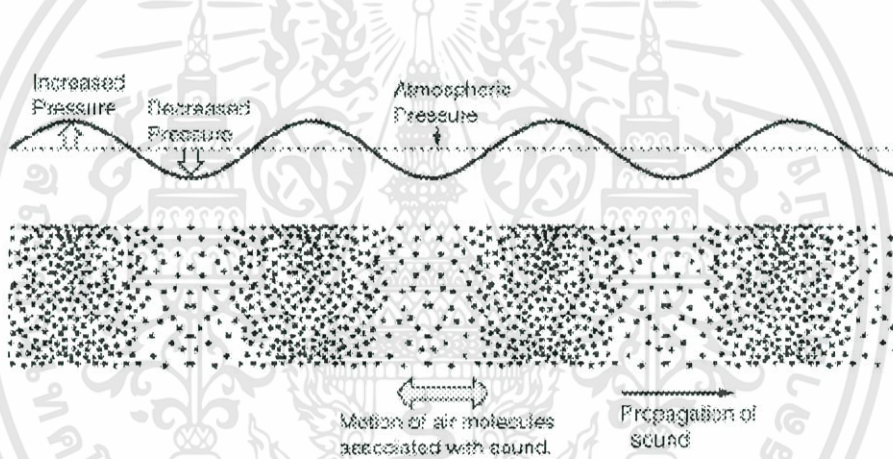
เมื่อ

P_0 คือความดันคงที่ของอากาศปกติ

P_a คือแอมพลิจูดทางความดัน (pressure amplitude) ของคลื่นเสียง $\approx 28 \text{ N/m}^2$

ϕ คือค่าคงที่ทางเฟส ซึ่งขึ้นกับการเริ่มพิจารณาที่เวลาใด

คลื่นของการกระจัดและคลื่นของความดันมีเฟสต่างกัน 90° หรือ $\pi/2$ เรเดียน นั่นคือแอมพลิจูดการกระจัดจะเป็นบัพความดัน บัพการกระจัดจะเป็นแอมพลิจูดความดัน



รูปที่ 2.2 คลื่นของการกระจัดและคลื่นของความดัน

มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 20 -20,000 เฮิรตซ์ คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่าอินฟราโซนิก (infrasonic) คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ เรียกว่าอัลตราโซนิก (ultrasonic)

ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มเสียงจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล, dB)	ผลการรับฟัง
การหายใจปกติ	10	แทบจะไม่ได้ยิน
การกระซิบแผ่วเบา	30	เสียงมาก
สำนักงานที่เงียบ	50	เงียบ
การพูดคุยธรรมดา	60	ปานกลาง
เครื่องดูดฝุ่น	75	ดัง
โรงงาน, ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	80	ดัง
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง, เครื่องเจาะถนนแบบอัตโนมัติ, เครื่องตัดหญ้า	90	รับฟังบ่อยๆ
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง, เครื่องเจาะถนนแบบอัตโนมัติ, เครื่องตัดหญ้า	100	การได้ยินจะเสื่อมอย่างถาวร
เครื่องตัดหญ้า	120	ไม่สบายหู
ดิสโก้เธค, การแสดงดนตรีประเภทร็อก	130	เจ็บปวดในหู
ฟ้าผ่าระยะใกล้ๆ	150	แก้วหูร้าวทันที
เครื่องไอพ่นกำลังขึ้นใกล้ๆ	180	
จรวดขนาดใหญ่กำลังขึ้นใกล้ๆ		

2.2 อัตราเร็วของคลื่นเสียง

อัตราเร็วของคลื่นกลตามขวางขึ้นอยู่กับทั้งสมบัติยืดหยุ่นและสมบัติอินเนอร์เซีย(Inertia) ของตัวกลาง ซึ่งใช้ได้กับคลื่นเสียง

อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางชนิดต่างๆจะแตกต่างกัน โดยอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางที่มีสถานะของแข็งจะมีอัตราเร็วที่สุด รองลงมาคือของเหลวและก๊าซ ตามลำดับ

อัตราเร็วของเสียงในของแข็ง มีความสัมพันธ์กับค่ามอดูลัสของยัง(Y) และความหนาแน่น(ρ) ของแท่งวัตถุ

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (2.2)$$

มอดูลัสของยัง(Y) คือความยืดหยุ่นตามยาวของวัสดุหาได้จากอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (2.3)$$

2.2.1 อัตราเร็วของเสียงในของไหล

เมื่อคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ในของไหล จะทำให้เกิดการอัดและขยายตัวของของไหลทำให้ความดันและปริมาตรเปลี่ยนแปลง

ปริมาณที่แสดงสมบัติยืดหยุ่นของตัวกลางอัดได้คือมอดูลัสเชิงปริมาตร(B) ปริมาณที่บอกสมบัติอินเนอร์เซียของตัวกลางคือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (ρ) ของตัวกลาง

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.4)$$

บัลค์มอดูลัส(Bulk modulus) คือ มอดูลัสเชิงปริมาตรหาได้จากอัตราส่วนของความเค้นเชิงปริมาตร (ΔP) ต่อความเครียดเชิงปริมาตร ($\Delta V/V$)

$$B = \frac{-\Delta P}{\Delta V/V} \quad (2.5)$$

2.2.2 อัตราเร็วของเสียงในก๊าซ

สำหรับในอากาศอัตราเร็วของเสียงจะเปลี่ยนไป เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง โดยแปรผันตรงกับรากที่สองของอุณหภูมิในหน่วยของสแควร์รูท $v \propto \sqrt{T}$ นั่นคือ

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (2.6)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

R คือ ค่าคงตัวของก๊าซ = 8.314 จูลต่อ โมล-เคลวิน

M คือ มวลโมเลกุลของก๊าซ

γ คือ ค่าคงตัวที่เป็นอัตราส่วนของความจุความร้อนที่ความดันคงตัวต่อความจุ

ความร้อนที่ปริมาตรคงตัวของก๊าซ = 1.40

หรือโดยประมาณในอุณหภูมิองศาเซลเซียส เท่ากับ $V_t = 331 + 0.6 t$

ข้อสำคัญ ความถี่ของคลื่นเสียงจะเป็นปริมาณคงตัวไม่เปลี่ยนไปตามตัวกลางที่คลื่นเสียงผ่านไป

2.2.3 อัตราเร็วของเสียงในอากาศ

จากกฎของก๊าซ ความดัน P สัมพันธ์กับปริมาตร V คลื่นเสียงในกาซนั้น การอัดตัวจะเร็วมากพอที่จะถือว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นแบบ adiabatic change ดังนั้น $PV^\gamma =$ ค่าคงที่ หากความสัมพันธ์ระหว่าง ΔV กับ V โดยการหาอนุพันธ์เทียบกับ P จะได้ว่า

$$V^\gamma + \gamma PV^{\gamma-1} \frac{\partial V}{\partial P} = 0 \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial v}{\partial P} = -\frac{v}{\gamma P} \quad (2.8)$$

แต่ $\partial v / \partial P$ ก็คือการเปลี่ยนค่าของ v เทียบกับ P นั่นเอง ซึ่งก็คือ $\Delta v / \Delta P$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{\partial v}{\partial P} = -\frac{v}{\gamma P} \text{ หรือ } -\frac{\Delta P}{\Delta v / v} = \gamma P \quad (2.9)$$

$$\text{แต่ } B = \gamma P \quad (2.10)$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (2.11)$$

$$PV = (m/M)RT = nRT \quad (2.12)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad v = \sqrt{\frac{\gamma nRT}{\rho V}} \quad (2.13)$$

$$\text{แต่ } \rho = m/v \quad (2.14)$$

$$v = \sqrt{\gamma \frac{n}{m} RT} \quad (2.15)$$

n คือ จำนวนโมลของก๊าซ = m/M เมื่อ M คือ มวลโมเลกุล

$$\text{ดังนั้น} \quad v = \sqrt{\frac{\gamma}{M} RT} \quad (2.16)$$

สามารถเปลี่ยน $T = 273 + \theta$ เมื่อ θ เป็นองศาเซลเซียส และ $\theta \ll 273$ แล้ว

$$T = 273 + \theta = 273\left(1 + \frac{\theta}{273}\right) \quad (2.17)$$

ในกรณีที่ $\theta \ll 273$ จะได้ว่า

$$\sqrt{T} = \sqrt{273\left(1 + \frac{\theta}{273}\right)} \approx \left(1 + \frac{\theta}{2 \times 273}\right) \sqrt{273} \quad (2.18)$$

$$\text{เมื่อใช้สูตรการกระจายทวินาม} \quad (1+x)^{1/2} = 1 + \frac{1}{2}x + \dots \quad (2.19)$$

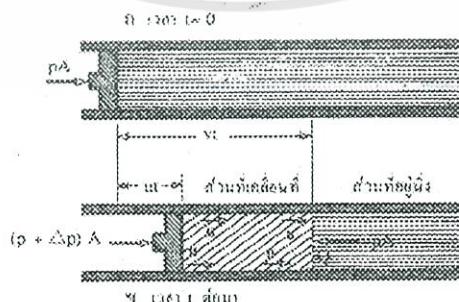
$$v = \sqrt{\frac{\gamma}{M} R(273)\left(t + \frac{\theta}{546}\right)} \quad (2.20)$$

แต่ปริมาณในรากที่สองก็คืออัตราเร็วของเสียงที่ 0°C ดังนั้น

$$v = v_0 + \frac{v_0}{546} \theta \quad (2.21)$$

ในกรณีของอากาศ $v_0 = 331 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ดังนั้น

$$v = 331 + 0.6 t \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.22)$$



2.2.4 อัตราเร็วของคลื่นตามยาวในของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 อัตราเร็วของคลื่นตามยาวในของไหล

การหาอัตราเร็วของคลื่นตามยาวหาได้จากสมบัติเชิงกลของตัวกลาง พิจารณาของไหล (ของเหลว ก๊าซ) ที่มีความหนาแน่น ρ อยู่ในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัด A ภายใต้ความดัน P ที่เวลา $t = 0$ ของไหลหยุดนิ่ง เมื่อทำให้ลูกสูบที่ปลายซ้ายของท่อเคลื่อนไปทางขวาด้วยความเร็ว u อนุภาคของไหลที่อยู่ทางซ้ายของบริเวณที่ถูกอัดจะเคลื่อนไปทางขวาด้วยความเร็ว u และอนุภาคของของไหลที่อยู่ทางขวายังคงหยุดนิ่ง ที่เวลา t ลูกสูบเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง ut แต่ส่วนที่อยู่หน้าหน้าบริเวณจุด B จะเคลื่อนไปทางขวาด้วยความเร็วของคลื่น v ได้ระยะทาง vt

ให้ความดันในการอัดลูกสูบเป็น $P + \Delta P$ เมื่อ ΔP เป็นความดันที่เพิ่มขึ้นในการอัดของไหล ดังนั้นแรงภายนอกที่ทำให้ลูกสูบเคลื่อนไปทางขวาเป็น $(P + \Delta P)A$ แรงรวมที่กระทำต่อบริเวณที่ถูกอัดของของไหลเป็น

$$(P + \Delta P)A - PA = A\Delta P \quad (2.23)$$

ปริมาณของไหลที่เคลื่อนที่ในเวลา t คือของไหลที่อยู่ภายในท่อยาว vt พื้นที่หน้าตัด A ดังนั้นของไหลในบริเวณนี้มีมวลเป็น ρvtA และมีโมเมนตัมเป็น $\rho vtAu$

จากทฤษฎีการคล-โมเมนตัม

$$(A\Delta P)t = \rho vtAu \quad (2.24)$$

จากนิยามบัคคัมมอดูลัส(B)

$$B = \frac{-\Delta P}{\Delta V/V} \quad (2.25)$$

เมื่อ ΔV เป็นปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการอัด $= -Aut$ และ V เป็นปริมาตรเดิมของของไหลส่วนที่ถูกอัด $= Avt$

$$B = \frac{\rho v^2}{Aut/Avt} \quad (2.26)$$

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.27)$$

นั่นคืออัตราเร็วของคลื่นตามยาวในของไหลขึ้นอยู่กับบัคคัมมอดูลัส (B) และความหนาแน่นของตัวกลาง ρ

2.2.5 อัตราเร็วของคลื่นตามยาวในของแข็ง

เมื่อคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ในของแข็ง แรงกระทำต่อชิ้นส่วนของแข็งจะทำให้ชิ้นส่วนของแข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

จากกฎของนิวตัน $\Sigma F = ma \quad (2.28)$

$$F = \rho Ax \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t^2} \quad (2.29)$$

กนิยามของ Young's modulus

$$Y = \frac{F}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (2.30)$$

จะได้

$$YA \frac{\partial y}{\partial x} = \rho Ax \frac{\partial^2 y}{x \partial t^2} \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} Y = \rho x \frac{\partial^2 y}{x \partial t^2} \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\rho}{Y} \frac{\partial^2 y}{x \partial t^2} \quad (2.35)$$

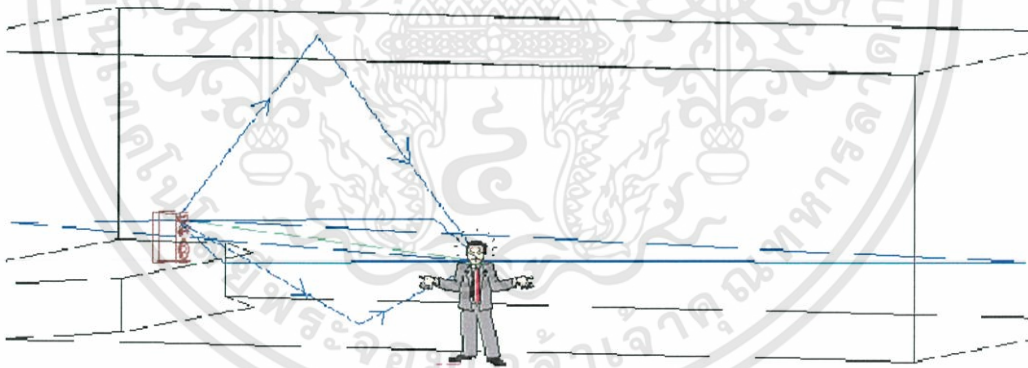
$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (2.36)$$

2.3 คุณสมบัติของเสียง

2.3.1 การสะท้อนของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับผนังจะเกิดคลื่นเสียงสะท้อนขึ้น โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเช่นในห้อง ในถ้ำ เกิดเสียงดัง และถ้าเสียงที่สะท้อนกลับมาใช้เวลามากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 วินาที ประสาทหูจะแยกเสียงนั้นได้ เสียงที่สะท้อนกลับมานี้เรียกว่าเสียงก้อง(Echo)

เสียงสะท้อนที่วัตถุผิวเรียบได้ดีกว่าวัตถุผิวขรุขระ ถ้าคลื่นเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า จะทำให้เฟสของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป π เรเดียน เพราะโมเลกุลที่บริเวณนั้นไม่สามารถสั่นได้(เหมือนการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกปลายตรึง)



รูปที่ 2.4 การสะท้อนของเสียง

2.3.2 การหักเหของเสียง

เกิดขึ้นคลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันหรือไปในตัวกลางชนิดเดียวกันแต่มีความหนาแน่นหรืออุณหภูมิต่างกัน จะทำให้อัตราเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลง เช่น การที่ฟ้าแลบแต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง หรือเราอาจไม่ได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ในแนวราบเดียวกันถ้าอากาศด้านบนเย็นกว่าอากาศที่พื้นดิน

การหักเหของเสียงในตัวกลางชนิดเดียวกันแต่มีอุณหภูมิต่างกัน

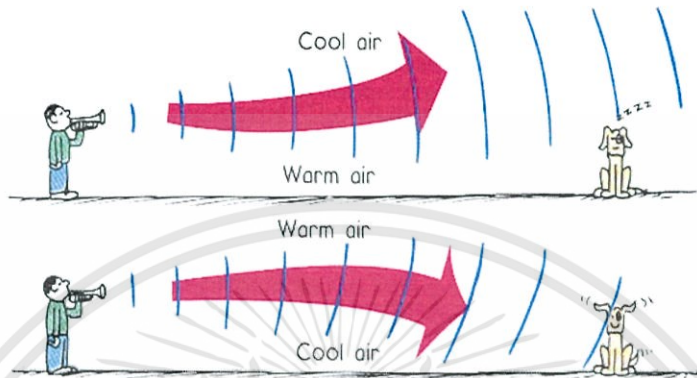
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จาก } V_t = 331 + 0.6t \quad (2.37)$$

แล้วใช้กฎสเนลล์

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (2.38)$$

T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน



รูปที่ 2.5 ลักษณะการหักเหของเสียงที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ

การคำนวณอัตราเร็วของคลื่นเสียงได้ค่าสอดคล้องกับความเป็นจริง เมื่อคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตรในอากาศที่เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงแบบแอดิยาบัติก (adiabatic change) คือไม่มีความร้อนถ่ายเทในการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันในเสียงเร็วมากและผ่านไปเร็วจึงทันทีจะมีสมดุลเชิงความร้อน

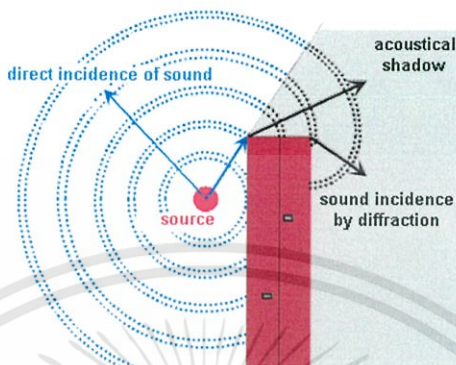
ตารางที่ 2.2 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ

ชนิดตัวกลาง	อัตราเร็ว(m/s)
ก๊าซ	
ไฮโดรเจน	1,286
ฮีเลียม	972
อากาศ(0°C)	331
อากาศ(20°C)	343
ของเหลว(ที่ 25°C)	
น้ำทะเล	1,533
น้ำ	1,493
ของแข็ง	
เหล็ก	5,130
อลูมิเนียม	5,100
ทองแดง	3,560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การเลี้ยวเบน

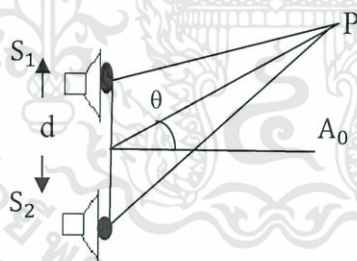
เสียงสามารถอ้อมผ่านไปด้านหลังของกำแพงหรือผนังได้ทำให้เราได้ยินเสียงโดยไมค์เห็นแหล่งกำเนิดเสียง



รูปที่ 2.6 การเลี้ยวเบนของเสียง

2.3.4 การแทรกสอดของเสียง

เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง 2 แหล่ง ที่มีแอมพลิจูด และความถี่ต่างกันซึ่งมีเฟสตรงกันหรือต่างกึ่งวงตัวเคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน แล้วเกิดจุดปฏิบัพ(เสียงดัง) และจุดบัพ(เสียงค่อย) สลับกันการคำนวณการแทรกสอดของเสียงในกรณีเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ที่มีเฟสตรงกัน



รูปที่ 2.7 การแทรกสอดของเสียงที่มีเฟสตรงกัน

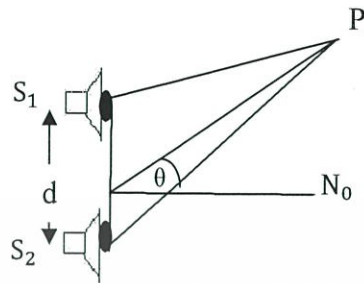
1. ถ้า P เป็นจุด ปฏิบัพ แล้ว

$$d \sin \theta = |s_{1p} - s_{2p}| = n \lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.39)$$

2. ถ้า P เป็นจุดบัพ แล้ว

$$d \sin \theta = |s_{1p} - s_{2p}| = \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.40)$$

การคำนวณการแทรกสอดของเสียงในกรณีเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ที่มีเฟสตรงข้ามกัน



รูปที่ 2.8 การแทรกสอดของเสียงที่มีเฟสตรงข้ามกัน

1. ถ้า P เป็นจุด ปฏิบัพ แล้ว

$$d \sin \theta = |s_{1p} - s_{2p}| = \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.41)$$

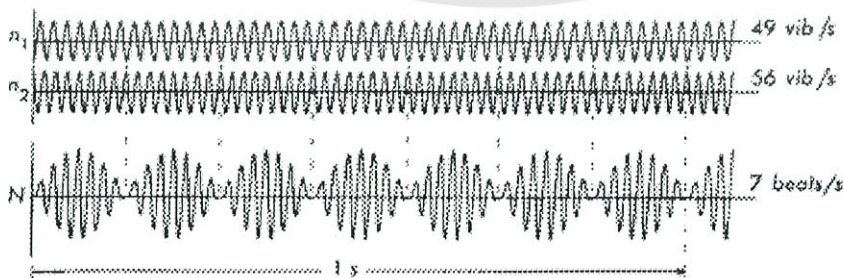
2. ถ้า P เป็นจุด บัพ แล้ว

$$d \sin \theta = |s_{1p} - s_{2p}| = n \lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.42)$$

2.3.5 บีตส์(Beats)

เมื่อมีเสียงสองเสียงความถี่ต่างกันมากพอเช่น 1,000 เฮิรตซ์ และ 1,200 เฮิรตซ์ มาถึงหูพร้อมๆกัน เราจะฟังได้ว่าเป็นเสียงสองเสียงที่มีระดับเสียงสูงต่ำต่างกัน แต่ถ้าความแตกต่างของความถี่ของสองเสียงนั้นใกล้เคียงกันเช่น 1,000 เฮิรตซ์ และ 1,005 เฮิรตซ์ เราจะไม่สามรถฟังเป็นสองเสียง แต่จะได้ยินเป็นเสียงเดียวที่ความถี่ 1,002.5 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของความถี่เสียงสองเสียงและเสียงนั้นดัง-ค่อยสลับกัน 5 ครั้งต่อวินาที

ถ้าคลื่นทั้งสองมีความถี่ต่างกันเล็กน้อย(ไม่เกิน 7 - 10 Hz) จะได้ยินเสียงดัง - ค่อย เป็น จังหวะ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า บีตส์(Beats)



รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิดบีตส์ของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีตส์เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นเสียง 2 เสียงที่มีความถี่ใกล้เคียงกันมีแอมพลิจูดใกล้เคียงกันมาแทรกสอดกัน ทำให้เกิดเสียงดังเป็นจังหวะๆ

ความถี่บีตส์ = ผลต่างของความถี่ทั้งสองของคลื่นเสียงนั้น ตามสมการ

$$f_b = |f_1 - f_2| \quad (2.43)$$

เมื่อ f_b คือความถี่บีตส์

$$\text{ความถี่รวม} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (2.44)$$

2.3.6 คลื่นนิ่งของเสียง

เมื่อมีคลื่น 2 ขบวนเคลื่อนที่สวนทางกัน คลื่นทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่ากันจะเกิดการซ้อนทับกันอย่างต่อเนื่องของคลื่นตกกระทบ และ คลื่นสะท้อน เป็นคลื่นลัพธ์มีตำแหน่งปฏิบัติและบัพสลับกันไป ตำแหน่งบัพและปฏิบัติที่ปรากฏเป็นบัพของการกระจัด(displacement node) และปฏิบัติของการกระจัด(displacement antinode) เรียกว่าคลื่นนิ่ง ในเรื่องของคลื่นเสียงก็มีคลื่นนิ่งของเสียงในลักษณะเดียวกับคลื่นนิ่งในเส้นเชือก แต่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง จะต้องใช้ผลต่อเนื่องของคลื่นนิ่งเป็นการทดสอบ คือใช้สมบัติเกี่ยวกับการสั่นพ้องของอากาศในท่อซึ่งเป็นการผสมผสานกันระหว่างคลื่นนิ่งและการสั่นพ้อง เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นกลตามยาว การพิจารณาคลื่นนิ่งในท่ออากาศต้องคำนึงถึงปฏิบัติ ของความดัน (pressure antinode) และบัพความดัน (pressure node) ซึ่งสอดคล้องกับบัพของการกระจัด และปฏิบัติของการกระจัด

2.3.7 การสั่นพ้องของเสียง (Resonance)

ขณะที่ระบบหนึ่งมีการแกว่งกวัดโดยเสรี ความถี่ของการแกว่งกวัดขณะนั้นเรียกว่าความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) เช่น ขณะที่ชิงช้าแกว่งไป-มาโดยเสรีหลังจากที่กระตุ้นให้มีการแกว่งกวัด แต่ถ้าออกแรงผลัก เพื่อให้ชิงช้าตัวนั้นอย่างต่อเนื่อง ชิงช้าก็จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงภายนอกด้วย ความถี่ของชิงช้าขณะนี้จะเกี่ยวข้องกับความถี่ 2 ส่วน ส่วนหนึ่งคือความถี่ธรรมชาติ และอีกส่วนหนึ่งก็เป็นความถี่เนื่องจากแรงภายนอก ปรากฏว่าชิงช้าจะมีค่าแอมพลิจูดของการแกว่งมากที่สุดเมื่อความถี่ 2 กรณีนี้เท่ากัน โดยเราเรียกความถี่ขณะนั้นว่า ความถี่การสั่นพ้องหรือความถี่เรโซแนนซ์

ถ้ามีแรงเพียงเล็กน้อยกระทำเป็นคาบกับระบบหนึ่งที่สามารถแกว่งได้ โดยทั่วไปแล้วระบบนั้นจะแกว่งด้วยค่าแอมพลิจูดน้อยๆ ขณะที่ความถี่ของการแกว่งมีค่าเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของระบบนั้น ก็จะมีค่าแอมพลิจูดมากขึ้น แล้วค่าแอมพลิจูดจะมากที่สุด ณ ความถี่การสั่นพ้องเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบนั้นนั่นเอง

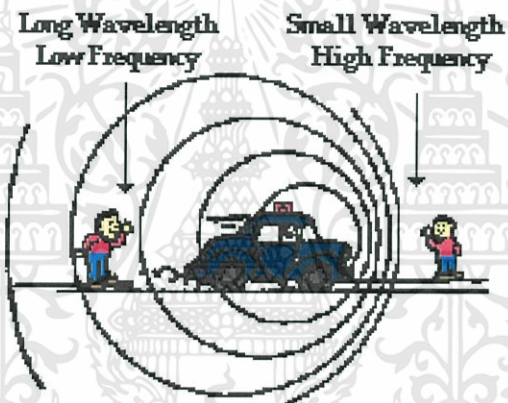
การสั่นพ้องของเสียงในท่อเกิดจากการสั่นของโมเลกุลของอากาศในท่อจะทำให้

ผนังของท่อเกิดการสั่นไปด้วย การสั่นของผนังท่อทำให้เกิดเสียงเข้าหูเพิ่มขึ้นอีก



รูปที่ 2.10 การพังของสะพาน Tacoma Narrow เป็นผลมาจากการสั่นพ้องเนื่องจากมีลมพัดอย่างแรงพอดีกับจังหวะการสั่นของสะพานพอดี

2.3.8 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์(Doppler effect)



The Doppler Effect for a moving sound source

รูปที่ 2.11 การเกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

เวลาที่เรายืนอยู่บนถนนแล้วมีรถเปิดไซเรนเคลื่อนที่กำลังจะผ่านเราไป เราจะรู้สึกวามขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่จะผ่านเราไป เราจะได้ยินเสียงไซเรนแหลมกว่าปกติ แต่เมื่อรถผ่านเราไปแล้ว เราจะได้ยินเสียงไซเรนทุ้มกว่าปกติ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่เสียงออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่กำลังเคลื่อนที่ หรือในทางตรงกันข้าม ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงอยู่กับที่แต่ผู้ฟังกำลังเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากแหล่งกำเนิดเสียง ก็จะได้ยินเสียงในลักษณะเช่นเดียวกัน ปรากฏการณ์นี้เป็นปรากฏการณ์ที่ผู้ฟังได้ยินเสียงมีความถี่ต่างไปจากความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงเรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์(Doppler effect) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างผู้ฟังกับแหล่งกำเนิดเสียงไม่เป็นศูนย์หรือกล่าวได้ว่าระยะห่างระหว่างผู้ฟังกับแหล่งกำเนิดเสียงไม่คงที่ โดยความถี่เสียงที่ปรากฏต่อผู้ฟังมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f' = \frac{(v \pm v_L)}{(v \mp v_S)} f_s$$

(2.45)

f' คือ ความถี่เสียงที่ปรากฏต่อผู้ฟัง

f_s คือ ความถี่เสียงของแหล่งกำเนิดเสียง

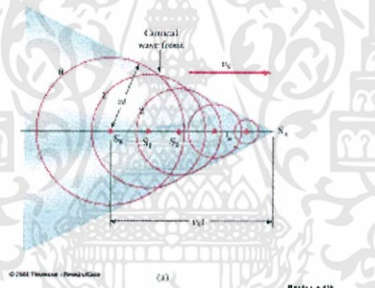
v คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียง

v_S คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง

v_L คือ อัตราเร็วของผู้ฟัง

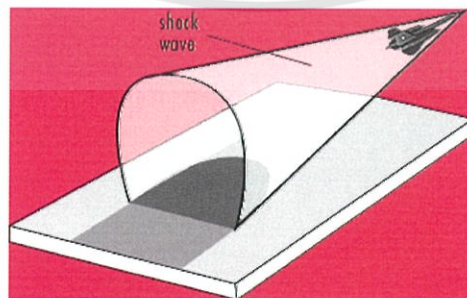
2.3.9 คลื่นกระแทก (Shock wave)

เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงเคลื่อนที่โดยมีอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วของเสียง หน้าคลื่นที่ส่งออกมาจะมีลักษณะเป็นรูปกรวย โดยมีวัตถุอยู่ที่ยอด หน้าคลื่นแต่ละชุดมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งซึ่งวัตถุเคยอยู่มาก่อนขณะที่ส่งหน้าคลื่นนั้นๆ ออกมาตามแนวของกรวยข้างสัมผัสหน้าคลื่นเหล่านี้ คลื่นเสริมกันทำให้มีการรวมพลังงานกลายเป็นคลื่นกระแทก



รูปที่ 2.12 การเกิดคลื่นกระแทก

วัตถุที่เคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องเป็นต้นกำเนิดเสียงที่สั้นจึงจะทำให้เกิดคลื่นกระแทกได้ ขณะที่เคลื่อนที่ที่อัตราเร็ววัตถุมากกว่าอัตราเร็วของเสียงก็เกิดคลื่นกระแทกได้ เช่น คลื่นกระแทกจากเสียงลูกปืนผ่าน



รูปที่ 2.13 การเกิดเสียงไซนิกบูม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงโซนิคบูม (sonic boom) จากเครื่องบินที่บินเร็วกว่าเสียง (supersonic speed) พลังงานซึ่งเกิดจากคลื่นกระแทกของเครื่องบินอัตราเร็วสูงบางครั้งอาจเพียงพอทำให้หน้าต่างแตกและอาคารสั่นได้ ผู้สังเกตซึ่งอยู่ใต้ทางผ่านของเครื่องบิน supersonic จะได้ยินเสียงปั้งใหญ่ขณะที่มีคลื่นกระแทกผ่าน และจะไม่ได้ยินเสียง ถ้าอยู่ภายนอกกรวย

การเกิดคลื่นกระแทกพิจารณาได้จากอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงและอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมินั้นๆ คือ v_s/v อัตราส่วนนี้เรียกว่า เลขมัค (Mach number) ซึ่งตั้งตามชื่อ เอิร์นสต์ มัค (Ernst Mach) จรวดที่มีขนาดมัค 5 จะมีอัตราเร็ว 5 เท่าของเสียง การเกิดคลื่นกระแทกเริ่มต้นที่มัค 1 ผิวสัมผัสหน้าคลื่นทำมุม θ กับทิศการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดคลื่น

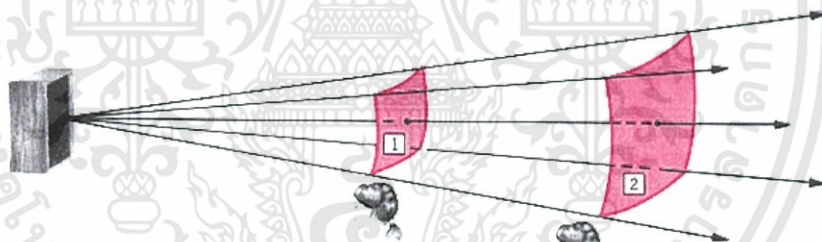
จะได้

$$\sin \theta = \frac{v}{v_s} \quad (2.46)$$

v คือ อัตราเร็วของเสียง

2.4 ความเข้มเสียง

ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงออกไปความเข้มเสียง (I) ของเสียงในอากาศจะลดลงโดยแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่าง (R) จากแหล่งกำเนิดเสียง ดังนี้



Copyright John Wiley & Sons

รูปที่ 2.14 ลักษณะความเข้มเสียง

$$I \propto \frac{1}{R^2} \quad (2.47)$$

ความเข้มเสียงหมายถึงพลังงานเสียงที่ตกลงบนพื้นที่ 1 หน่วย ในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร นั่นคือ

$$I = \frac{P}{A} \quad \text{หรือ} \quad I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (2.48)$$

I คือ ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

P คือ กำลังเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็นวัตต์

R คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับตำแหน่งที่จะหาความเข้มเสียง มีหน่วยเป็นเมตร

พลังงานนี้สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ต่อเวลาต่อตารางเมตรจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศ(กำลังต่อพื้นที่)สัมพันธ์กับแอมพลิจูดทางความดันของเสียงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = \frac{P^2}{2\rho v} \quad (2.49)$$

เมื่อ P คือ แอมพลิจูดความดัน

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

v คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียง

นอกจากนี้ความเข้มเสียงยังสามารถหาได้จากสูตร

$$I = 2\pi^2 f^2 s_m^2 \rho v \quad (2.50)$$

ความเข้มเสียงที่ดังสุดที่มนุษย์ทนได้มีค่าเท่ากับ 1 วัตต์ต่อตารางเมตร จะมี

แอมพลิจูดความดัน = 28 นิวตันต่อตารางเมตร

ความเข้มเสียงที่ค่อยสุดที่มนุษย์เริ่มได้ยินมีค่าเท่ากับ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร จะมี

แอมพลิจูดความดัน = 2×10^{-5} นิวตันต่อตารางเมตร

2.4.1 ระดับความเข้มเสียง

ความดันเสียงต่ำสุดที่คนธรรมดาได้ยินที่ 1,000 เฮิรตซ์ คือ 2×10^{-5} นิวตันต่อตารางเมตร ค่าความดันเสียงมีช่วงกว้างไดนามิกส์ (dynamic range) ประมาณ 1 ต่อล้าน ในการวัดถ้าเราใช้ความดันเสียงเป็นนิวตันต่อตารางเมตร โดยตรงจึงไม่สะดวก และเนื่องจากกลไกของการได้ยินมีความไวต่อการเปลี่ยนความดันเสียงในลักษณะคล้ายกัน จึงสะดวกที่จะวัดโดยการเปรียบเทียบความดันเสียงหรือเปรียบเทียบความเข้มของเสียง ในการเปรียบเทียบความเข้มของเสียง เรานิยามระดับความเข้มของเสียง (intensity level, β) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel)

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.51)$$

I คือ ความเข้มเสียงที่กำลังวัดมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

I_0 คือ ความเข้มเสียงต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยิน = 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร

ค่าความดังของเสียงถูกกำหนดจากความเข้มเสียงต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยิน ($I_0 = 10^{-12}$ วัตต์/ตารางเมตร) ให้มีความระดับความเข้ม 0 เดซิเบล ตามสมการ $\beta = 10 \log (I/I_0)$ เดซิเบล ซึ่งเป็นผลให้ระดับความเข้มเสียงสูงสุดที่มนุษย์ทนฟังได้เป็น 120 เดซิเบล

ในการเปรียบเทียบค่าความดัง 2 ค่า จากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกันแต่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงไม่เท่ากันจะเปรียบเทียบในลักษณะหาผลต่าง ตามสมการ

$$\beta_1 - \beta_2 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \text{ dB} \quad (2.52)$$

2.5 เสียงที่เป็นอันตราย

เสียงที่เป็นอันตราย องค์การอนามัยโลกกำหนดว่า เสียงที่เป็นอันตราย หมายถึง เสียงที่ดังเกิน 85 เดซิเบลเอที่ทุกความถี่ ส่วนใหญ่พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมมีระดับเสียงที่ดังเกินมากกว่า 85 เดซิเบลเอ เป็นจำนวนมากซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทางกายและจิตใจ

2.5.1 ผลเสียของเสียงที่มีต่อสภาพร่างกายและจิตใจ

2.5.1.1 ทำให้เกิดความรำคาญ รู้สึกหงุดหงิดไม่สบายใจ เกิดความเครียดทางประสาท

2.5.1.2 รบกวนต่อการพักผ่อนนอนหลับ และการติดต่อสื่อสาร

2.5.1.3 ทำให้ขาดสมาธิ ประสิทธิภาพการทำงานลดลง และถ้าเสียงดังมากอาจทำให้ทำงานผิดพลาด หรือเครื่องจักรเกิดอุบัติเหตุได้

2.5.1.4 มีผลต่อสุขภาพร่างกาย ความเครียด อาจก่อให้เกิดอาการป่วยทางกาย เช่น โรคกระเพาะ โรคความดันสูง

2.5.1.5 การได้รับฟังเสียงดังเกินกว่ากำหนดเป็นระยะเวลานานไปอาจทำให้สูญเสียการได้ยิน ซึ่งอาจเป็นอย่างชั่วคราวหรือถาวรก็ได้

2.5.2 การป้องกันและวิธีลดความดังของเสียง

2.5.2.1 ควบคุมที่แหล่งกำเนิด

- การออกแบบอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรให้มีการทำงานที่เงียบ
- การเลือกใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ควรเลือกประเภทที่มีเสียงดังน้อยกว่าเช่น การใช้เครื่อง

ปั๊มโลหะที่เป็นระบบไฮดรอลิก แทน เครื่องที่ใช้ระบบกล

- การเปลี่ยนกระบวนการผลิตที่ไม่ทำให้เกิดเสียงดัง
- การจัดหาที่ปิดล้อมเครื่องจักร โดยนำวัสดุดูดซับเสียงมาบุลงในโครงสร้าง ที่จะใช้ครอบหรือปิดล้อมเครื่องจักร

● การติดตั้งเครื่องจักรให้วางอยู่ในตำแหน่งที่มั่นคง เนื่องจากเสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร และการใช้อุปกรณ์กันสะเทือนจะช่วยลดเสียงได้

● การบำรุงรักษาอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรอยู่เสมอ เช่น การทำความสะอาดเป็นประจำ การหยอดน้ำมันหล่อลื่นกันการเสียดสี ของเครื่องจักร

2.5.2.2 การควบคุมที่ทางผ่านของเสียง

● เพิ่มระยะห่างระหว่างเครื่องจักร และผู้รับเสียง ทำให้มีผลต่อระดับเสียง โดยระดับเสียงจะลดลง 6 เดซิเบลเอ ทุก ๆ ระยะทางที่เพิ่มขึ้น เป็นสองเท่า

- การทำห้อง หรือกำแพงกันทางเดินของเสียง โดยออกแบบวัสดุเก็บเสียง หรือดูดซับ

เสียงที่สัมพันธ์กับความถี่ของเสียง

- การปลูกต้นไม้ขึ้นต้นที่มีใบดกบริเวณริมรั้ว ช่วยในการลดเสียงได้

2.5.2.3 การควบคุมการรับเสียงที่ผู้ฟัง

การใช้อุปกรณ์ป้องกันต่อหู เพื่อลดความดังของเสียงมี 2 แบบคือ

- ที่ครอบหู จะปิดหูและกระดูกรอบ ๆ ใบหูไว้ทั้งหมด สามารถลดระดับความดังของ

เสียงได้ 20-40 เดซิเบลเอ

- ปลั๊กอุดหู ทำด้วยยาง หรือพลาสติก ใช้สอดเข้าไปในช่องหูสามารถลดระดับความดัง

ของเสียงได้ 10-20 เดซิเบลเอ

การลดระยะเวลาในการรับเสียงของผู้ที่อยู่ในบริเวณที่มีเสียงดังเกินมาตรฐาน โดยจำกัดให้น้อยลง

2.5.2.4 เกณฑ์กำหนดของระดับเสียงที่เป็นอันตราย

ก. กรมแรงงาน กระทรวงมหาดไทยได้กำหนดมาตรฐานของ ระดับเสียงในสถานประกอบการต่าง ๆ ไว้ดังนี้คือ

1. ได้รับเสียงไม่เกินวันละ 7 ชั่วโมง ต้องมีระดับเสียงติดต่อกันไม่เกิน 91 เดซิเบล(เอ)
2. ได้รับเสียงวันละ 7-8 ชั่วโมง ต้องมีระดับเสียง ติดต่อกันไม่เกิน 90 เดซิเบล(เอ)
3. ได้รับเสียงเกินวันละ 8 ชั่วโมง ต้องมีระดับเสียง ติดต่อกันไม่เกิน 80 เดซิเบล(เอ)
4. นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่ ๆ มีระดับเสียงเกิน 140 เดซิเบล(เอ) ไม่ได้

ข. องค์การอนามัยโลกได้กำหนดว่าระดับเสียงที่ดังเกินกว่า 85 เดซิเบล(เอ) ถือว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์

2.6 เสียงรบกวนและการตรวจวัด

2.6.1 คุณภาพของเสียง

เสียงที่มีความถี่เท่ากันแต่มีความเข้มแตกต่างกันเช่นเสียงจากกีตาร์และเปียโนที่เล่นเสียงเดียวกัน แต่เสียงแตกต่างกัน

- คุณภาพของเสียงพิจารณาจากจำนวนโอเวอร์โทนที่มีในเสียงนั้นและความเข้มของเสียง

นั้น

- ระดับเสียงหมายถึงเสียงสูง ต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียงนั้น ความถี่มาก ระดับเสียงจะสูง ความถี่น้อยระดับเสียงจะต่ำ

2.6.2 เสียงรบกวน (Noise)

เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับเสียงในสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้ผู้ที่ได้รับเสียงเกิดความรำคาญ ทั้งนี้อาจก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงได้ (Noise Pollution) และตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้กำหนดเสียงรบกวนไว้ที่ 10 dBA ซึ่งหมายความว่า หากระดับความแตกต่างของระดับเสียงขณะมีการรบกวน การคำนวณค่าระดับเสียงพื้นฐานมีค่ามากกว่า 10 dBA แล้วให้ถือว่าเป็นเสียงรบกวน

2.6.3 ระดับเสียงพื้นฐาน (Background Noise Level)

ระดับเสียงที่ตรวจวัดในสิ่งแวดล้อมเดิมขณะไม่มีเสียงรบกวน จากแหล่งกำเนิดเสียง (L_{90})

2.6.4 ระดับเสียงขณะมีการรบกวน (Specific Noise Level)

ระดับเสียงที่ตรวจวัดหรือคำนวณจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน

2.6.5 ระดับเสียงรบกวน

ระดับความต่างเสียงขณะมีการรบกวน กับระดับเสียงพื้นฐาน

2.6.6 เสียงกระแทก

เสียงที่มีระดับสูง ซึ่งเกิดขึ้นทันทีทันใดและสิ้นสุดภายในเวลาน้อยกว่า 1 s

2.6.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัด

1. ชุดตรวจวัดระดับเสียง

- เครื่องวัดระดับเสียง
- ไมโครโฟน
- สายสัญญาณ
- อุปกรณ์ป้องกันลม
- อุปกรณ์เปรียบเทียบและการอ่านค่าระดับเสียง
- แบตเตอรี่ที่ใช้งาน
- ขาดัง

2. เครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐาน

3. เครื่องบันทึกข้อมูล

4. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมเรียก - รับข้อมูลจากเครื่องรับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8 ขั้นตอนและวิธีการตรวจวัด

2.6.8.1 การตรวจวัดระดับเสียง

การตั้งไมโครโฟนและมาตรฐานระดับเสียง จะต้องตั้งในบริเวณที่ถูกรบกวนหรือคาดว่า จะได้รับการรบกวน ซึ่งในการตั้งไมโครโฟน แบ่งออกตามลักษณะที่จะตั้งได้ 2 กรณี ดังนี้

- ภายนอกอาคาร ให้ตั้งสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร ในรัศมี 3.5 เมตร ตามแนว ระนาบรอบไมโครโฟนจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางหรือสิ่งอื่นที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนขวางอยู่

- ภายในอาคาร ให้ตั้งสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร ในรัศมี 1 เมตร ตามแนว ระนาบรอบไมโครโฟนจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางหรือสิ่งอื่นที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนขวางอยู่

ก่อนการตรวจวัดระดับเสียงทุกชนิด ให้ปรับมาตรฐานระดับเสียงไว้ที่วงจรถ่วงน้ำหนัก A (Weighting Network) และที่ลักษณะความไวตอบรับเสียง Fast (Dynamic Characteristics)

2.6.8.2 การตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน (Background Noise Level)

ให้ตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐานเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 นาที ขณะไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิด ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง และสามารถใช้เป็นตัวแทนของระดับเสียงพื้นฐานที่นั้น ๆ แบ่งได้ 2 กรณี คือ

- เสียงจากแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ให้ตรวจวัดระดับเสียงจากบริเวณอื่นที่ไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิด และ ต้องมีสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกับที่ประชาชนร้องเรียน หรือคาดว่าจะได้รับการรบกวนมากที่สุด โดยจะต้องบันทึกรายละเอียดเกี่ยวกับสภาพบริเวณที่ทำการตรวจวัด

- เสียงจากแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นไม่ต่อเนื่องให้ตรวจวัดทันทีก่อนหรือหลังที่มีเสียง จากแหล่งกำเนิดเกิดขึ้น

2.6.8.3 การตรวจวัดระดับเสียงขณะมีการรบกวน (Specific Noise Level)

การตรวจวัดเสียงขณะมีการรบกวนนี้ สามารถแบ่งได้ 4 กรณี ดังนี้

1. เสียงจากแหล่งกำเนิด เกิดขึ้นต่อเนื่องนานกว่า 1 ชั่วโมง
2. ภายใน 1 ชั่วโมง มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเกิดขึ้นมากกว่า 1 ช่วง
3. ภายใน 1 ชั่วโมง มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเกิดขึ้นเพียง 1 ช่วง
4. เสียงจากแหล่งกำเนิดเกิดขึ้นในพื้นที่เงียบสงบ หรือเกิดในเวลากลางคืน (22.00-

06.00น.)

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$L_{Aeq,Tm} = 10 \log \left\{ \left[\frac{1}{Tm} \right] \sum T_i 10^{0.1 L_{Aeq,Ti}} \right\} \quad (2.53)$$

เมื่อ $L_{Aeq,Tm}$ = ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้จากแหล่งกำเนิดเสียงในช่วงเวลาที่เกิดการรบกวน, dBA

T_m = ระยะเวลาที่ตรวจวัดระดับเสียง จากแหล่งกำเนิดเสียง / $\sum T_i$, นาที

T_i = ระยะเวลาของช่วงที่เกิดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ $i = 1, 2, \dots, n$, นาที

$L_{Aeq,Ti}$ = ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้จากแหล่งกำเนิดเสียงในช่วงเวลาที่เกิดการรบกวน ที่ช่วงเวลา T_i , dBA

$$L_{Aeq,Ti} = L_{Aeq,Tm} + 10 \log \left[\frac{T_m}{60} \right]$$

(2.54)

เมื่อ $L_{Aeq,Ti}$ = ระดับเสียงเฉลี่ยเทียบเท่า 1 ชั่วโมง, dBA

$L_{Aeq,Tm}$ = ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้จากแหล่งกำเนิดเสียงในช่วงเวลาที่เกิดการรบกวน, dBA

T_m = ระยะเวลาที่ตรวจวัดระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง, นาที

60 = ระยะเวลาอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 60 นาที/1 ชั่วโมง

2.6.9 การปรับค่าระดับเสียงขณะมีการรบกวน

หากแหล่งกำเนิดเสียงนั้นเกิดเสียงกระแทกขึ้น จะต่อเนื่องหรือไม่ก็ตาม ให้นำค่าระดับเสียงที่ตรวจวัดได้จากข้อ 3.1, 3.4 และค่าที่คำนวณได้จากข้อ 3.2, 3.3 บวกเพิ่มอีก 5 dBA เป็นเสียงขณะมีการรบกวน

การคำนวณหาค่าระดับเสียงรบกวน

ค่าระดับการรบกวน = ค่าระดับเสียงขณะมีการรบกวน - ค่าระดับเสียงพื้นฐาน

(2.55)

- ค่าระดับเสียงรบกวน = 10 dBA

2.6.10 การประเมินผล

ค่าระดับเสียงรบกวนเกินกว่า 10 dBA ให้ถือว่าระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นเสียงรบกวน

ค่าระดับเสียงรบกวนน้อยกว่า 10 dBA หรือมีค่าติดลบ ให้ถือว่าเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงไม่เป็นเสียงรบกวน

2.7 ไมโครโฟน (Microphone)

ไมโครโฟน (microphones) เป็นอุปกรณ์ช่วยในการรับเสียงและเปลี่ยนพลังงานเสียงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยแผ่นรับเสียงที่เรียกว่า ไดอะแฟรม (diaphragm) ซึ่งจะรับและถ่ายทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

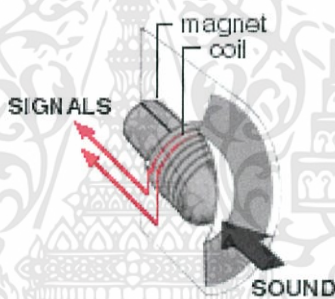
แรงสั่นสะเทือนที่มาจากเสียงเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าอ่อนๆ แล้วถึงจะส่งต่อไปยังไมค์พรีแอมป์ (mic pre-amp) เพื่อขยายสัญญาณให้แรงพอที่จะส่งต่อไปยังเครื่องขยายเสียง

นี่เป็นหลักการเบื้องต้นของการทำงานของไมโครโฟน ซึ่งไมโครโฟน มีมากมายหลายชนิดด้วยกันในปัจจุบัน ทั้งแบบไม่ใช้ไฟฟ้า รวมถึงขอบข่ายความกว้างในการรับสัญญาณเสียงของไมโครโฟน อีกด้วย

2.7.1 ชนิดของไมโครโฟน (Microphones Types)

2.7.1.1 ไดนามิก หรือ มูฟวี่งคอยล์ (Dynamic or Moving Coil Microphones)

หลักการการทำงานของไดนามิกไมค์ทำงานโดยให้แผ่นไดอะแฟรม (diaphragm) ซึ่งจะมีขดลวดพันยึดติดอยู่รอบๆ เคลื่อนที่ไปมาระหว่างแม่เหล็กถาวร (fixed magnet) การเคลื่อนที่ที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนของเสียง ซึ่งทำให้ไดอะแฟรมสั่นสะเทือนทำให้ขดลวดที่ยึดติดอยู่เคลื่อนที่ไปด้วย ซึ่งทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับแม่เหล็กจึงสร้างกระแสไฟอ่อนๆ ขึ้นมา ซึ่งเรียกหลักการทำงานแบบนี้ว่า มูฟวี่งคอยล์ (moving coil) หรือในอีกชื่อว่า ไดนามิกไมค์ (Dynamic microphone)



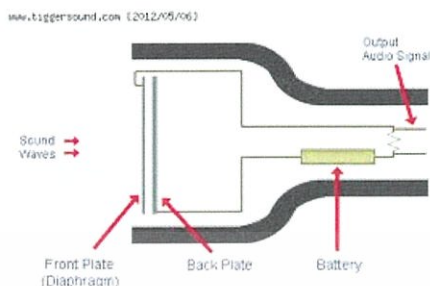
รูปที่ 2.15 ลักษณะภายในของไมโครโฟนไดนามิก หรือ มูฟวี่งคอยล์

ไดนามิกไมค์ (Dynamic microphone) เป็นไมค์ที่ถูกคิดค้นมานานและยังใช้ได้ดีจนในปัจจุบัน เนื่องจากความทนทานในการใช้งาน ทนต่อการตกหรือกระแทกได้โดยไม่เสียหายและยังทนต่อเกิดการกระชาก (transient) ของเสียงได้ดี เช่น เสียงร้องที่ดังขึ้นมาในช่วงที่นักร้องแผดเสียงสูงสุดหรือในขณะที่จับเสียงเครื่องดนตรีที่ให้ความดังของเสียงอย่างมากเช่นเสียงกลองหรือเสียงจากตู้แอมป์กีตาร์

2.7.1.2 คอนเดนเซอร์ไมค์ (Condenser microphones)

หลักการการทำงานของคอนเดนเซอร์ไมค์ใช้ไดอะแฟรม (diaphragm) เป็นตัวรับเสียงเหมือนเดิม ซึ่งมักทำจากแผ่นพลาสติกเคลือบทองยึดติดอยู่เหนือ black plate (ทำจากเซรามิกเคลือบทอง) ซึ่งทำให้มีช่องว่างเล็กๆ เพื่อการเคลื่อนตัวไปมา ซึ่งการเคลื่อนตัวที่ว่านี้จะทำให้แผ่นไดอะแฟรม (diaphragm) เคลื่อนที่เข้าหา black plate แตะกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปมาได้

ด้วยไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิดที่เรียกว่าแฟนทอม (phantom) โดยผ่านตัวเก็บประจุ (capacitor) ซึ่งจะมีขั้วบวกและลบอยู่ โดยขั้วบวกและลบจะถูกต่อไว้ที่ไดอะแฟรม (diaphragm) คนละแผ่น



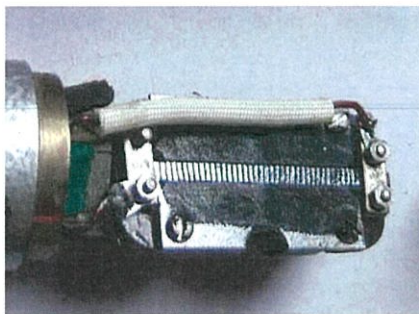
รูปที่ 2.16 ลักษณะภายในของไมโครโฟนคอนเดนเซอร์

ดังนั้นทุกครั้งที่ไดอะแฟรม (diaphragm) เคลื่อนที่เข้าหากันประจุไฟฟ้าก็ จะถูกเหนี่ยวนำและมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงของเสียงที่มากระทบ ไดอะแฟรม (diaphragm) นั้นเอง หากแรงมากไดอะแฟรม (diaphragm) ก็แตกกันนานขึ้นกระแสไฟฟ้าก็ไหลได้มากขึ้นตรงข้ามหากแตกกันเร็วก็ไหลได้น้อยลง ผลของการไหลนี้เองจะถูกส่งผ่านไปยังปรีแอมป์ (pre-amp) เพื่อขยายให้แรงพอที่จะป้อนเข้าสู่ میکเซอร์

เนื่องจากคอนเดนเซอร์ไมค์ใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยและต้องใช้ไฟ มาเลี้ยงซึ่งมีตั้งแต่ 1.5 ไปจนถึง 48 โวลต์ (volts) ดังนั้นความไวต่อการรับเสียงจึงสูงมากและสามารถ ตอบสนองต่อเสียงได้ราบรื่นตลอดย่านความถี่อีกด้วย จึงเหมาะมากสำหรับการบันทึกสัญญาณต่างๆ เช่น เสียงร้อง เครื่องดนตรีแบบอะคูสติคหรือจับสัญญาณเสียงที่ไม่ดังมากแต่ไม่เหมาะกับการบันทึก สัญญาณที่แรงมาก เช่น เสียงจากตู้แอมป์กีตาร์ ซึ่งอาจทำความเสียหายต่อไดอะแฟรม (diaphragm) ได้ ง่าย

2.7.1.3 ริบบอนไมค์ (Ribbons Microphones)

หลักการการทำงานของริบบอนไมค์ เป็นไมค์ที่มีความเปราะบางมากที่สุดในบรรดา ไมค์ทุกชนิดและเป็นไมค์ที่มี กำเนิดมานานที่เดียวจัดเป็น ไดนามิกไมค์ (dynamic microphones) อีก ชนิดหนึ่งจะต่างกันตรงที่ไดอะแฟรม (diaphragm) ที่ใช้แผ่นริบบอนบางๆ เป็นไดอะแฟรม (diaphragm) แทนและแผ่นริบบอนจะถูกล้อมรอบด้วยแม่เหล็กถาวรและไม่ต้องการไฟมาเลี้ยง



รูปที่ 2.17 ลักษณะภายในของริบบอนไมค์

ลักษณะเสียงที่ได้จากริบบอนไมค์นั้น จะให้เสียงที่หวานกังวานโดยเฉพาะ ปลายเสียงหากวางไมค์แบบริบบอนนี้ไว้ห่างจากเครื่องดนตรี เสียงที่ได้จะมีความบาง แต่จะให้เสียงได้ดีเมื่อวางแบบใกล้ และยังให้เสียงที่ดีมากกับการจับเสียงกลองโดยเฉพาะเสียงสแนร์

2.7.1.4 พีซีเอ็ม (PZMs)

หลักการการทำงานของพีซีเอ็ม (PZMs) PZM ย่อมาจาก pressure zone microphones ซึ่งจัดเป็นไมโครโฟน ที่มีลักษณะที่แตกต่างจากไมค์ทั่วๆ ไปอย่างสิ้นเชิง ลักษณะของมันจะเหมือนกับแผ่นเหล็กเรียบๆ โดยมีวัสดุทรงแปลกตั้งอยู่พร้อมกับสาย มีหลายบริษัทที่ผลิตออกมาจำหน่ายอย่างเช่น Crown Radio ,Shack ,Shure ,Beyer เป็นต้น



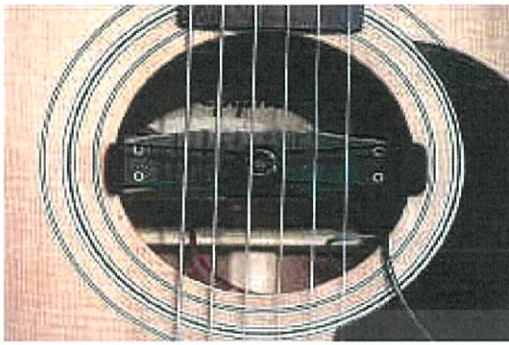
รูปที่ 2.18 ลักษณะของพีซีเอ็ม (PZMs)

พีซีเอ็ม (PZM) สามารถวางได้ทั่วทุกตำแหน่งไม่ว่าจะเป็นผนัง เพดาน พื้นห้อง เป็นต้น มักจะเก็บเกี่ยวเสียงทั่วทั้งห้องไม่เน้นจุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งจากการรับเสียงแบบนี้มันจึงเหมาะสมสำหรับการเก็บเสียงวงดนตรีทั้งวง หรือ หากมีห้องที่มีการสะท้อนเสียงดีๆ มันก็จะให้โทนเสียงที่สมดุลออกมาหากเราวางและหาดำแหน่งดีๆ ซึ่งมิติที่ออกมาน่าแปลกใจมากเพราะมันจะให้ชั้นของความถี่ลึกได้เป็นอย่างดีทีเดียว รัศมีในการรับจะเป็นแบบ ออมนิไดเร็กชันนอล (omnidirectional) ซึ่งจะมีความไวมากจนสามารถเก็บเสียงพูดเบาๆ ได้

2.7.1.5 คอนแทคไมค์ (Contact Microphones)

หลักการการทำงานของคอนแทคไมค์การทำงานจะต่างจากไมค์โดยสิ้นเชิงก็คือไม่มีไดอะแฟรมและรับสัญญาณจากการสั่นสะเทือน จากการนำไปติดที่แหล่งกำเนิดสัญญาณ ซึ่งจะเปลี่ยนการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปขยายยังปรีแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ลักษณะของคอนแทคไมค์

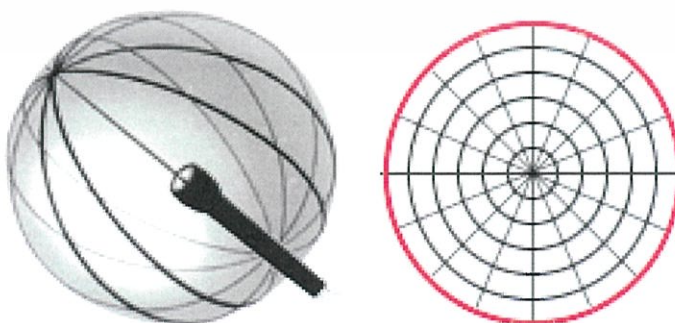
ข้อดีคือมันจะไม่รับเสียงจากข้างเคียง และไม่ทำให้เกิดอาการฟีดแบค (feedBack) ใดๆ สามารถไปติดตั้ง ตำแหน่งใดๆ ที่ตัวเครื่องดนตรี เช่น กีตาร์โปร่ง กลอง เปียโน เป็นต้น ส่วนโทนเสียงที่ให้ออกมาจะต่างจากไมค์ ซึ่งจะให้โทนเสียงที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์นิดหน่อย

2.7.2 รัศมีการรับของไมค์ (Microphones Patterns)

การรับสัญญาณของไมค์นั้นมีหลายชนิดด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของไดอะแฟรม (diaphragm) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดรัศมีการรับเสียง ในไมค์บางชนิดสามารถเลือกลักษณะรัศมีการรับเสียงได้อีกด้วย รัศมีการรับเสียงแบบต่างๆ ของไมค์นั้นมีผลต่อการวางไมค์และการรับเสียงเป็นอย่างมาก ดังนั้นการเลือกใช้เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของห้องและเครื่องดนตรีในขณะการบันทึก จึงเป็นสิ่งที่จะต้องเป็นและมีผลต่อคุณภาพของเสียงอีกด้วย

2.7.2.1 ออมนิไดเร็กชันนอล (Omnidirectional)

ในไมค์ที่เป็นแบบคอนเดนเซอร์จะมีรัศมีการรับแบบอมนิไดเร็กชันนอล (Omnidirectional) รัศมีการรับเสียงเป็นแบบ โดยรอบทิศทางหรือ 360 องศา ไม่ว่าจะอยู่จุดไหนก็ตามในบริเวณหรือห้องนั้นๆ ก็สามารถรับได้เท่าเทียมกัน และเนื่องจากการที่รัศมีการรับครอบคลุมไปหมด จึงเหมาะสมสำหรับการวางไมค์ในลักษณะเก็บเสียงบรรยากาศของห้อง (ambience)



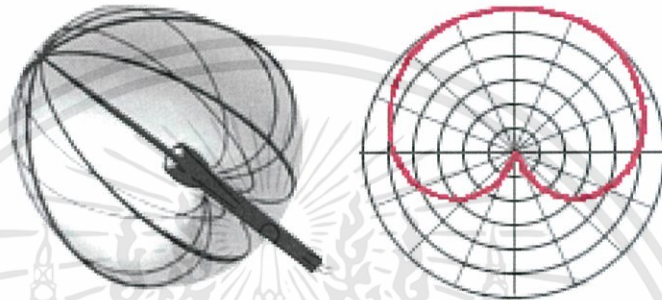
รูปที่ 2.20 ลักษณะรัศมีการรับแบบอมนิไดเร็กชันนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 คาร์ไดโอด (Cardioid)

รัศมีในการรับจะเป็นแบบรับเสียงที่มาจากด้านหน้าเป็นส่วนใหญ่ ส่วนเสียงที่มาจากด้านหลังจะรับไม่ได้ดี ดังนั้นรัศมีการรับเสียงจะเป็นลักษณะแบบรูปหัวใจ ซึ่งคาร์ไดโอด (Cardioid) จัดเป็นรัศมีการรับที่นิยมที่ใช้มากที่สุด

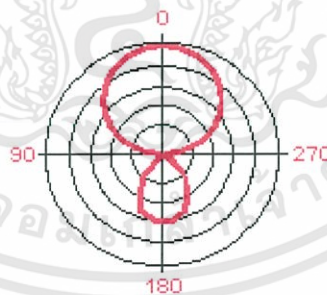
นิยมใช้รัศมีการรับแบบคาร์ไดโอด (Cardioid) นี้ในการวางไมค์แบบใกล้ ซึ่งให้เสียงที่คมชัดเจนและขจัดเสียงรบกวนที่มาจากด้านหลัง จึงทำให้เกิดเสียงออกไปมากกว่า 1 ฟุตเสียงที่ได้จะบางลง



รูปที่ 2.21 ลักษณะรัศมีไมค์แบบคาร์ไดโอด

2.7.2.3 ไฮเปอร์คาร์ไดโอด (Hypercardioid)

รัศมีการรับจะคล้ายๆ กับคาร์ไดโอด (Cardioid) [เพียงแต่ว่ารัศมีการรับจะ] แคบกว่า การรับแบบนี้เหมาะสำหรับงานแสดงสด โดยเฉพาะเครื่องดนตรีที่เป็นอะคูสติคมากๆ เช่น วงออเครสตา เนื่องจากมันทนต่อการเกิดอาการฟีดแบ็ค (feedBack) ได้ดี

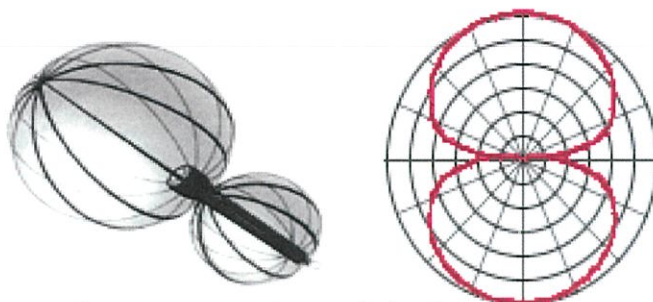


รูปที่ 2.22 ลักษณะรัศมีไมค์แบบไฮเปอร์คาร์ไดโอด

2.7.2.4 ไบไดเรกชันนอล (Bidirectional)

รัศมีการรับจะรับจากทางด้านหน้าหรือด้านหลัง โดยการวางไดอะแฟรมนั้นจะวางด้านหน้าหรือด้านหลังของไมค์ แนวการใช้งานนั้นสามารถใช้กับการร้องของนักร้องสองคน โดยแต่ละคนร้องในแต่ละด้านของไมค์หรือการอัดเสียงเครื่องดนตรี โดยด้านหนึ่งรับเสียงจากเครื่องดนตรี และอีกด้านหนึ่งจับบรรยากาศ (ambient) ของห้อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ลักษณะรัศมีไมค์แบบไบไดเรกชันนอล

2.7.2.5 ซ็อตกัน (Shot Gun)

รัศมีในการรับเป็นแบบเฉพาะจุดในทิศทางที่ไมค์ชี้ไปหาต้นเสียง จึงเหมาะสำหรับงานของนักข่าว หรือ ใช้งานกับการบันทึกเสียงสัตว์ในป่า หรือ การแสดงละครร้องหรือบทพูดบนเวที เป็นต้น



รูปที่ 2.24 ลักษณะรัศมีไมค์แบบซ็อตกัน

2.7.2.6 สเตอริโอไมค์ (Stereo Microphones)

หรือในอีกชื่อหนึ่งว่ามิดไซด์ไมค์ (mid-side-microphones) โดยการรวมไมค์สองแบบเข้าด้วยกันคือไมค์ที่มีรัศมีแบบคาร์ไดโอด (cardiod) และไบไดเรกชันนอล (bidirectional) ซึ่งคาร์ไดโอด (cardiod) จะอยู่ด้านบนทำหน้าที่รับเสียงที่มาจากด้านหน้าโดยตรง ส่วนไบไดเรกชันนอล (bidirectional) จะทำหน้าที่รับเสียงที่มาจากทั้งสองด้านของไมค์ ซึ่งจะรับเสียงที่เป็นบรรยากาศและเสียงที่สะท้อนของต้นกำเนิดเสียง

2.7.3 ลักษณะและการใช้งานของไมโครโฟน

ไมค์เป็นอุปกรณ์เพียงประเภทเดียว ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่เสียงเป็นไฟฟ้า ดังนั้นเสียงจะดี หรือมีคุณภาพก็ขึ้นอยู่กับไมค์ ในปัจจุบันมีการพัฒนาให้ไมค์สามารถ รับเสียงในความถี่ต่างๆ ได้มากขึ้นและการใช้งานก็แตกต่างกันออกไป ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.1 ไทคลิป (Tie – Clip microphones)

ส่วนใหญ่นิยมใช้กับงานพิธีกร งานแสดง ดังที่เราเห็นในทีวีซึ่งมีลักษณะเหมือนที่หนีบเนคไท ขนาดเล็กสามารถซ่อนได้ มีความไวสูง และเป็นไมค์แบบคอนเดนเซอร์ซึ่งต้องใช้ไฟมาเลี้ยงจากภายนอกในบางรุ่นสามารถใส่ถ่านลงไปได้เลย และรัศมีการรับจะเป็นแบบคาร์ไดออยด์ (cardioid) เป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 2.25 ลักษณะของไทคลิปไมโครโฟน

2.7.3.2 ไบนารอลไมค์ (Binaural Microphones)

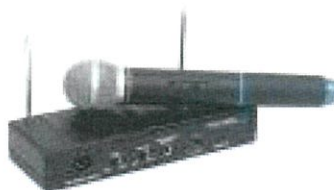
จะใช้กับห้องเสียงเป็นส่วนใหญ่คือ จะถูกติดตั้งไว้ในหูคนที่ติดตั้งแต่หัวจนถึงคอ เรียกว่าคัมมี่ (dummy) ซึ่งไมค์จะถูกซ่อนไว้ในหูของหูทั้งสองข้าง มันจึงให้ลักษณะเสียงเหมือนกับการได้ยินของคนเรา ส่วนมากมักใช้ทดสอบอุปกรณ์ทางด้านเสียงและก็มีใช้สำหรับบันทึกเสียงจากวงออเคสตราด้วย



รูปที่ 2.26 ลักษณะของไบนารอลไมค์

2.7.3.3 ไมค์ไร้สาย Wireless Mic

เป็นไมค์ทำงานเหมือน เครื่องส่งและรับวิทยุ โดยสัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า และจะถูกผสมกับคลื่นพาห์ ก่อนจะส่งไปยังเครื่องรับ ซึ่งจะเปลี่ยนคลื่นวิทยุเป็นสัญญาณไฟฟ้า ก่อนจะไปยังอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 2.27 ลักษณะของไมค์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 แรงกระชาก (transient) ของไมค์

การที่ไมค์แบบไดนามิกสามารถทนต่อแรงกระชาก (transient) ของสัญญาณได้ดีนั้น เนื่องจากว่าไดอะแฟรม (diaphragm) มีการเคลื่อนตัวหรือยับไปมาที่ช้านั่นเอง การเคลื่อนที่ ช้าให้ทั้งผลที่ดี อย่างที่กล่าวมา ส่วนผลเสียนั้นก็คือทำให้ความไวหรือรัศมีในการรับเสียงไม่ดีพอจึงจะเป็นต้องพูด หรือจ่อไมค์ใกล้ๆ แหล่งกำเนิดเสียงจึงจะให้โทนเสียงที่เต็มและยังตอบสนองต่อความถี่ได้ไม่เต็มย่านโดยเฉพาะย่านความถี่สูง

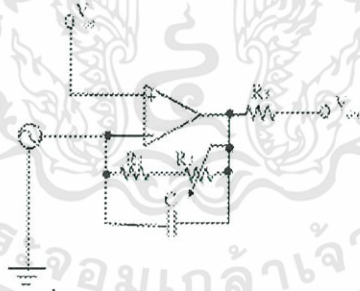
ในปัจจุบันมีการพัฒนาให้ไมค์แบบไดนามิกสามารถตอบสนองต่อความถี่ได้กว้างมากขึ้นและไวต่อการรับสัญญาณได้ดีขึ้น

2.7.5 อิมพีแดนซ์ (Impedance)

อิมพีแดนซ์ (impedance) มีส่วนในการแยกลักษณะของ ไมค์ซึ่งจะใช้ตัว Z เป็นสัญลักษณ์ ไมโครโฟน จะมีอิมพีแดนซ์ (impedance) อยู่สองลักษณะคือ high impedance (unbalance) และ low impedance (balance) ซึ่งไมค์ที่จัดเป็นแบบ high-z มีค่าที่ 2000 ohms เรียกว่าอิมบาลานซ์ไมค์ (unbalance mic) ส่วนไมค์ที่มีค่า low-z มีค่าอยู่ที่ 600 ohms เรียกว่าบาลานซ์ไมค์ (balance mic)

2.8 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 วงจรขยายผลต่าง



รูปที่ 2.28 วงจรขยายแบบผลต่าง

วงจรถ่ายนี้เป็นวงจรที่สมบูรณ์ของวงจรถ่ายสัญญาณผลบวก โดยที่สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับผลต่างของสัญญาณอินพุต V_1 และ V_2 ที่เข้ามา ซึ่งจะเขียนแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ใช้ดังนี้ หากค่าแรงดันอินพุต V'_{out} จากขั้วอินเวอร์ตติ้ง (-) ได้คือ

$$V'_{out} = A_{v1}V_1 = -\frac{R_f}{R_1}V_1 \quad (3.1)$$

หากค่าแรงดันอินพุต V''_{out} จากขั้วอินเวอร์ตติ้ง (+) ได้คือ

$$V''_{out} = A_{v2}V_2 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)V_2 \quad (3.2)$$

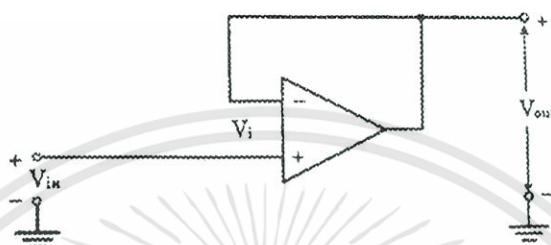
หาค่าค่าแรงดันอินพุต V_{out} คือ

$$V_{out} = V'_{out} + V''_{out} \quad (3.3)$$

นำสมการที่ (3.1) และ (3.2) แทนลงในสมการที่ (3.3) หาค่า V_{out} คือ

$$V_{out} = (1 + \frac{R_f}{R_1})V_2 - \frac{R_f}{R_1}V_1 \quad (3.4)$$

2.8.2 วงจรขยายแรงดันติดตาม



รูปที่ 2.29 วงจรขยายแรงดันติดตาม

วงจรมีเป็นการประยุกต์ด้วยการนำเอาโอปแอมป์มาต่อเป็นบัฟเฟอร์เพื่อใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างสองวงจรที่ต่อเชื่อมกัน โดยวงจรมีจะให้อัตราขยายสัญญาณเท่ากับหนึ่งและค่าความต้านทานอินพุตสูงมากส่วนค่าความต้านทานเอาต์พุตต่ำมาก ดังนั้นเมื่อนำวงจรมีไปต่อกับวงจรอื่นจะไม่ทำให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรอื่นลดลงและค่าแรงดันเอาต์พุตของตัวโอปแอมป์ก็ไม่ลดลงอีกเช่นกัน ดังนั้นจะหาค่าแรงดันเอาต์พุตได้ดังนี้

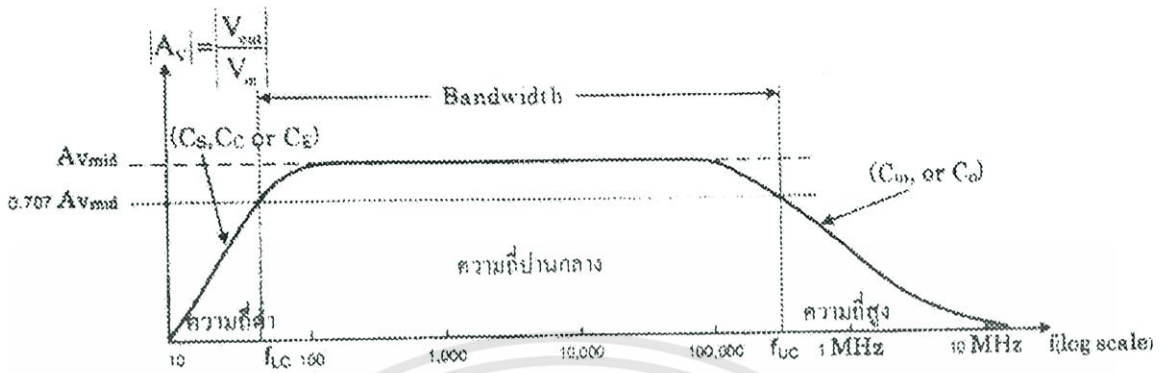
$$V_i = V_{in} - V_{out} = 0 \quad (2.63)$$

$$V_{out} = V_{in} \quad (2.64)$$

2.9 การตอบสนองความถี่ (Frequency Response)

ในการพิจารณาการขยายของโพลาร์ทรานซิสเตอร์ไม่ว่าจะเป็นวงจรร่วมอิมิตเตอร์ วงจรร่วมเบส วงจรร่วมคอลเลกเตอร์นั้น การเชื่อมต่อแบบ RC จะเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด และจะพบว่าค่าอัตราขยายสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่หรือผลการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายโดยที่วงจรขยายจะมีตัวต้านทานทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟกระแสสลับ ส่วนตัวเก็บประจุทำหน้าที่เชื่อมต่อและลัดผ่านสัญญาณ ดังนั้นผลการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายจะแบ่งช่วงของแถบความถี่ได้ 3 ช่วง คือ ช่วงความถี่ต่ำ ช่วงความถี่กลาง (midband) และช่วงความถี่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.26 เมื่อสัญญาณอินพุตคงที่จะเห็นว่าในช่วงความถี่กลางหรือช่วงความถี่ระหว่าง f_{LC} และ f_{HC} นั้นวงจรขยายที่มีการเชื่อมต่อแบบ RC จะทำงานตามปกติและให้ผลของอัตราขยายคงที่ซึ่งจะเรียกช่วงความถี่นี้ว่า “แถบความถี่ผ่าน (passband)” แต่จะมีการลดหรือเพิ่มความถี่จน

ถึงจุดที่อัตราขยายลดลงไปเท่ากับ $0.707A_{v\text{mid}}$ จะเรียกความถี่ที่จุดนี้ว่า “ความถี่คัทออฟ(cutoff frequency)”



รูปที่ 2.30 แถบความถี่ผ่านวงจรขยาย

ในการวิเคราะห์ผลการตอบสนองความถี่ต่ำและสูงของวงจรขยายร่วมทั้งสามวงจร จะมีหลักการพิจารณาตำแหน่งของตัวเก็บประจุในวงจรขยาย กล่าวคือในการพิจารณาของผลการตอบสนองความถี่ต่ำ f_{LC} ของวงจรขยาย จะเป็นการพิจารณาตัวเก็บประจุที่ใช้เชื่อมต่อ (Clipping) คือ C_E กับ C_C และตัวเก็บประจุที่ต่อสัดผ่านที่ขั้วอิมิตเตอร์ (by pass capacitors) คือ C_E ในทำนองเดียวกัน การพิจารณาผลการตอบสนองความถี่สูง f_{uc} ของวงจรจะเป็นตัวเก็บประจุที่เกิดภายในวงจรและจะพิจารณาได้จากโมเดลวงจรเทียบเท่าซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนที่หนึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าหรือรอยต่อ (interelectrode capacitances) จะเกิดระหว่างขั้วของคอลเลคเตอร์กับขั้วเบส C_{C-E} ขั้วเบสกับอิมิตเตอร์ C_{E-E} และขั้วคอลเลคเตอร์กับเบส C_{C-B} ส่วนที่สองเป็นตัวเก็บประจุที่เกิดจากการเดินสายไฟ (wiring capacities) หรือสเตรย์คาปาซิแตนซ์ (stray capacities) มีทั้งส่วนอินพุต C_{wi} และส่วนเอาต์พุต C_{wo} และส่วนที่สามเก็บประจุที่เกิดจากการเชื่อมระหว่างอินพุตและเอาต์พุตหรือเรียกว่ามิลเลอร์คาปาซิแตนซ์ C_{M} (miller capacitance) อย่างไรก็ตามการพิจารณาผลการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายร่วมทั้งสามวงจรจะมีหลักการของเบล (Bels) และเดซิเบล (Decibels, dB) ความถี่ต่ำคัทออฟ (Low frequency or lower cut off, f_{LC}) การตอบสนองความถี่สูง (High frequency or upper cut off, f_{uc}) และการวิเคราะห์กราฟของการตอบสนองความถี่ด้วยวิธีการ Bode-Plot (The frequency response Bode-Plots)

2.9.1 เบลและเดซิเบล

สำหรับการคำนวณหาอัตราขยายแรงดันกระแสและกำลัง ถ้านำมาคำนวณให้อยู่ในทอมของหน่วยเบลและเดซิเบล ได้ดังนี้
ตัวอย่างสำหรับอัตราขยายกำลังคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_P = \frac{P_0}{P_{in}} \quad (2.65)$$

และการเขียนสมการในหน่วยของเบล คือ

$$A_P|_{\text{bels}} = \log \frac{P_0}{P_{in}} = \log A_P \quad \text{bels} \quad (2.66)$$

และการเขียนสมการในหน่วยของเดซิเบล คือ

$$A_P|_{\text{dB}} = \log A_P \quad \text{dB} \quad (2.67)$$

$$\text{ถ้า } P_0 = P_2 = I_2 V_2 = I_2^2 R_2 \quad \text{และ } P_{in} = P_1 = I_1 V_1 = I_1^2 R_1 \quad (2.68)$$

ดังนั้นจะเขียนสมการในรูปกระแสแรงดันในหน่วย dB ได้ดังนี้

$$A_P|_{\text{dB}} = \log \frac{P_0}{P_{in}} \quad (\text{เมื่อ } R_1 = R_2) \quad (2.69)$$

$$A_P|_{\text{dB}} = \log \frac{I_2^2}{I_1^2} = \log \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 \quad (2.70)$$

$$A_P|_{\text{dB}} = 2 \times 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1}\right) \quad (2.71)$$

$$A_V|_{\text{dB}} = 20 \log \left(\frac{I_2}{I_1}\right) \quad (2.72)$$

และในรูปของแรงดันคือ $A_V|_{\text{dB}} = 20 \log \frac{V_2}{V_1} \quad (2.73)$



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานในการทดลองระบบการวัดระดับเสียง เราจะทำการศึกษาระบบของความดังของเสียง การออกแบบระบบการวัด การทดสอบและวิธีการทดลองซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานจะมี 3 ขั้นตอน

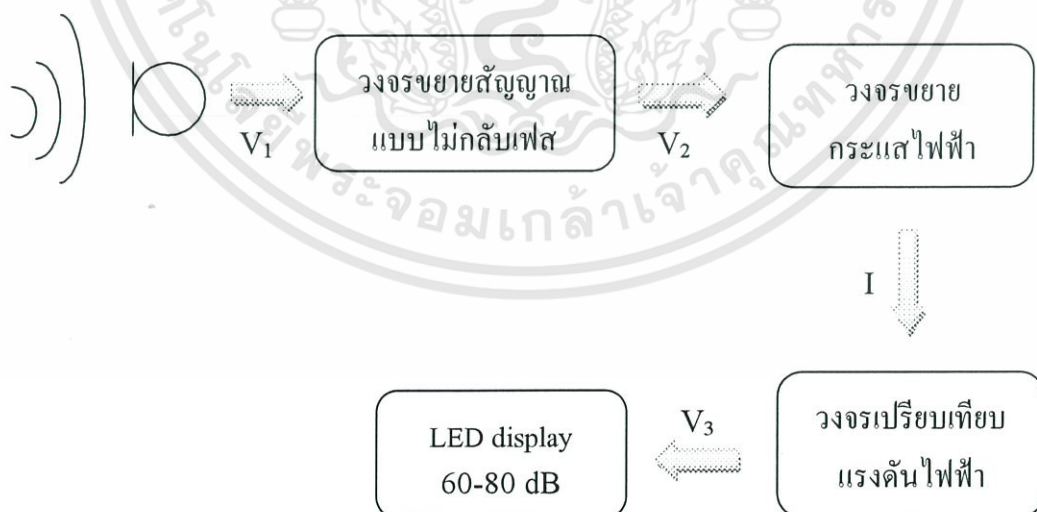
ขั้นตอนที่ 1 ระบบการวัดระดับเสียง

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบระบบการวัดระดับเสียง

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบและการวิเคราะห์ผลของระบบการวัดระดับเสียง

3.1 ระบบการวัดระดับเสียง

ระบบของการวัดระดับเสียงได้ใช้ไมโครโฟนในการวัดระดับเสียง ซึ่งต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรขยายกระแสไฟฟ้า เพื่อให้มีค่าสูงพอที่จะเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ โดยการวัดจะใช้การเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ เปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ระดับอ้างอิง เมื่อเราป้อนสัญญาณเสียงเข้าไปสู่ระบบ วงจรทั้งหมดจะทำงาน และทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียง ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบของ LED ทั้งหมด 10 ดวง จะแสดงผลตั้งแต่ 60-80 เดซิเบล จากนั้นเราจะทำการบันทึกค่าจำนวนของหลอดไฟ LED ที่มีการทำงาน (ไฟติด) สัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามาเป็นหน่วย เดซิเบล



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานการวัดระดับเสียง

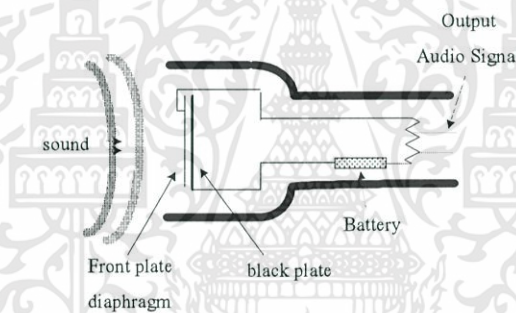
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบระบบการวัดระดับเสียง

การออกแบบระบบการวัดระดับเสียง ประกอบด้วย ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ เครื่องวัดเสียง ในรูปแบบเดซิเบล สัญญาณเสียงที่มีระดับเสียงแตกต่างกันเพื่อนำไปป้อนให้กับวงจร รายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 ไมโครโฟน

ไมโครโฟนที่จะใช้ในการออกแบบ จะใช้ คอนเดนเซอร์ไมค์ เป็นตัวรับ สัญญาณเสียงคอนเดนเซอร์ไมค์ จะใช้หลักการของ ไดอะแฟรม (diaphragm) เป็นตัวรับ เสียง ซึ่งมักทำจากแผ่นพลาสติกเคลือบทองยึดติดอยู่บนผิว black plate (ทำจากเซรามิกเคลือบทอง) ซึ่งทำให้มีช่องว่างเล็กๆ เพื่อการเคลื่อนตัวไปมา ซึ่งการเคลื่อนตัวที่วุ่นวายจะทำให้แผ่นไดอะแฟรม (diaphragm) เคลื่อนที่เข้าหา black plate และกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ ด้วยไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิดที่เรียกว่าแฟนทอม (phantom) โดยผ่านตัวเก็บประจุ (capacitor) ซึ่งจะมีขั้วบวกและลบอยู่ โดยขั้วบวกและลบจะถูกต่อไว้ที่ไดอะแฟรม (diaphragm) คนละแผ่น



รูปที่ 3.2 ลักษณะภายในของไมโครโฟนคอนเดนเซอร์

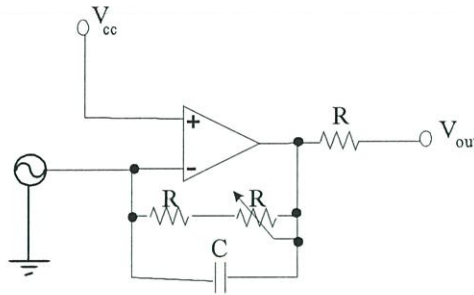
ดังนั้นทุกครั้งที่ไดอะแฟรม (diaphragm) เคลื่อนที่เข้าหากันประจุ ไฟฟ้าก็จะถูกเหนี่ยวนำและมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงของเสียงที่มากระทบไดอะแฟรม (diaphragm) นั่นเอง หากแรงมากไดอะแฟรม (diaphragm) ก็แตะกันนานขึ้นกระแสไฟฟ้าก็ไหลได้มากขึ้นตรงข้ามหากแตะกันเร็วก็ไหลได้น้อยลง ผลของการไหลนี้เองจะถูกส่งผ่านไปไปยังวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสต่อไป

Specification and character

Frequency Response	: 100-16000 Hz
Output Impedance	: 1K Ω for short distance, 2.3K Ω for long distance
Power Supply	: DC-1.5 V
Sendsibility	:-45dB for short distance,-38dB for long distance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรขยายผลต่าง



รูปที่ 3.3 วงจรขยายแบบผลต่าง

วงจรรขยายนี้เป็นวงจรที่สมบูรณ์ของวงจรรขยายสัญญาณผลบวก โดยที่สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับผลต่างของสัญญาณอินพุต V_1 และ V_2 ที่เข้ามา ซึ่งจะเขียนแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ใช้ดังนี้ หากค่าแรงดันอินพุต V'_{out} จากขั้วอินเวอร์ตติ้ง (-) ได้คือ

$$V'_{out} = A_{v1}V_1 = -\frac{R_f}{R_1}V_1 \quad (3.1)$$

หากค่าแรงดันอินพุต V''_{out} จากขั้วอินเวอร์ตติ้ง (+) ได้คือ

$$V''_{out} = A_{v2}V_2 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)V_2 \quad (3.2)$$

หากค่าแรงดันอินพุต V_{out} คือ

$$V_{out} = V'_{out} + V''_{out} \quad (3.3)$$

นำสมการที่ (3.1) และ (3.2) แทนลงในสมการที่ (3.3) หากค่า V_{out} คือ

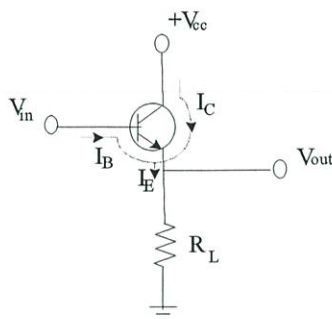
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)V_2 - \frac{R_f}{R_1}V_1 \quad (3.4)$$

3.2.3 วงจรขยายกระแส

วงจรรขยายกระแสจะใช้วงจรรขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ การขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ยังสามารถนำมาใช้เป็นวงจรแรงดันให้คงที่ (voltage regulator) ได้อีกด้วยโดยต่อวงจรดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจะได้แรงดันที่ขา E น้อยกว่าแรงดันที่ B ประมาณ 0.6 โวลต์ นั่นคือ

$$V_{out} = V_{in} - 0.6$$

จะเห็นว่าแม้ว่า R_L จะเปลี่ยนค่าไปเท่าไรก็ตาม V_{out} จะไม่เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ที่เป็นเช่นนี้ได้ ก็เพราะว่าเมื่อ R_L มีค่าน้อยลง I_B จะมีค่ามากขึ้น ผลก็คือ I_C จะมีค่ามากขึ้นจนทำให้ผลคูณของ I_C และ R_L (ได้เป็น V_{out}) มีค่าเท่าเดิมทำนองเดียวกัน ถ้า R_L มีค่ามากขึ้น I_C จะลดลงตามไปด้วยผลคูณของ I_C และ R_L ยังคงได้ผลเท่าเดิมเช่นกัน



รูปที่ 3.4 การใช้ทรานซิสเตอร์รักษาแรงดันให้คงที่ตามค่า V_{in}

จากหลักการในรูปที่ 3.4 จะได้แรงดัน V_{out} จะขึ้นอยู่กับ V_{in} โดยตรงและไม่ขึ้นกับ โหลด

(R_L) และจะเข้าผ่านเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบกับ
การคำนวณจะใช้สูตร ดังต่อไปนี้

$$V_{BB} = I_B + V_{BE(on)} + I_E R_L \quad (3.5)$$

$$V_{cc} = V_{CE} + V_E \quad (3.6)$$

$$h_{FE} = \beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (3.7)$$

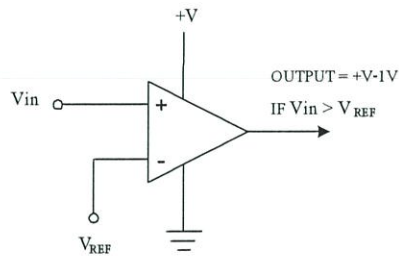
3.2.4 วงจรเปรียบเทียบ

วงจรเปรียบเทียบนี้จะใช้วงจร op-amp ในการเปรียบเทียบ จะมีการจ่ายไฟเลี้ยง +9V ให้กับ op-amp เมื่อมีสัญญาณ +0.1Vdc เข้ามาที่ขาอินพุตนอนอินเวอร์ทติ้ง op-amp จะพยายามขยายสัญญาณนั้น 100,000 เท่า ซึ่งควรจะมียอดพัลส์เป็นสัญญาณ +100V อย่างไรก็ตามเอาต์พุตสูงสุดที่ op-amp จะสามารถส่งออกไปได้จะมีค่าน้อยกว่าไฟเลี้ยงที่จ่ายให้ 1-2 V ดังนั้นเอาต์พุตจะออกมาประมาณ 7V เท่านั้น

ดังนั้นวงจรนี้จะมีการเปรียบเทียบสัญญาณที่เข้ามาทางขาอินพุตนอนอินเวอร์ทติ้งกับระดับสัญญาณอ้างอิง (V_{REF}) ซึ่งโดยมากมักใช้กราวด์ (0V) เป็นระดับการเปรียบเทียบ แต่กรณีวงจรนี้จะกำหนดค่าโดยใช้ ค่าความต้านทานในช่วงต่างๆ เป็นระดับการเปรียบเทียบ และให้เอาต์พุตเป็น High หรือ Low โดยขึ้นอยู่กับผลการเปรียบเทียบ โดยวงจรนี้จะเป็น High เมื่อเอาต์พุตออกมาประมาณ 7V นั้นจะทำให้แสดงผลที่ LED จึงจะทำให้ไฟติด รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณลักษณะของวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า V_{REF} ไม่จำเป็นต้องเป็นกราวด์เสมอไป

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงดันระดับสัญญาณอ้างอิง เป็นดังนี้

$$V_1 = \frac{R_2}{R_T} \times V_{cc} \quad \text{เมื่อ } R_T = \text{ผลรวมตั้งแต่ } R_1 - R_{10} \quad (3.8)$$



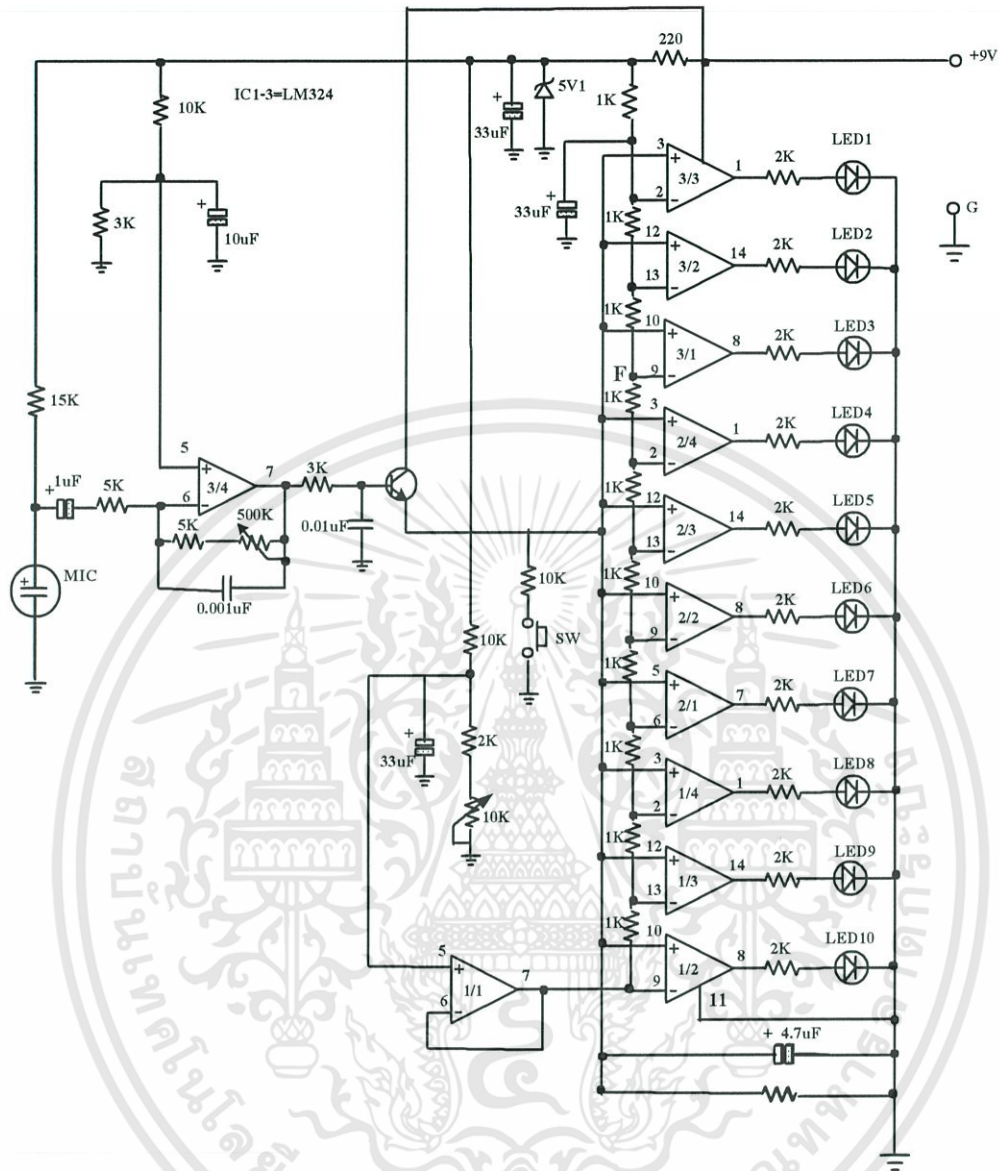
รูปที่ 3.5 วงจรเปรียบเทียบ

3.2.5 ชุดระบบการวัดระดับเสียง

ซึ่งจะประกอบด้วยเซนเซอร์ คือ ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ เนื่องจาก ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ ให้ความไวในการรับเสียงได้มากกว่าไมโครโฟนไดนามิกหลายเท่าตัว มีอิมพีแดนซ์ต่ำมาก ความถี่ตอบสนองได้ดีที่ความถี่ปานกลางขึ้นไป และทิศทางการรับ รอบทิศทาง เมื่อสัญญาณเสียง เข้าไปใน ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ สัญญาณเสียงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าตามวงจร สัญญาณนั้นจะเข้าสู่ Op-Amp ตัวแรก (IC3/4) ซึ่งเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส เพื่อขยายสัญญาณให้แรงขึ้น โดยมีตัวต้านทาน 500K ปรับค่าได้ เป็นตัวปรับอัตราขยายของสัญญาณที่ออกมาจากขา 7 ของ IC 3/4 เมื่อขยายสัญญาณแรงดันแล้ว ก็จะส่งออกไปไบอัสกับ ตัวทรานซิสเตอร์ C458 ให้ทำงาน เมื่อ ทรานซิสเตอร์ทำงาน แรงดันเข้าจากขา C จะออกไปที่ขา E และไปเข้าขาบวกของ IC 1/2 จนถึง IC 3/3 เพื่อทำการเปรียบเทียบ แรงดันมาจาก IC1/1 ซึ่งต่อวงจรในลักษณะของวงจรรีเฟอรั ถ้าแรงดันที่ขาบวกมากกว่าขาลบ LED ซึ่งเป็น Output ที่ต่ออยู่กับ IC ตัวนั้นจะติด ในกรณีที่แรงดันที่ ขาบวกน้อยกว่าขาลบ LED ที่ต่ออยู่กับ IC ตัวนั้นก็ดับ โดย ตัวเก็บประจุ 4.7 uF กับตัวต้านทาน 5M จะทำหน้าที่หน่วงเวลาในการดับของ LED ส่วนสวิทช์ จะทำหน้าที่ รีเซทให้ LED ทุกดวงดับ สำหรับ R ปรับค่าได้ 10K จะทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันเปรียบเทียบที่ป้อนเข้าสู่ขาบวกของ IC 1/2 จนถึง IC 3/3 ให้มากหรือน้อยตามความต้องการของเรา และในวงจรนี้ ยังมีซีเนอรัไดโอด 5V1 เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์เปลี่ยนเป็น 5 โวลต์ เพื่อให้ไฟที่จ่ายเหมาะสมสำหรับการทำงานในวงจร ภายวงจรชุดระบบการวัดระดับเสียง แสดงดังรูปที่ 3.6 และทำการเขียนกราฟ เพื่อหาค่าความไวดังสมการ ต่อไปนี้

$$y = mx + c \quad (3.9)$$

และ
$$I = mV \quad (3.10)$$



รูปที่ 3.6 วงจรการวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการวัดระดับเสียง

3.3.1 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุตผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง

การทดสอบเครื่องมือวัดระดับเสียงนั้นเราได้นำวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล ซึ่งจะวัดโดยใช้หลักการของ Display LED เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่ผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี เมื่อเกิดเสียงดังในระดับที่แตกต่างกันขึ้นก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในวงจร ซึ่งจะทำให้ LED จำนวน 10 หลอดแสดงผลด้วยหลอด LED ติด แล้วทำการอ่านค่าแรงดันตกคร่อมได้

วิธีการของระบบคืออันดับแรกจะต้องต่อวงจรในการวัดระดับเสียง ในที่นี้เป็น วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล จากนั้นวัดแรงดันได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า ที่ต่อกับ อินพุตที่ผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง ซึ่งจะทำการป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน เมื่อระดับเสียงสูงขึ้น จำนวนการเปล่งแสงของ Display LED ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เริ่มตั้งแต่ 0-10 หลอด LED ซึ่งค่าที่วัดได้จะออกมาทางหน้าจอดีจิตอลของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จากนั้นก็ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า เทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยจะวัดค่าออกมาในหน่วย โวลต์

3.3.2 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง

การทดสอบเครื่องมือวัดระดับเสียงนั้นเราได้นำวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล ซึ่งจะวัดโดยใช้หลักการของ Display LED เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ผ่านวงจรขยายแบบผลต่างเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี เมื่อเกิดเสียงดังในระดับที่แตกต่างกันขึ้นก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในวงจร ซึ่งจะ ทำให้ LED จำนวน 10 หลอดแสดงผลด้วยหลอด LED ติด แล้วทำการอ่านค่าแรงดันตกคร่อมได้

วิธีการของระบบคืออันดับแรกจะต้องต่อวงจรในการวัดระดับเสียง ในที่นี้เป็น วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล จากนั้นวัดแรงดันได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า ที่ต่อกับ เอาต์พุตที่ผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง ซึ่งจะทำการป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน เมื่อระดับเสียงสูงขึ้น จำนวนการเปล่งแสงของ Display LED ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เริ่มตั้งแต่ 0-10 หลอด LED ซึ่งค่าที่วัดได้จะออกมาทางหน้าจอดีจิตอลของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จากนั้นก็ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า เทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยจะวัดค่าออกมาในหน่วย โวลต์

3.3.3 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุตผ่านวงจรขยายกระแสของชุดวัดระดับเสียง

การทดสอบเครื่องมือวัดระดับเสียงนั้นเราได้นำวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล ซึ่งจะวัดโดยใช้หลักการของ Display LED เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่ผ่านวงจรขยายกระแส เพื่อ

นำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี เมื่อเกิดเสียงดังในระดับที่แตกต่างกันขึ้นก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในวงจร ซึ่งจะทำให้ LED จำนวน 10 หลอดแสดงผลด้วยหลอด LED ติด แล้วทำการอ่านค่าแรงดันตกคร่อมได้

วิธีการของระบบคืออันดับแรกจะต้องต่อวงจรในการวัดระดับเสียง ในที่นี้เป็น วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล จากนั้นวัดแรงดันได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า ที่ต่อกับ อินพุตที่ผ่านวงจรขยายกระแส ซึ่งจะทำให้การป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน เมื่อระดับเสียงสูงขึ้น จำนวน การเปล่งแสงของ Display LED ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เริ่มตั้งแต่ 0-10 หลอด LED ซึ่งค่าที่วัดได้จะ ออกมาทางหน้าจอดีจิตอลของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จากนั้นก็ทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า เทียบ กับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยจะวัดค่าออกมาในหน่วย โวลต์

3.3.4 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตผ่านวงจรขยายกระแสของชุดวัดระดับเสียง

การทดสอบเครื่องมือวัดระดับเสียงนั้นเราได้นำวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล ซึ่งจะวัดโดยใช้หลักการของ Display LED เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตแต่ละจุดที่ผ่านวงจรขยาย กระแส เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี เมื่อเกิดเสียงดังในระดับที่แตกต่างกันขึ้นก็จะเกิดแรงดัน ไฟฟ้า ในวงจร ซึ่งจะทำให้ LED จำนวน 10 หลอดแสดงผลด้วยหลอด LED ติด แล้วทำการอ่านค่าแรงดัน ตกคร่อมได้

วิธีการของระบบคืออันดับแรกจะต้องต่อวงจรในการวัดระดับเสียง ในที่นี้เป็น วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล จากนั้นวัดแรงดันได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า ที่ต่อกับ เอาต์พุตแต่ละจุดที่ผ่านวงจรขยายกระแส ซึ่งจะทำให้การป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน เมื่อระดับเสียง สูงขึ้น จำนวนการเปล่งแสงของ Display LED ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เริ่มตั้งแต่ 0-10 หลอด LED ซึ่งค่าที่วัดได้จะออกมาทางหน้าจอดีจิตอลของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จากนั้นก็ทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า เทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยจะวัดค่าออกมา ในหน่วย โวลต์

3.3.5 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุตผ่านวงจรเปรียบเทียบของชุดวัดระดับเสียง

การทดสอบเครื่องมือวัดระดับเสียงนั้นเราได้นำวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล ซึ่งจะวัดโดยใช้หลักการของ Display LED เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าอินพุตแต่ละจุดที่ผ่านวงจร เปรียบเทียบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี เมื่อเกิดเสียงดังในระดับที่แตกต่างกันขึ้นก็จะเกิด แรงดันไฟฟ้าในวงจร ซึ่งจะทำให้ LED จำนวน 10 หลอดแสดงผลด้วยหลอด LED ติด แล้วทำการ อ่านค่าแรงดันตกคร่อมได้

วิธีการของระบบคืออันดับแรกจะต้องต่อวงจรในการวัดระดับเสียง ในที่นี้เป็น วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล จากนั้นวัดแรงดันได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า ที่ต่อกับ อินพุตแต่ละจุดที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งจะทำให้การป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน เมื่อระดับเสียงสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนการเปล่งแสงของ Display LED ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เริ่มตั้งแต่ 0-10 หลอด LED ซึ่งค่าที่วัดได้จะออกมาทางหน้าจอดิจิทัลของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จากนั้นก็ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า เทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยจะวัดค่าออกมาในหน่วย โวลต์

3.3.6 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตผ่านวงจรเปรียบเทียบของชุดวัดระดับเสียง

การทดสอบเครื่องมือวัดระดับเสียงนั้นเราได้นำวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล ซึ่งจะวัดโดยใช้หลักการของ Display LED เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตแต่ละจุดที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี เมื่อเกิดเสียงดังในระดับที่แตกต่างกันขึ้นก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในวงจร ซึ่งจะทำให้ LED จำนวน 10 หลอดแสดงผลด้วยการหลอด LED ติด แล้วทำการอ่านค่าแรงดันตกคร่อมได้

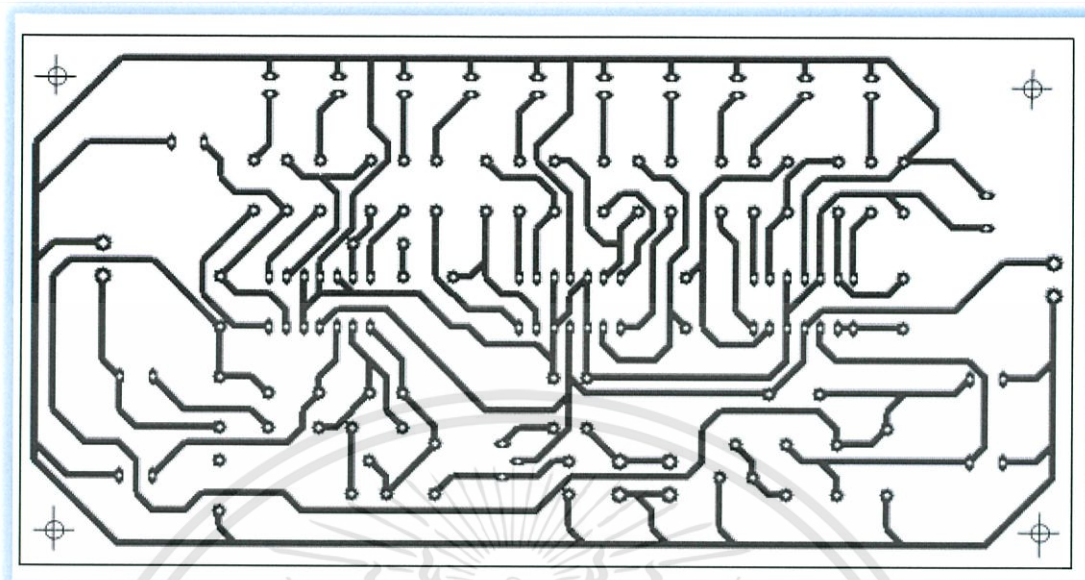
วิธีการของระบบคืออันดับแรกจะต้องต่อวงจรในการวัดระดับเสียง ในที่นี้เป็นวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล จากนั้นวัดแรงดันได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าที่ต่อกับเอาต์พุตแต่ละจุดที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งจะทำการป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน เมื่อระดับเสียงสูงขึ้น จำนวนการเปล่งแสงของ Display LED ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เริ่มตั้งแต่ 0-10 หลอด LED ซึ่งค่าที่วัดได้จะออกมาทางหน้าจอดิจิทัลของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จากนั้นก็ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า เทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยจะวัดค่าออกมาในหน่วย โวลต์

3.3.7 การทดสอบและการวิเคราะห์ชุดการวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล

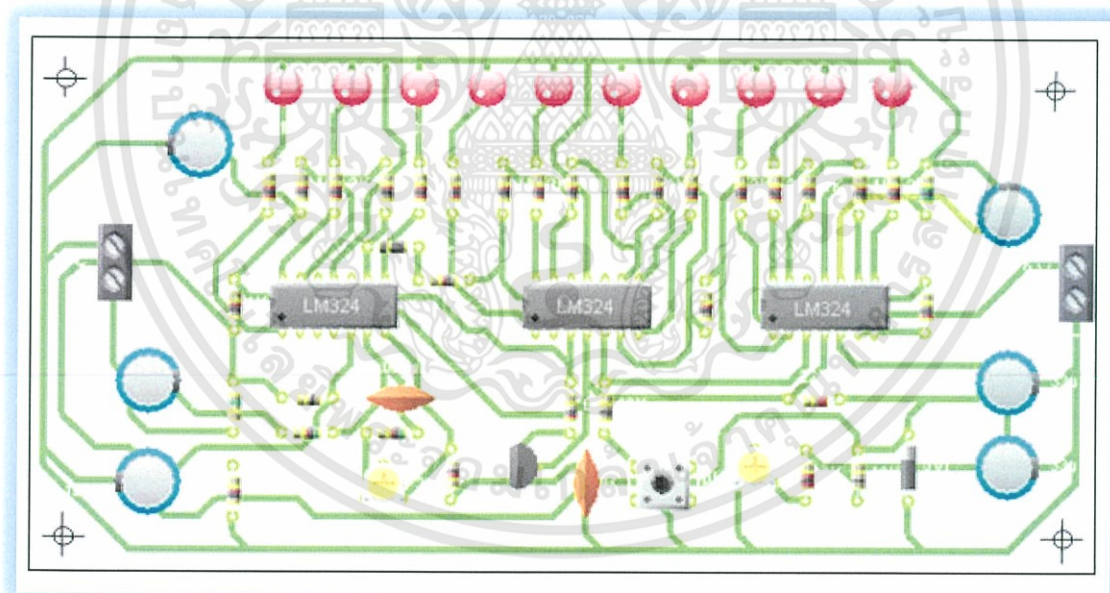
การทดสอบเครื่องมือวัดระดับเสียงนั้นเราได้นำวงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล ซึ่งจะวัดโดยใช้หลักการระดับเสียงดังในหน่วยเดซิเบลที่แตกต่างกัน เมื่อเกิดเสียงดังในระดับที่แตกต่างกันขึ้นก็จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรซึ่งจะทำให้ LED จำนวน 10 หลอดแสดงผลด้วยหลอด LED ติด แล้วทำการอ่านค่าระดับเสียง

วิธีการของระบบคืออันดับแรกจะต้องต่อวงจรในการวัดระดับเสียง ในที่นี้เป็นวงจรวัดระดับเสียง จากนั้นวัดระดับเสียงได้จากเครื่องมือวัดซึ่งจะทำการป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน เมื่อระดับเสียงสูงขึ้น จำนวนการเปล่งแสงของ Display LED ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งแสดงผลออกมาเป็นจำนวน Display LED ทั้งหมดจะเริ่มตั้งแต่ 0-10 หลอด LED จากนั้นก็ทำการบันทึกค่าจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง เสียงที่ป้อนเข้ามาในหน่วย เดซิเบล

3.4 ลายวงจรวัดระดับเสียง



รูปที่ 3.7 แสดงลายวงจรวัดระดับเสียง



รูปที่ 3.8 แสดงลายวงจรวัดระดับเสียงเมื่อทำการใส่อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์เครื่องวัดระดับเสียง วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล จะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน คือ ตอนแรก ทดสอบแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง ตอนที่ 2 ทดสอบแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายกระแสของชุดวัดระดับเสียง ตอนที่ 3 ทดสอบแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรเปรียบเทียบของชุดวัดระดับเสียง และ ตอนที่ 4 ทดสอบและการวิเคราะห์ผลชุดการวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล และผลการทดสอบจะมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง

อุปกรณ์ในการทดสอบ

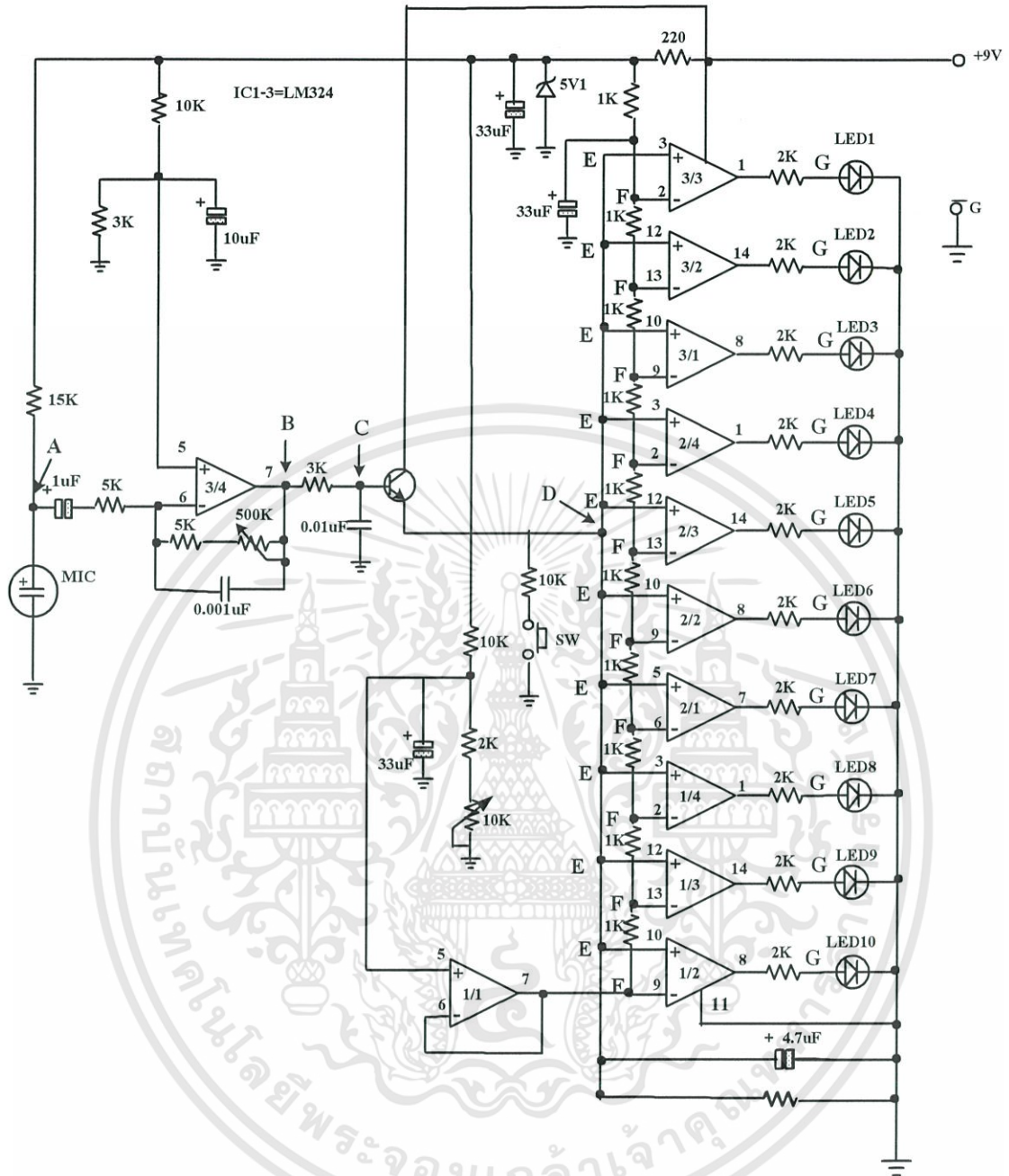
1. เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
2. แหล่งกำเนิดเสียงจากลำโพงคอมพิวเตอร์
3. วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล
4. แบตเตอรี่ 9 โวลต์

4.1.1 การทดสอบวัดวงจรการทำงานจะมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตำแหน่งลงบนวงจรต้นแบบ ดังรูปที่ 4.1
2. ทำการต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรเพื่อดูการทำงานของวงจร
3. ทำการป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟน
4. ทำการวัดค่าแรงดันตกคร่อมในตำแหน่ง A และ B ที่กำหนด โดยใช้เครื่อง

ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

5. ทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า เปรียบเทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งจะวัดค่าออกมาเป็นหน่วย โวลต์ และทำการบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งที่สำคัญในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง

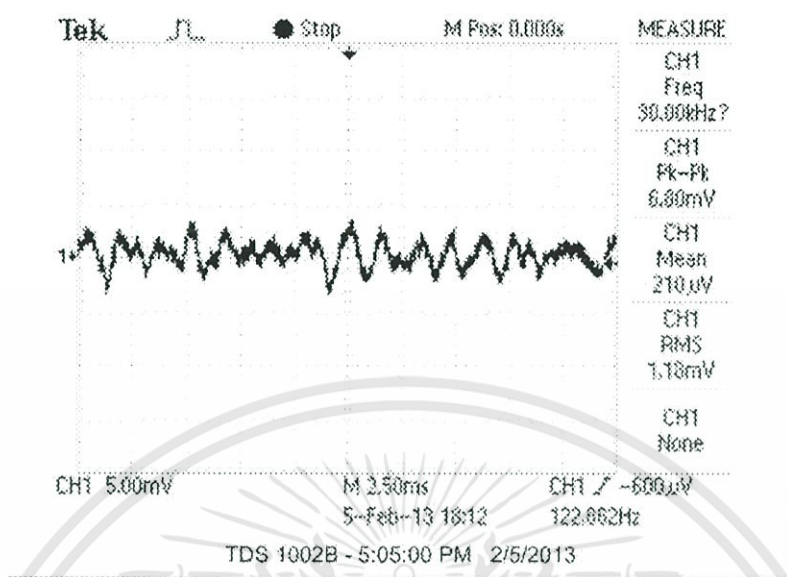
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง A ของวงจรขยายผลต่าง

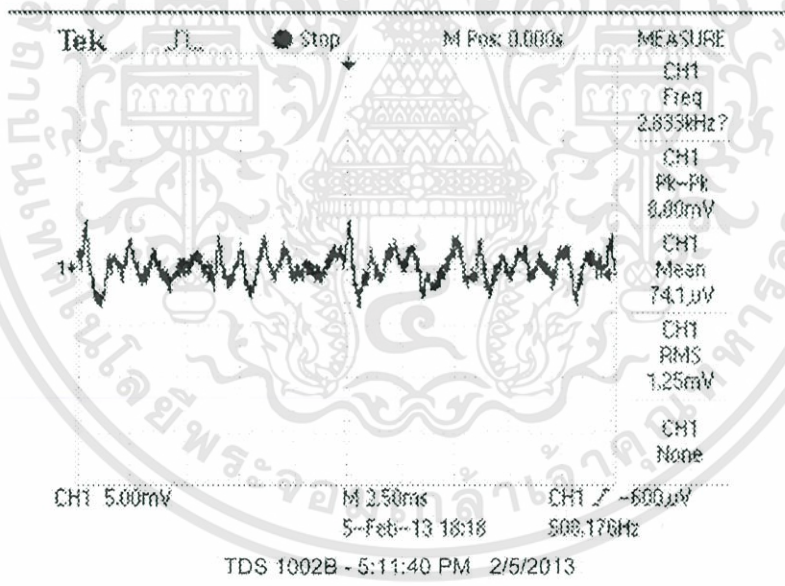
จำนวน LED ติด	แรงดันไฟฟ้าอินพุต (mV)			
	1	2	3	เฉลี่ย
1	1.18	0.923	1.12	1.07
2	1.25	1.4	1.35	1.33
3	1.46	1.67	1.6	1.58
4	1.72	1.68	1.67	1.69
5	1.75	1.87	1.87	1.83
6	2.1	1.9	1.98	1.99
7	2.16	2.1	2.3	2.19
8	2.5	2.46	2.34	2.43
9	2.69	2.57	2.6	2.62
10	2.71	3.09	2.99	2.93
10	2.85	3.05	2.94	2.95
9	2.57	2.6	2.85	2.67
8	2.56	2.44	2.54	2.51
7	2.17	2.12	2.11	2.13
6	1.88	1.99	1.89	1.92
5	1.77	1.77	1.81	1.78
4	1.57	1.63	1.68	1.63
3	1.53	1.44	1.56	1.51
2	1.46	1.32	1.4	1.39
1	1.15	1.04	1.1	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง A ของวงจรขยายผลต่าง

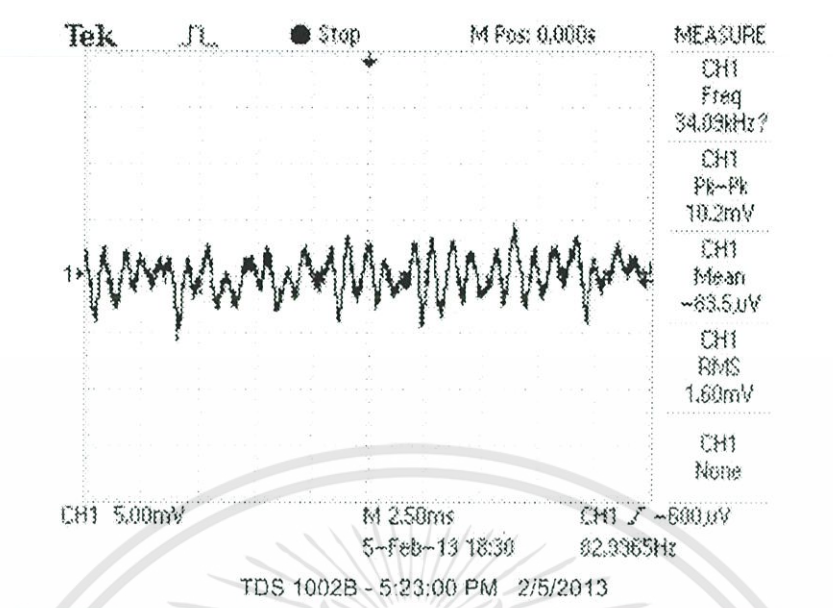


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 1 ดวง

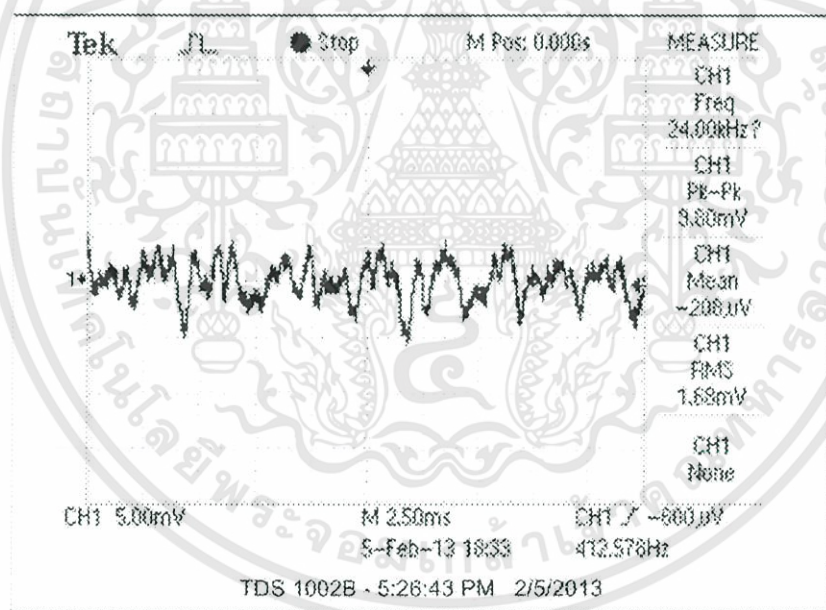


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 2 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

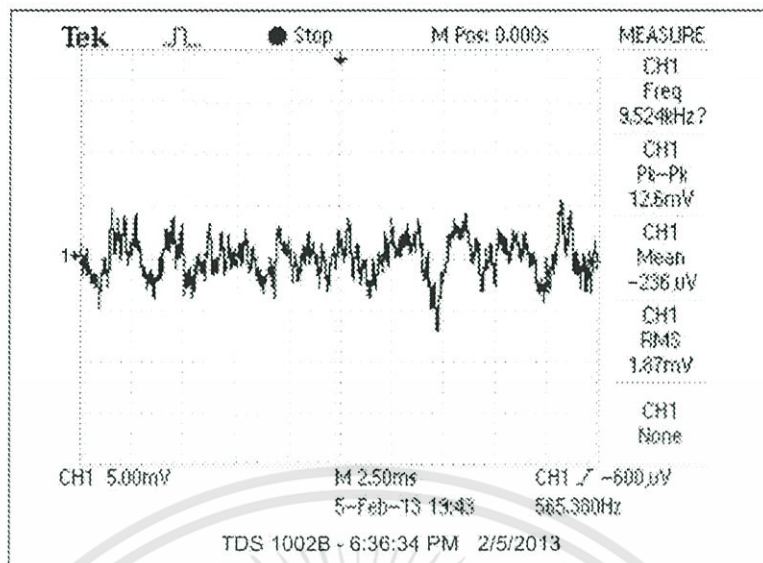


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 3 ดวง

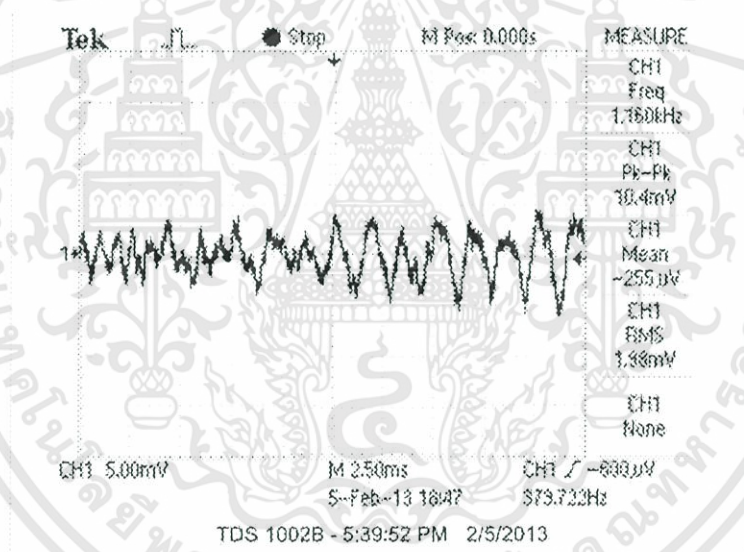


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 4 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

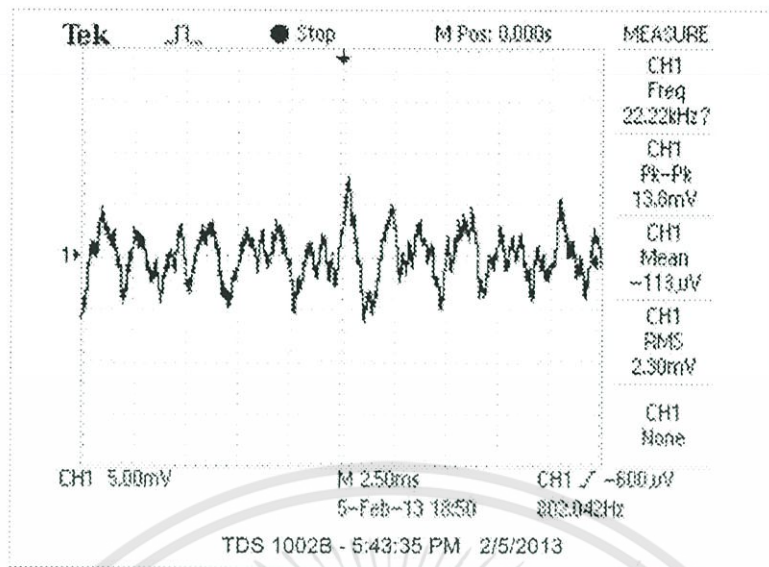


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 5 ดวง

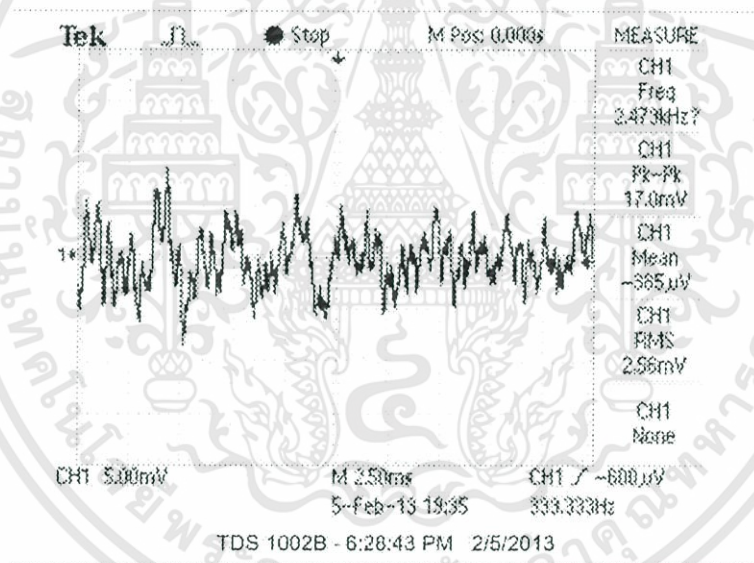


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 6 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

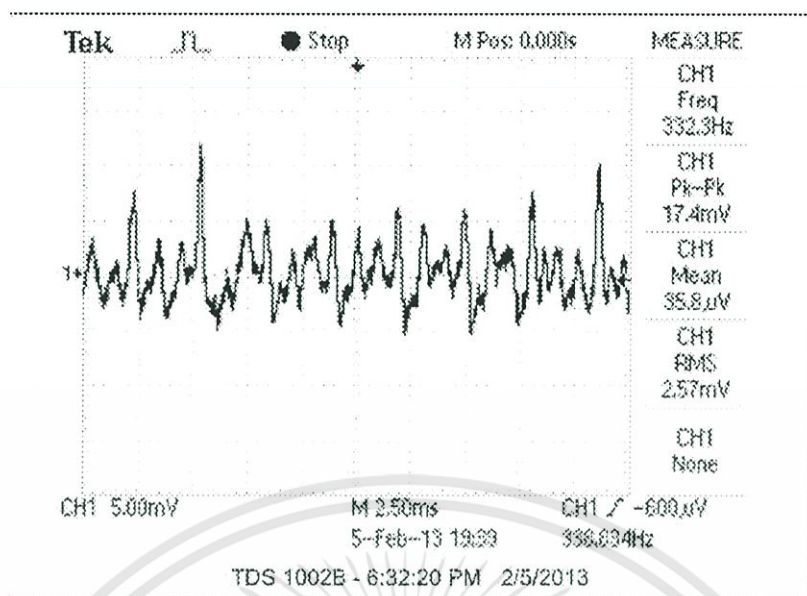


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 7 ดวง

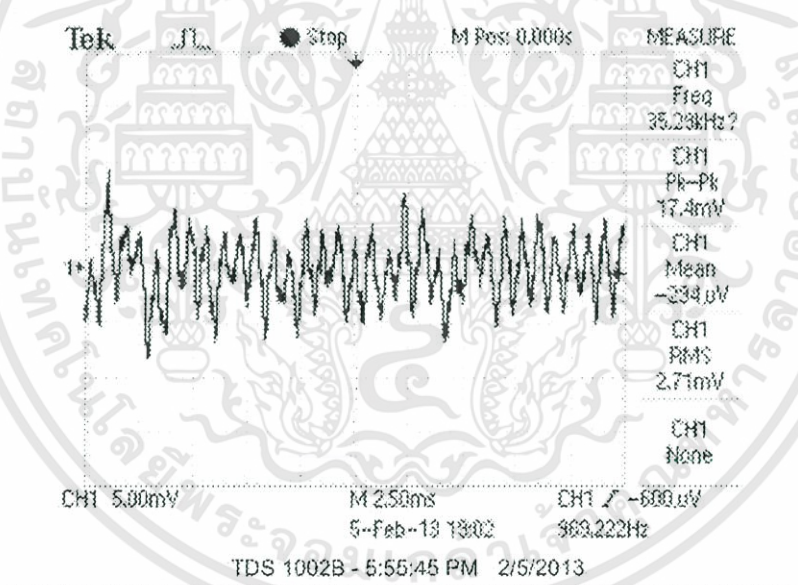


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 8 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 9 ดวง



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 10 ดวง

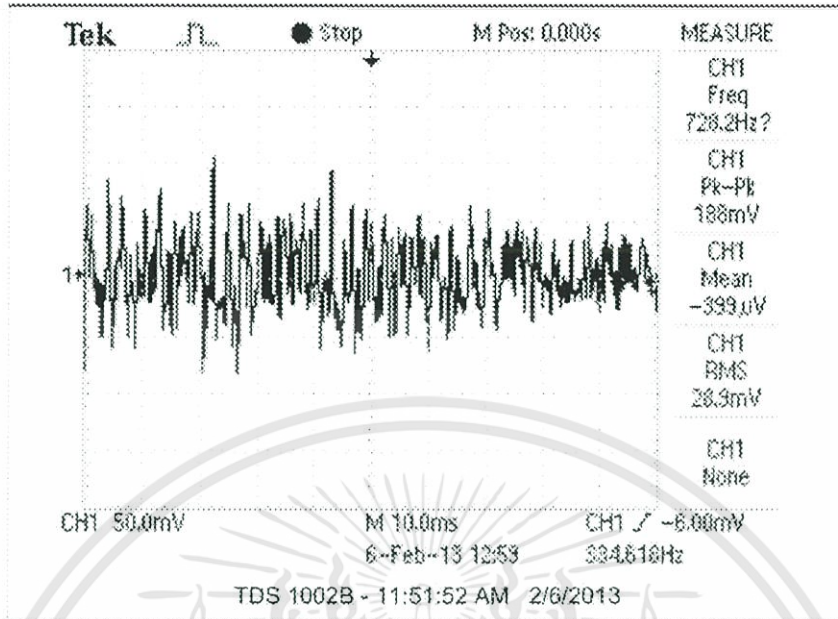
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง B ของวงจรขยายผลต่าง

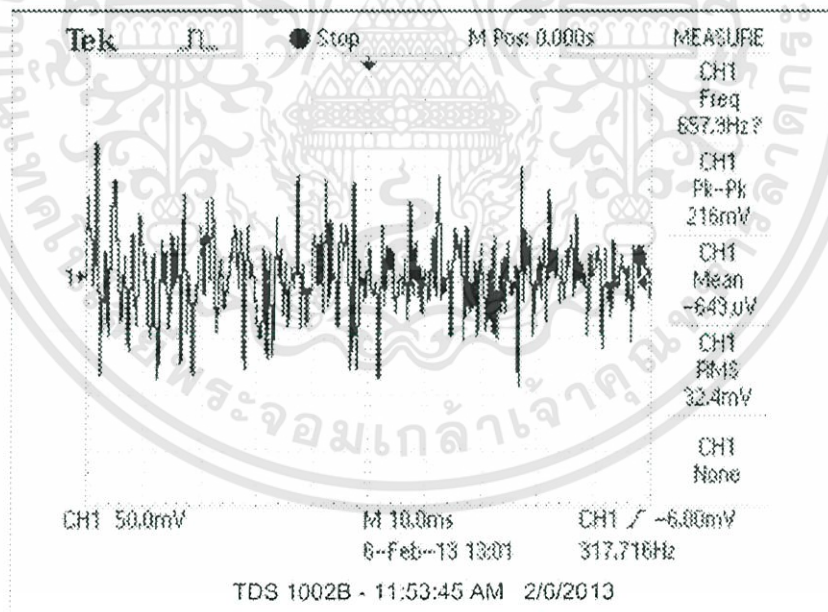
จำนวน LED คัด	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (mV)			
	1	2	3	เฉลี่ย
1	28.2	28.9	29.2	28.77
2	32.4	35.1	35.2	34.23
3	41.8	43.3	40.4	41.83
4	45.7	46.1	46.2	46.00
5	53.5	53	55.1	53.87
6	56.5	58.4	57.7	57.53
7	61.4	61.8	63.6	62.27
8	71.7	69.8	71.4	70.97
9	77.2	77.1	77.2	77.17
10	83.2	85.5	84.2	84.30
10	83.4	83.8	86.5	84.57
9	78.7	78.5	78	78.40
8	72.2	72.1	70.7	71.67
7	63.2	61.7	61.6	62.17
6	57.8	59.2	57.6	58.20
5	52.2	52.2	51.3	51.90
4	45.1	45.5	47.5	46.03
3	41.8	40.1	41.4	41.10
2	33.4	32.2	34.3	33.30
1	28.2	28	28	28.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง B ของวงจรขยายผลต่าง

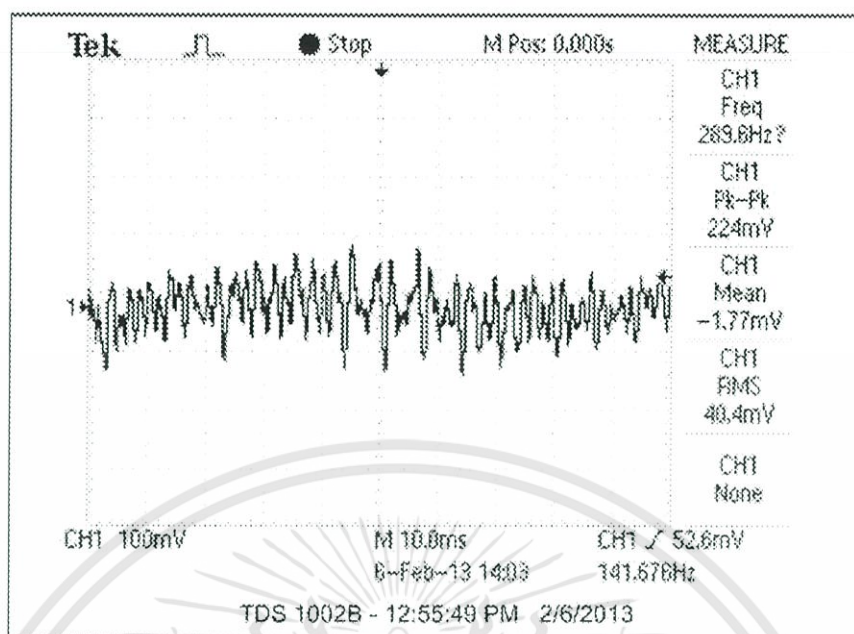


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 1 ดวง

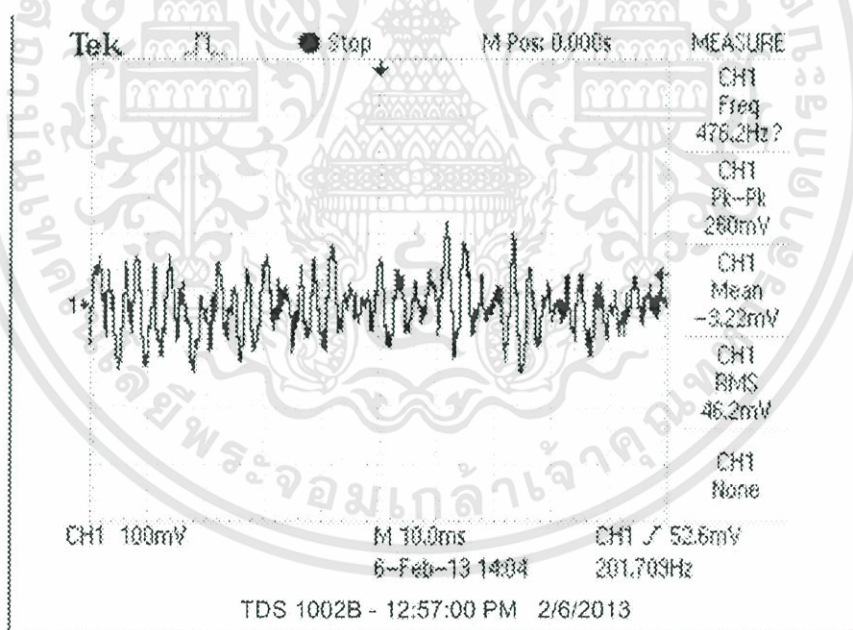


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 2 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

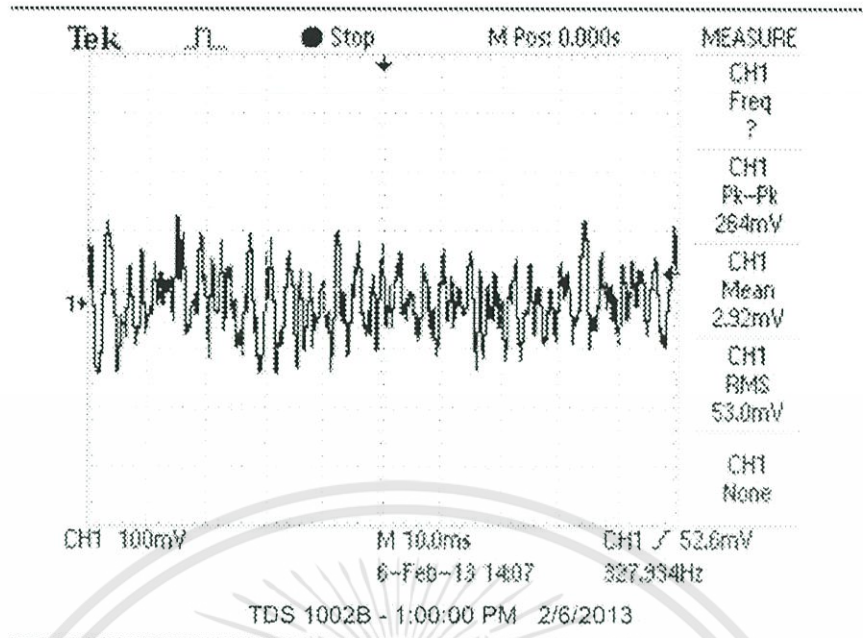


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 3 ดวง

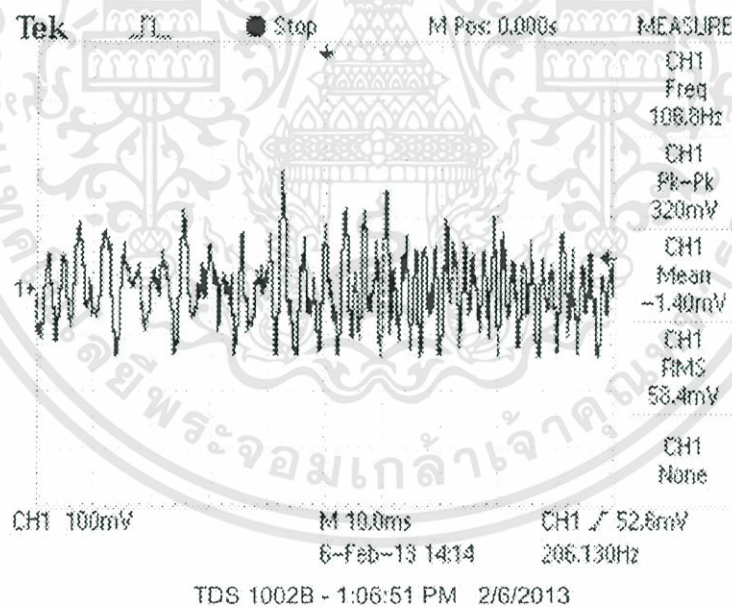


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 4 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

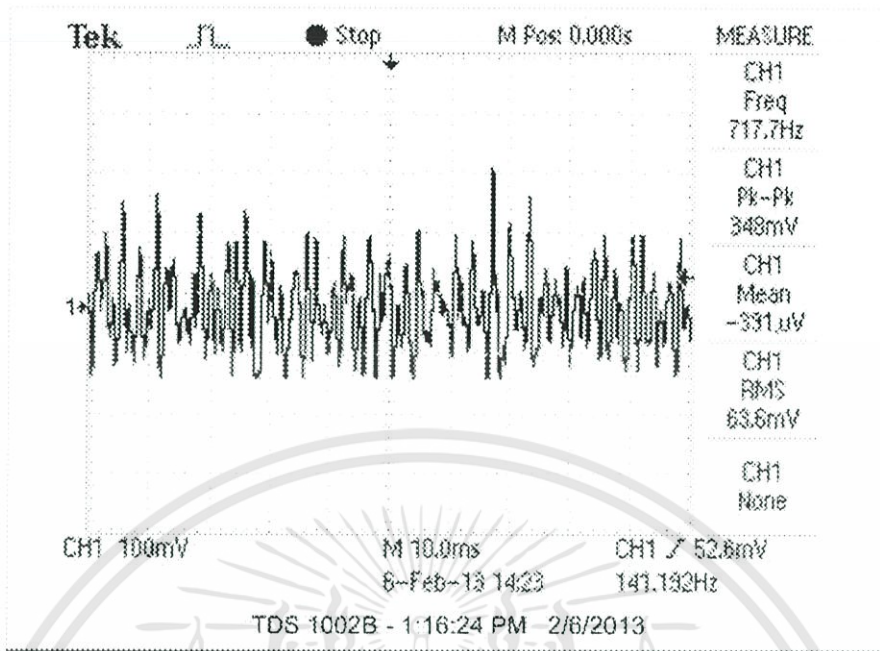


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 5 ดวง

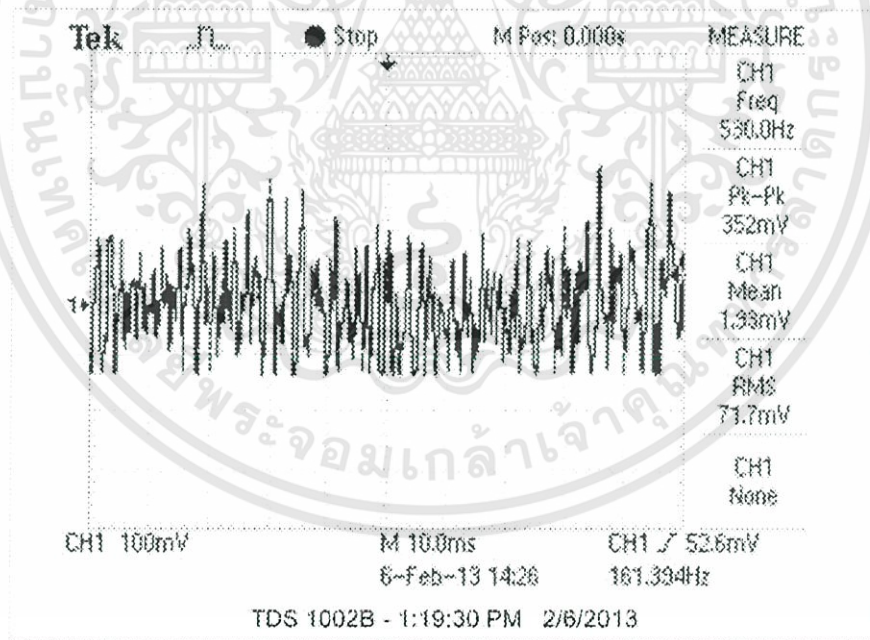


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 6 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

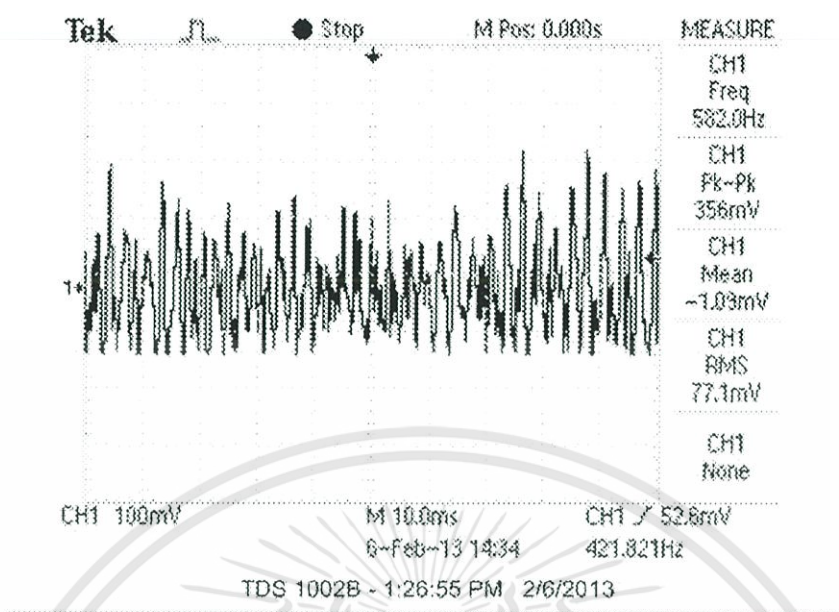


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโคร โฟน ขณะ LED ติด 7 ดวง

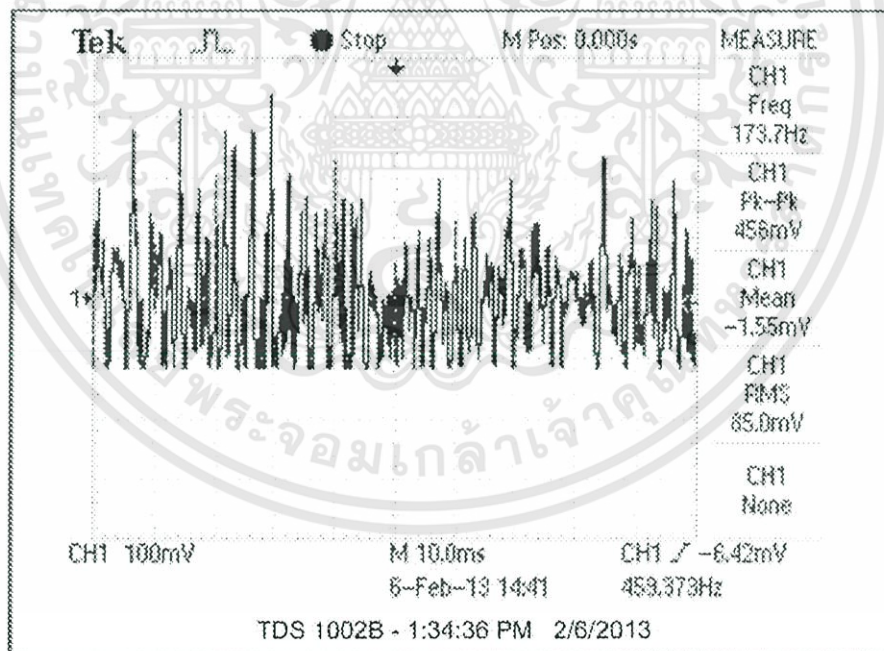


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโคร โฟน ขณะ LED ติด 8 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 9 ดวง



กราฟที่ 4.21 แสดงค่า V(mV) เอาท์พุทของไมโครโฟน ขณะ LED ติด 10 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการวัด

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะวิเคราะห์ผลการคำนวณหาค่า อัตราการขยายของ วงจรขยายผลต่าง ได้ดังต่อไปนี้

คำนวณหาค่า อัตราการขยายของวงจรขยายผลต่าง จากสมการที่ 3.4 ได้คือ

$$\begin{aligned} V'_{out} &= \frac{R_f}{R_i} V_1 \\ &= -(101)(1.13) \\ V'_{out} &= -113.83 \\ V''_{out} &= 1 + \frac{R_f}{R_i} V_2 \\ &= 1 + (101)(0.001) \\ &= 0.101 \\ V_{out} &= V'_{out} + V''_{out} \\ &= -113.83 + 0.101 \\ &= -113.726 \end{aligned}$$

4.2 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายกระแส

อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
2. โวลต์มิเตอร์
3. แหล่งกำเนิดเสียงได้จากลำโพงคอมพิวเตอร์
4. วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล
5. แบตเตอรี่ 9 โวลต์

4.1.1 การทดสอบวัดวงจรการทำงานจะมีขั้นตอนดังนี้

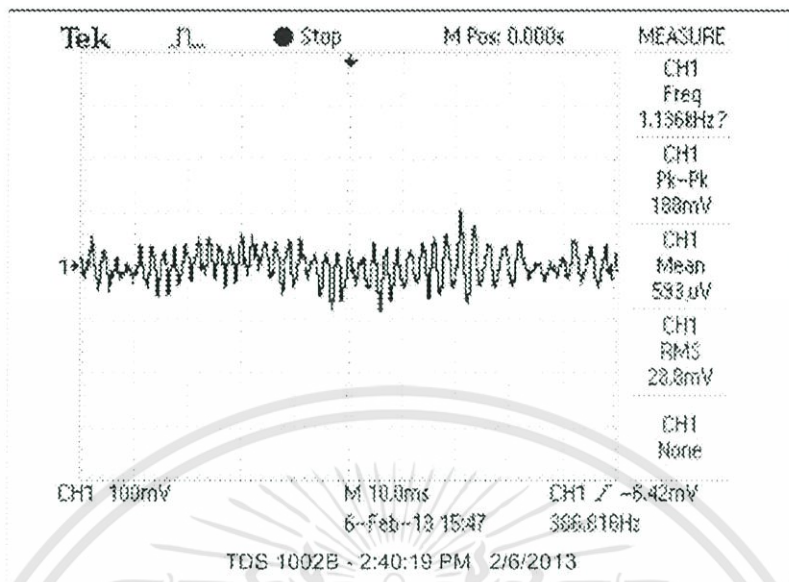
1. กำหนดตำแหน่งลงบนวงจรต้นแบบ ดังรูปที่ 4.1
2. ทำการต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรเพื่อดูการทำงานของวงจร
3. เราจะป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟนเพื่อทดสอบวงจร
4. ทำการวัดค่าแรงดันตกคร่อมในตำแหน่ง C และ D ที่กำหนด โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และ โวลต์มิเตอร์
6. ทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า เปรียบเทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่ เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งจะวัดค่าออกมาเป็นหน่วย โวลต์ และทำการบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง C ของวงจรต้นแบบ

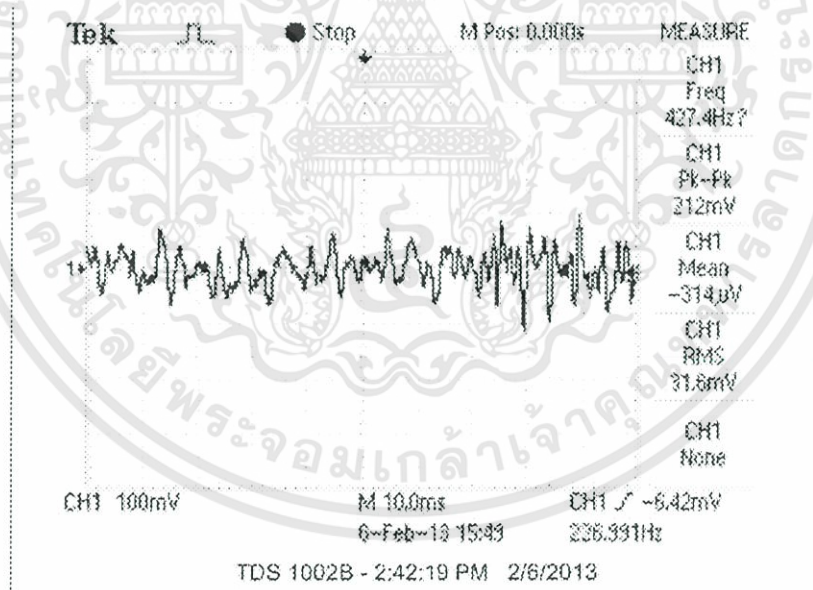
จำนวน LED ติด	แรงดันไฟฟ้าอินพุต(mV)			
	1	2	3	เฉลี่ย
1	29.2	28.8	27.4	28.47
2	31.6	31	31	31.20
3	42	41.2	41.4	41.53
4	46.6	46.4	46.6	46.53
5	53.5	52.7	53.2	53.13
6	57.3	57.5	55.5	56.77
7	61.1	63.7	63.4	62.73
8	69.3	70.7	69.6	69.87
9	79	78.5	77.6	78.37
10	85.6	84.2	84	84.60
10	84.6	85.7	85.2	85.17
9	77.9	76.1	77.5	77.17
8	69	72.8	70.5	70.77
7	61.7	63.6	62.7	62.67
6	55.7	56.6	56.1	56.13
5	51.3	52.9	51.4	51.87
4	45.5	46.7	47.2	46.47
3	41.4	40.1	41.1	40.87
2	32.1	31.1	32	31.73
1	27	26.7	28	27.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง C ของวงจรต้นแบบ

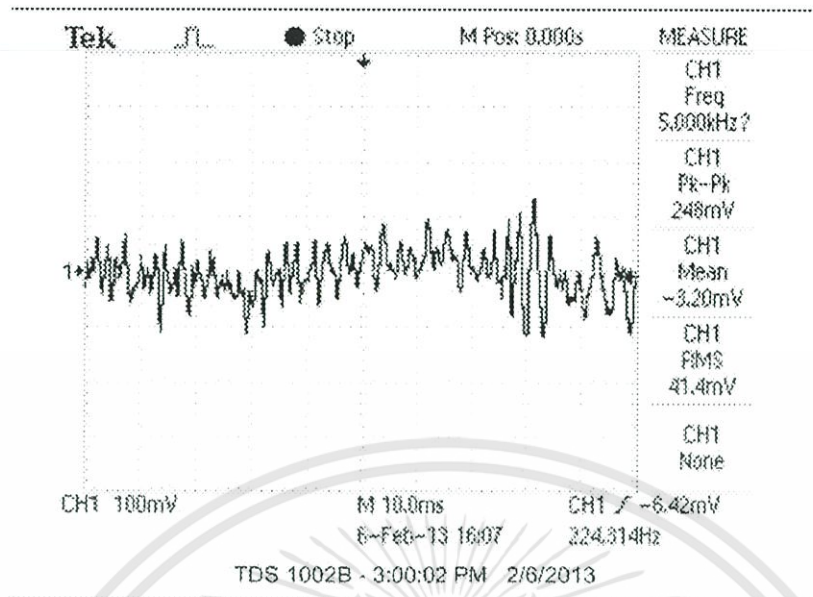


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 1 ดวง

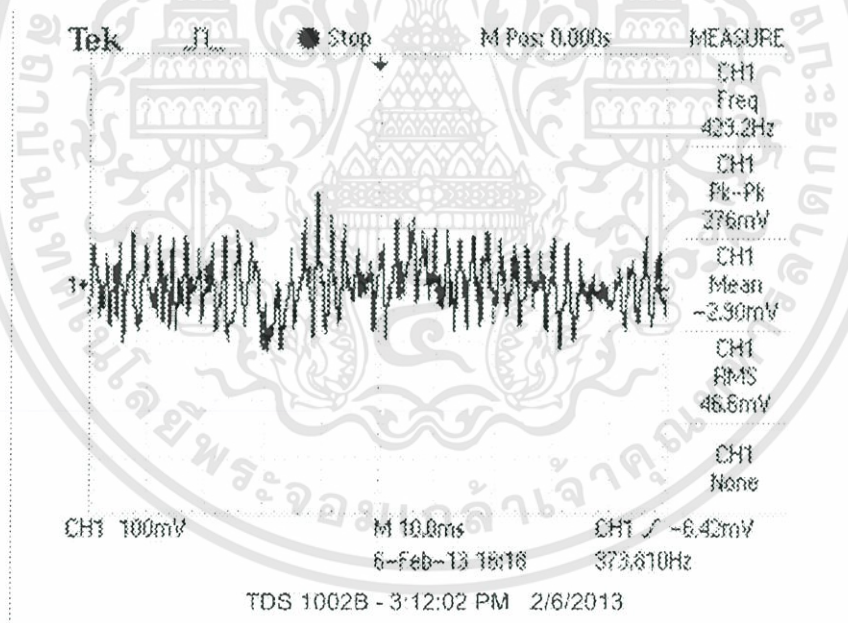


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 2 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

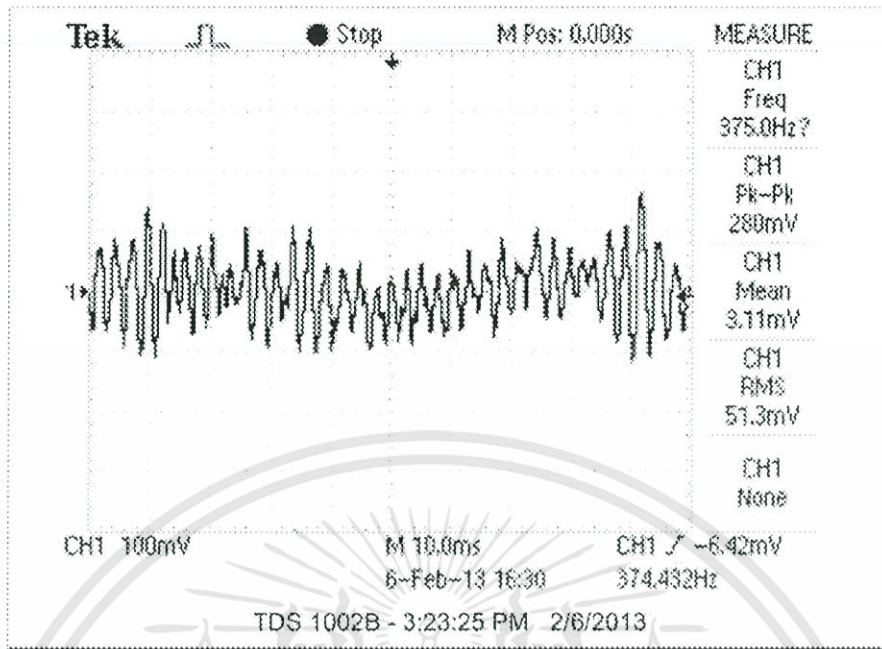


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 3 ดวง

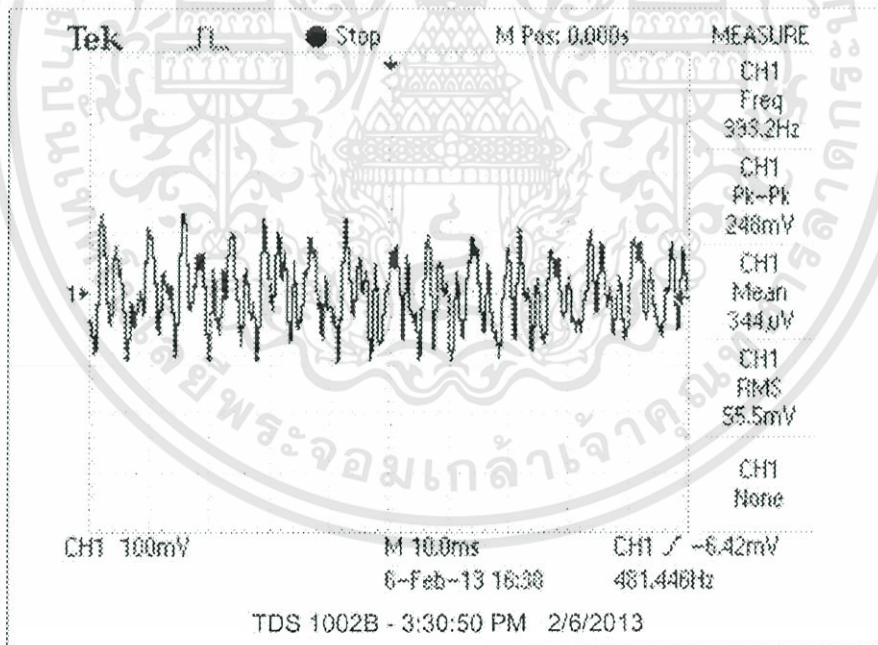


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 4 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

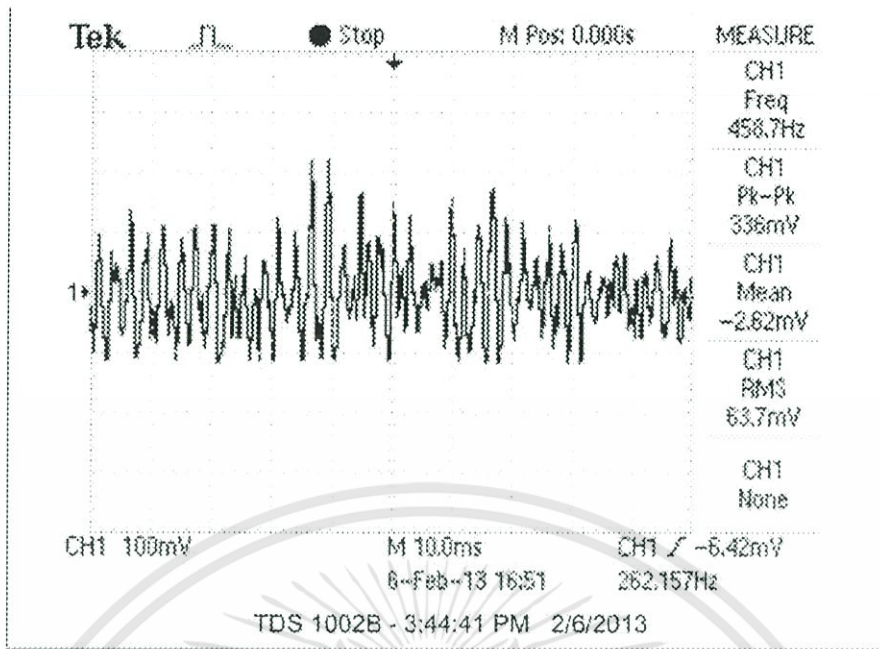


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 5 ดวง

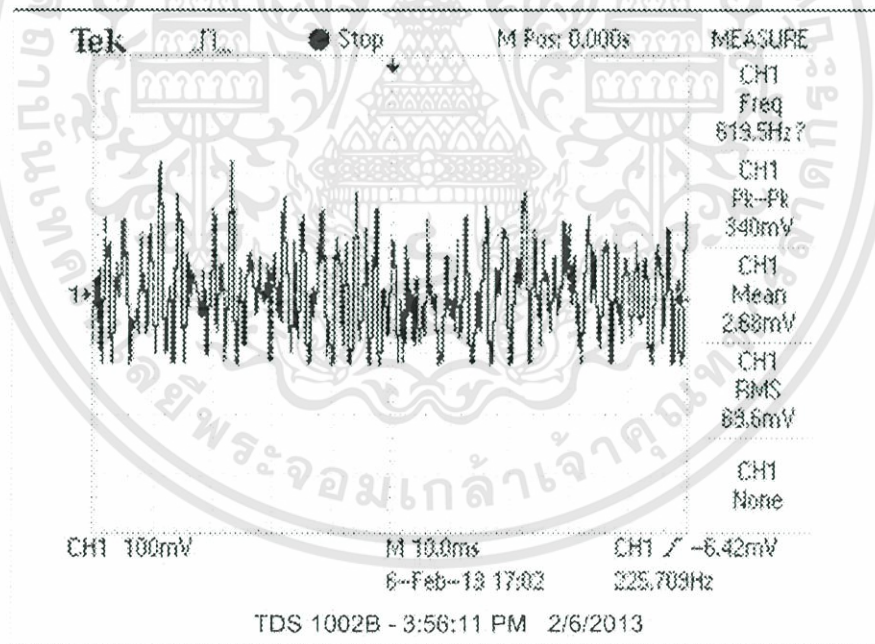


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 6 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

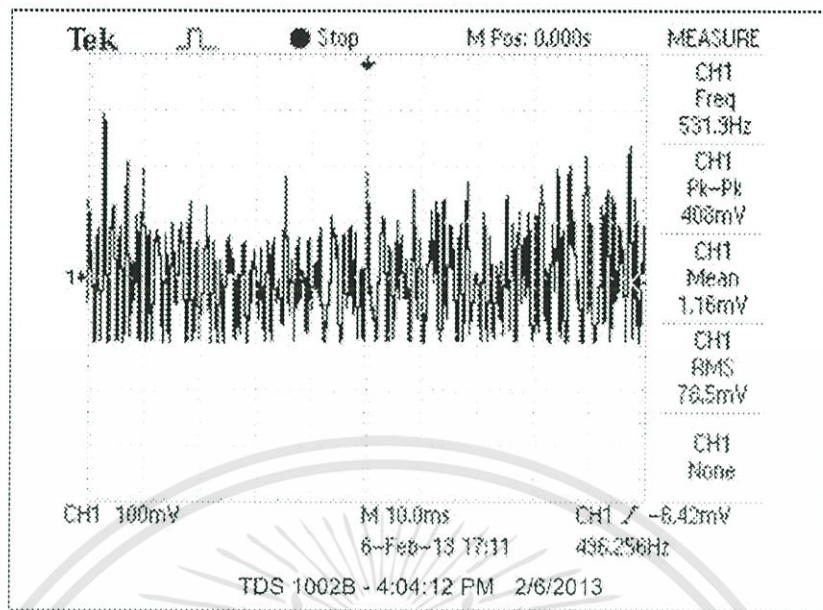


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 7 ดวง

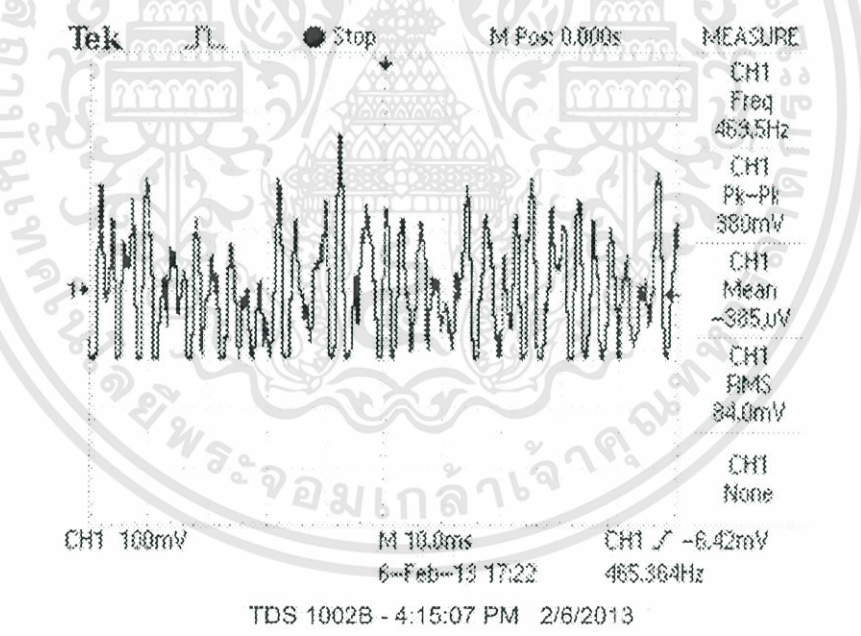


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 8 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 9 ดวง



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่า V(mV) อินพุตของทรานซิสเตอร์ ขณะ LED ติด 10 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง D ของวงจรต้นแบบ

จำนวน LED ติด	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย
1	2.12	2.261	2.287	2.22
2	2.43	2.546	2.493	2.49
3	2.718	2.65	2.626	2.66
4	2.943	2.913	2.968	2.94
5	3.275	3.199	3.209	3.23
6	3.523	3.49	3.519	3.51
7	3.803	3.725	3.763	3.76
8	4.136	4.105	4.126	4.12
9	4.319	4.375	4.356	4.35
10	4.672	4.653	4.642	4.66
10	4.684	4.655	4.708	4.68
9	4.421	4.443	4.432	4.43
8	4.056	4.135	4.132	4.11
7	3.806	3.864	3.824	3.83
6	3.546	3.594	3.532	3.56
5	3.249	3.328	3.398	3.33
4	2.802	3.07	2.902	2.92
3	2.631	2.745	2.681	2.69
2	2.426	2.476	2.453	2.45
1	2.156	2.151	2.178	2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการวัด

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะวิเคราะห์ผลการคำนวณหาค่า V_{CE} ที่ใช้ได้ดังต่อไปนี้
การคำนวณหาค่า V_{CE} โดยใช้สูตรจากสมการที่ 3.6 ดังต่อไปนี้

จากสมการ $V_{CE} = V_{CC} - V_E$ จะได้ว่า

$$V_{CE} (1) = 9 - 2.22 = 6.78 \text{ V}$$

$$V_{CE} (2) = 9 - 2.49 = 6.51 \text{ V}$$

$$V_{CE} (3) = 9 - 2.66 = 6.31 \text{ V}$$

$$V_{CE} (4) = 9 - 2.94 = 6.06 \text{ V}$$

$$V_{CE} (5) = 9 - 3.23 = 5.77 \text{ V}$$

$$V_{CE} (6) = 9 - 3.51 = 5.49 \text{ V}$$

$$V_{CE} (7) = 9 - 3.76 = 5.24 \text{ V}$$

$$V_{CE} (8) = 9 - 4.12 = 4.88 \text{ V}$$

$$V_{CE} (9) = 9 - 4.35 = 4.65 \text{ V}$$

$$V_{CE} (10) = 9 - 4.66 = 4.34 \text{ V}$$

4.3 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรเปรียบเทียบของชุดวัดระดับเสียง

อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. โวลต์มิเตอร์
2. แหล่งกำเนิดเสียงจากลำโพงคอมพิวเตอร์
3. วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล
4. แบตเตอรี่ 9 โวลต์

4.3.1 การทดสอบวัดวงจรการทำงานจะมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตำแหน่งลงบนวงจรต้นแบบ ดังรูปที่ 4.3
2. ทำการต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรเพื่อดูการทำงานของวงจร
3. เราจะป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟนเพื่อทดสอบวงจร
4. ทำการวัดค่าแรงดันตกคร่อมในตำแหน่ง E, F และ G ที่กำหนด โดยใช้โวลต์มิเตอร์

5.ทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า เปรียบเทียบกับจำนวนของหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งจะวัดค่าออกมาเป็นหน่วย โวลต์ และทำการบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง E และ F ของวงจรต้นแบบ

จำนวนหลอด LED ที่ทำงาน(ไฟติด)	แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)											
	ครั้งที่1			ครั้งที่2			ครั้งที่3			เฉลี่ย		
	V1	V2	V1-V2	V1	V2	V1-V2	V1	V2	V1-V2	V1	V2	V1-V2
1	1.986	2.248	0.262	1.989	2.046	0.057	1.984	2.164	0.180	1.986	2.153	0.166
2	2.276	2.416	0.140	2.278	2.511	0.233	2.277	2.519	0.242	2.277	2.482	0.205
3	2.565	2.660	0.095	2.567	2.621	0.054	2.568	2.666	0.098	2.567	2.649	0.082
4	2.857	2.923	0.066	2.859	2.975	0.116	2.859	2.984	0.125	2.858	2.961	0.102
5	3.146	3.241	0.095	3.148	3.269	0.121	3.147	3.200	0.053	3.147	3.237	0.090
6	3.433	3.507	0.074	3.431	3.534	0.103	3.434	3.551	0.117	3.433	3.531	0.098
7	3.721	3.849	0.128	3.722	3.808	0.086	3.719	3.822	0.103	3.721	3.826	0.106
8	4.018	4.240	0.222	4.019	4.190	0.171	4.012	4.106	0.094	4.016	4.179	0.162
9	4.298	4.308	0.010	4.295	4.313	0.018	4.294	4.464	0.170	4.296	4.362	0.066
10	4.587	4.638	0.051	4.591	4.613	0.022	4.587	4.610	0.023	4.588	4.620	0.032
10	4.588	4.598	0.010	4.590	4.706	0.116	4.587	4.750	0.163	4.588	4.685	0.096
9	4.304	4.491	0.187	4.297	4.343	0.046	4.294	4.446	0.152	4.298	4.427	0.128
8	3.998	4.114	0.116	4.007	4.026	0.019	4.010	4.175	0.165	4.005	4.105	0.100
7	3.712	3.809	0.097	3.713	3.971	0.258	3.717	3.805	0.088	3.714	3.862	0.148
6	3.423	3.556	0.133	3.420	3.604	0.184	3.428	3.518	0.090	3.424	3.559	0.136
5	3.138	3.227	0.089	3.140	3.307	0.167	3.135	3.267	0.132	3.138	3.267	0.129
4	2.853	3.023	0.170	2.859	3.090	0.231	2.855	3.015	0.160	2.856	3.043	0.187
3	2.560	2.645	0.085	2.561	2.760	0.199	2.563	2.796	0.233	2.561	2.734	0.172
2	2.276	2.546	0.270	2.277	2.534	0.257	2.275	2.509	0.234	2.276	2.530	0.254
1	1.983	2.233	0.250	1.986	2.231	0.245	1.983	2.144	0.161	1.984	2.203	0.219

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง G ของวงจรต้นแบบ

จำนวนหลอด LED ที่ทำงาน(ไฟติด)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
1	1.849	1.848	1.848	1.848
2	1.910	1.903	1.906	1.906
3	1.817	1.818	1.819	1.818
4	1.895	1.895	1.892	1.894
5	1.888	1.884	1.885	1.886
6	1.813	1.812	1.811	1.812
7	1.893	1.891	1.887	1.890
8	1.896	1.893	1.891	1.893
9	1.879	1.879	1.880	1.879
10	1.887	1.881	1.879	1.882
10	1.885	1.880	1.883	1.883
9	1.873	1.871	1.876	1.873
8	1.885	1.882	1.885	1.884
7	1.883	1.880	1.879	1.881
6	1.806	1.805	1.807	1.806
5	1.867	1.877	1.877	1.874
4	1.884	1.885	1.886	1.885
3	1.813	1.814	1.811	1.813
2	1.900	1.899	1.896	1.898
1	1.828	1.838	1.831	1.832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวิเคราะห์ผลการวัด

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะวิเคราะห์ผลการคำนวณหาค่า อัตราการเปรียบเทียบ และการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของชุดวงจร ได้ดังต่อไปนี้

คำนวณหาค่า อัตราการเปรียบเทียบ โดยสมการแบ่งแรงดัน จากสมการที่ 3.8 จะได้ดังนี้

$$V_1 = \frac{R_2}{R_T} \times V_{CC} \quad \text{เมื่อ } R_T \text{ คือผลรวมตั้งแต่ } R_1-R_{10}$$

$$V_1 = \frac{7}{17} \times 4.938 = 2.033V$$

$$V_2 = \frac{8}{17} \times 4.938 = 2.323V$$

$$V_3 = \frac{9}{17} \times 4.938 = 2.614V$$

$$V_4 = \frac{10}{17} \times 4.938 = 2.904V$$

$$V_5 = \frac{11}{17} \times 4.938 = 3.195V$$

$$V_6 = \frac{12}{17} \times 4.938 = 3.485V$$

$$V_7 = \frac{13}{17} \times 4.938 = 3.776V$$

$$V_8 = \frac{14}{17} \times 4.938 = 4.066V$$

$$V_9 = \frac{15}{17} \times 4.938 = 4.357V$$

$$V_{10} = \frac{16}{17} \times 4.938 = 4.647V$$

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของชุดวงจร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าที่วัดได้}}{\text{ค่าจากการคำนวณ}} \times 100\%$$

$$V_1 = \frac{2.033 - 1.986}{2.033} \times 100\% = 2.311\%$$

$$V_2 = \frac{2.323 - 2.277}{2.323} \times 100\% = 2.022\%$$

$$V_3 = \frac{2.614 - 2.567}{2.614} \times 100\% = 1.798\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_4 = \frac{2.904-2.858}{2.904} \times 100 \% = 1.584 \%$$

$$V_5 = \frac{3.195-3.147}{3.195} \times 100 \% = 1.502 \%$$

$$V_6 = \frac{3.485-3.433}{3.485} \times 100 \% = 1.492 \%$$

$$V_7 = \frac{3.776-3.721}{3.776} \times 100 \% = 1.456 \%$$

$$V_8 = \frac{4.066-4.016}{4.066} \times 100 \% = 1.229 \%$$

$$V_9 = \frac{4.357-4.296}{4.357} \times 100 \% = 1.354 \%$$

$$V_{10} = \frac{4.647-4.588}{4.647} \times 100 \% = 1.269 \%$$

4.4 การทดสอบ แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรเปรียบเทียบของชุดวัดระดับเสียง

อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. เครื่องวัดเสียงในหน่วย เดซิเบล
2. แหล่งกำเนิดเสียงจากลำโพงคอมพิวเตอร์
3. วงจรวัดระดับเสียง 60-80 เดซิเบล
4. แบตเตอรี่ 9 โวลต์

4.4.1 การทดสอบวัดวงจรการทำงานจะมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรเพื่อดูการทำงานของวงจร
2. ทำการป้อนเสียงเข้าสู่ไมโครโฟนเพื่อทดสอบวงจร
3. ทำการวัดค่า PEAK และ Average เปรียบเทียบกับจำนวนหลอด LED ที่เปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยใช้เครื่องวัดเสียงในหน่วย เดซิเบล
4. ทำการบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดค่าPEAK เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดเสียงและวงจรวัดระดับเสียงในหน่วย เดซิเบล

จำนวนหลอด LED ที่ทำงาน(ไฟติด)	Ipeak(dB)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
1	71	71	72	71.33
2	73	73	74	73.33
3	75	75	75	75.00
4	76	76	76	76.00
5	78	77	77	77.33
6	79	78	78	78.33
7	80	79	79	79.33
8	81	80	80	80.33
9	82	81	81	81.33
10	83	81	83	82.33
10	83	82	82	82.33
9	80	81	81	80.67
8	79	79	80	79.33
7	78	78	79	78.33
6	77	77	78	77.33
5	76	76	76	76.00
4	75	75	75	75.00
3	73	74	73	73.33
2	72	73	72	72.33
1	71	71	71	71.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดค่า Average เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดเสียงและวงจรวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล

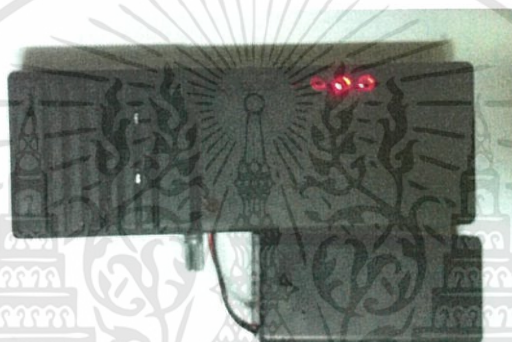
จำนวนหลอด LED ที่ทำงาน(ไฟติด)	I average(dB)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
1	64	63	60	62.33
2	67	65	63	65.00
3	69	67	67	67.67
4	70	69	70	69.67
5	72	70	72	71.33
6	74	71	73	72.67
7	75	73	74	74.00
8	77	74	75	75.33
9	78	76	76	76.67
10	79	77	78	78.00
10	80	76	77	77.67
9	79	75	76	76.67
8	77	74	75	75.33
7	76	73	74	74.33
6	74	72	73	73.00
5	71	70	72	71.00
4	69	68	69	68.67
3	65	65	66	65.33
2	64	64	65	64.33
1	61	63	62	62.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการแสดงผลการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียง



รูปที่4.32 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 1 หลอด



รูปที่4.33 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 2 หลอด

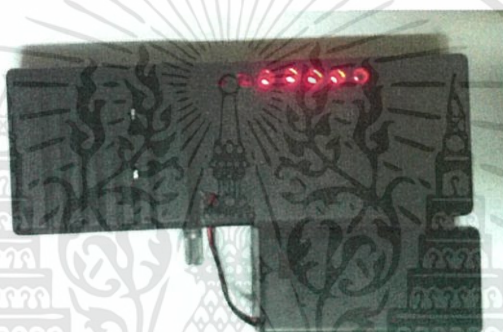


รูปที่4.34 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 3 หลอด

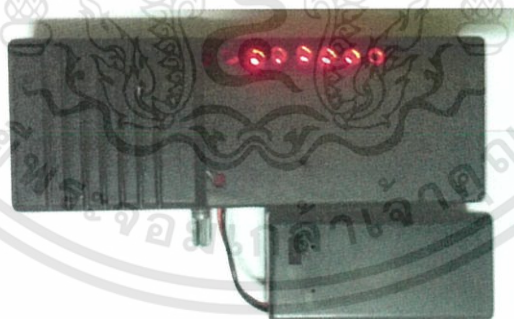
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 4 หลอด



รูปที่ 4.36 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 5 หลอด



รูปที่ 4.37 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 6 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 7 หลอด



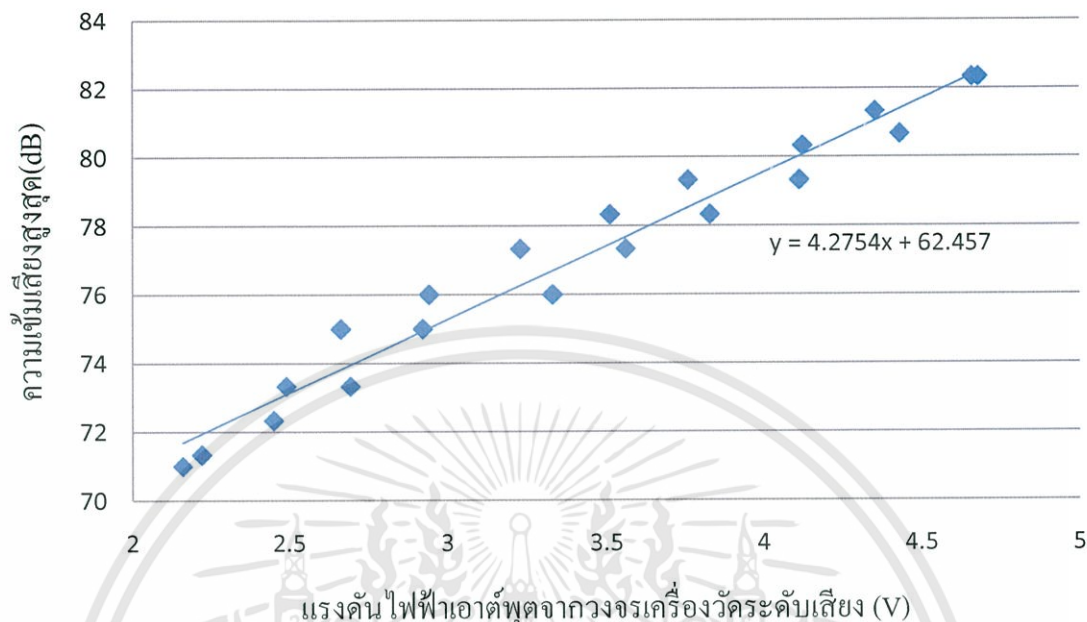
รูปที่ 4.39 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเมื่อ LED ติด 8 หลอด

4.4.2 การวิเคราะห์ผลการวัด

จากการวัดและการวิเคราะห์เนื่องการวัดเทียบค่าเดซิเบล โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบลเป็นตัวเปรียบเทียบ แล้วนำมาเขียนกราฟที่ 4.31 และ กราฟที่ 4.32 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะเป็นที่เปรียบเทียบระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในรูปแบบการวัดจำนวนหลอด LED ที่เพิ่มขึ้น และรูปแบบการวัดจำนวนหลอด LED ที่ลดลงซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงสูงสุด(dB)กับแรงดันไฟฟ้า

เอาต์พุตจากวงจรเครื่องวัดระดับเสียง (V)



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงสูงสุด (dB)กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจาก
วงจรเครื่องวัดระดับเสียง (V)

การคำนวณจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงสูงสุด(dB)กับแรงดันไฟฟ้า
เอาต์พุตจากวงจรเครื่องวัดระดับเสียง (V) จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟดังสมการ

$$Y = 4.275x + 62.45$$

นำมาเทียบกับสมการ output ดังสมการ

$$O(I) = kI + a$$

ดังนั้นการคำนวณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต LED ทั้ง 10 หลอด จะได้ดังนี้

$$O(I) = 4.275I + 62.45$$

$$O(I)_1 = 4.275(2.22) + 62.45 = 71.940 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_2 = 4.275(2.49) + 62.45 = 73.094 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_3 = 4.275(2.66) + 62.45 = 73.820 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_4 = 4.275(2.94) + 62.45 = 75.018 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_5 = 4.275(3.23) + 62.45 = 76.258 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_6 = 4.275(3.51) + 62.45 = 77.455 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_7 = 4.275(3.76) + 62.45 = 78.524 \text{ dB/V}$$

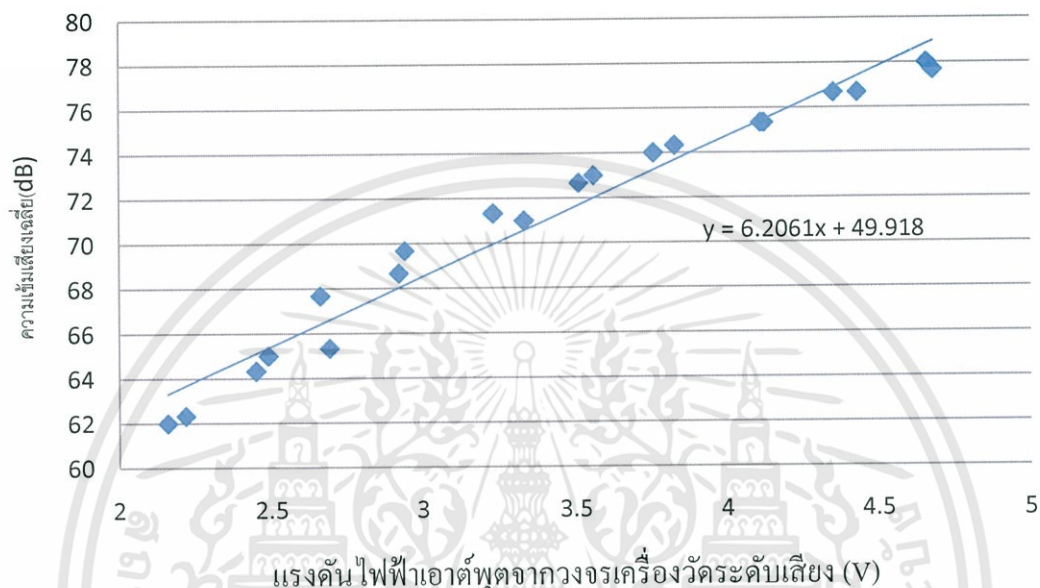
$$O(I)_8 = 4.275(4.12) + 62.45 = 80.063 \text{ dB/V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O(I)_9 = 4.275(4.35) + 62.45 = 81.046 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_{10} = 4.275(4.66) + 62.45 = 82.371 \text{ dB/V}$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงเฉลี่ย(dB)กับแรงดันไฟฟ้า
เอาต์พุตจากวงจรเครื่องวัดระดับเสียง (V)



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงเฉลี่ย(dB)กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจาก
วงจรเครื่องวัดระดับเสียง (V)

การคำนวณจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงเฉลี่ย(dB)กับแรงดันไฟฟ้า
เอาต์พุตจากวงจรเครื่องวัดระดับเสียง (V) จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟดังสมการ

$$Y = 6.206x + 49.91$$

นำมาเทียบกับสมการ output ดังสมการ

$$O(I) = kI + a$$

ดังนั้นการคำนวณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต LED ทั้ง 10 หลอด จะได้ดังนี้

$$O(I) = 6.206I + 49.91$$

$$O(I)_1 = 6.206(2.22) + 49.91 = 63.687 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_2 = 6.206(2.49) + 49.91 = 65.363 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_3 = 6.206(2.66) + 49.91 = 66.417 \text{ dB/V}$$

$$O(I)_4 = 6.206(2.94) + 49.91 = 68.155 \text{ dB/V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 O(I)_5 &= 6.206(3.23) + 49.91 &= 69.955 \text{ dB/V} \\
 O(I)_6 &= 6.206(3.51) + 49.91 &= 71.693 \text{ dB/V} \\
 O(I)_7 &= 6.206(3.76) + 49.91 &= 73.244 \text{ dB/V} \\
 O(I)_8 &= 6.206(4.12) + 49.91 &= 75.478 \text{ dB/V} \\
 O(I)_9 &= 6.206(4.35) + 49.91 &= 76.906 \text{ dB/V} \\
 O(I)_{10} &= 6.206(4.66) + 49.91 &= 78.820 \text{ dB/V}
 \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะได้ค่า Sensitivity ของความเข้มเสียงสูงสุดในหน่วยเดซิเบล = 4.275 และค่า Sensitivity ของความเข้มเสียงเฉลี่ยในหน่วยเดซิเบล = 6.206 ซึ่งค่าทั้งสองเราสามารถหาได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงสูงสุด(dB) กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากวงจรเครื่องวัดระดับเสียง (V) และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงเฉลี่ย(dB)กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากวงจรเครื่องวัดระดับเสียง(V) จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำการวัดวิเคราะห์ผลของวงจรวัดระดับเสียง แสดงผลในรูปแบบ LED จำนวน 10 หลอด เมื่อทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละจุด จากจุด A ถึงจุด G และทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองเป็นดังนี้

จุด A และจุด B เป็นการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายแบบผลต่าง ค่าที่ได้จากการวัดมีผลดังนี้ หลอด LED ดิจิต 1 หลอด มีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 1.07 mV และ 28.77 mV ตามลำดับ จนถึง หลอด LED ดิจิต 10 หลอด จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 2.93 mV และ 84.30 mV ตามลำดับ

จุด C และจุด D เป็นแรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรขยายกระแส ค่าที่ได้จากการวัดมีผลดังนี้ หลอด LED ดิจิต 1 หลอด มีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 28.47 mV และ 2.22 V ตามลำดับ จนถึง หลอด LED ดิจิต 10 หลอด จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 84.60 mV และ 4.66 V ตามลำดับ และเมื่อทำการคำนวณจากการวัดและวิเคราะห์ ค่า V_{CE} ตั้งแต่หลอดที่ 1 จะได้ค่าเท่ากับ 6.78 V จนถึงหลอดที่ 10 จะได้ค่าเท่ากับ 4.34 V ตามลำดับ

จุด E, F และจุด G แรงดันไฟฟ้าอินพุต-เอาต์พุตผ่านวงจรเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดมีผลดังนี้ หลอด LED ดิจิต 1 หลอด มีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 1.986 V, 2.153 V และ 1.848 V ตามลำดับ จนถึง หลอด LED ดิจิต 10 หลอด จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 4.588 V, 4.620V และ 1.882V ตามลำดับ และเมื่อทำการคำนวณจากการวัดและวิเคราะห์ อัตราการเปรียบเทียบ และการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอัตราการเปรียบเทียบ ตั้งแต่หลอดที่ 1 จะได้ค่าเท่ากับ 2.033 V จึงมีเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนประมาณ 2.311% ตามลำดับจนถึงหลอดที่ 10 จะได้ค่าเท่ากับ 4.647 V จึงมีเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนประมาณ 1.269%

จากการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องวัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล ซึ่ง เป็นการวัดเปรียบเทียบค่า PEAK และ Average ค่าที่ได้จากการวัดมีผลดังนี้ หลอด LED ดิจิต 1 หลอดจะมีค่าเท่ากับ 71.33 dB และ 62.33 dB ตามลำดับ จนถึง หลอด LED ดิจิต 10 หลอด จะมีค่าเท่ากับ 82.33 dB และ 78.00 dB ซึ่งจากค่าที่ได้ทำการวัดและทดลองจึงนำมาเขียนเป็นกราฟที่ได้ซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟที่วัด จะเป็น ที่เปรียบเทียบระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในรูปแบบการวัดจำนวนหลอด LED ที่เพิ่มขึ้น และรูปแบบการวัดจำนวนหลอด LED ที่ลดลงซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละจุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในขณะที่ทำการวัดเกิดเสียงภายนอกเข้ามารบกวน ความชำนาญ และประสบการณ์ของผู้ทำการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดควรวัดเมื่อหลอด LED ดิจ เริ่มต้น
2. ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าการวัดที่ที่ไม่มีเสียงอื่นรบกวน หรือเป็นสถานที่ที่เงียบ
3. ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทุกครั้งควรวัด 3 ครั้งเพื่อจะได้ผลที่แม่นยำ
4. ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ผู้ทำการวัดควรต้องมีสมาธิในการวัดเนื่องจากเสียงจะมีค่าความถี่ต่างกัน

5.4 ข้อจำกัด

1. ในการใช้เครื่องมือวัดนี้ จะใช้ได้เฉพาะภายในห้อง ไม่สามารถใช้งานกลางแจ้งได้
2. ควรเช็คแบตเตอรี่ ไมโครโฟนทุกครั้งก่อนทำการวัด
3. เครื่องมือวัดนี้ จะวัดได้ความถี่ที่ 100-16000 Hz เนื่องจากเป็นย่านความถี่ที่ไมโครโฟนสามารถรองรับได้

เอกสารอ้างอิง

- สาขาฯ เล็กช่อม. 2552. วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สาขาฯ เล็กช่อม. 2553. อิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. 2552. เขียนเครื่องเสียง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ทเลิร์นนิ่ง
- อนันต์ ศรีสกุล. 2552. พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ วัตต์กรุ๊ป

[Online].Available: www.maplesolution.com

[Online].Available: www.rmutphysics.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To all our customers

Regarding the change of names mentioned in the document, such as Hitachi Electric and Hitachi XX, to Renesas Technology Corp.

The semiconductor operations of Mitsubishi Electric and Hitachi were transferred to Renesas Technology Corporation on April 1st 2003. These operations include microcomputer, logic, analog and discrete devices, and memory chips other than DRAMs (flash memory, SRAMs etc.) Accordingly, although Hitachi, Hitachi, Ltd., Hitachi Semiconductors, and other Hitachi brand names are mentioned in the document, these names have in fact all been changed to Renesas Technology Corp. Thank you for your understanding. Except for our corporate trademark, logo and corporate statement, no changes whatsoever have been made to the contents of the document, and these changes do not constitute any alteration to the contents of the document itself.

Renesas Technology Home Page: <http://www.renesas.com>

Renesas Technology Corp.
Customer Support Dept.
April 1, 2003

Cautions

Keep safety first in your circuit designs!

1. Renesas Technology Corporation puts the maximum effort into making semiconductor products better and more reliable, but there is always the possibility that trouble may occur with them. Trouble with semiconductors may lead to personal injury, fire or property damage.
Remember to give due consideration to safety when making your circuit designs, with appropriate measures such as (i) placement of substitutive, auxiliary circuits, (ii) use of nonflammable material or (iii) prevention against any malfunction or mishap.

Notes regarding these materials

1. These materials are intended as a reference to assist our customers in the selection of the Renesas Technology Corporation product best suited to the customer's application; they do not convey any license under any intellectual property rights, or any other rights, belonging to Renesas Technology Corporation or a third party.
2. Renesas Technology Corporation assumes no responsibility for any damage, or infringement of any third-party's rights, originating in the use of any product data, diagrams, charts, programs, algorithms, or circuit application examples contained in these materials.
3. All information contained in these materials, including product data, diagrams, charts, programs and algorithms represents information on products at the time of publication of these materials, and are subject to change by Renesas Technology Corporation without notice due to product improvements or other reasons. It is therefore recommended that customers contact Renesas Technology Corporation or an authorized Renesas Technology Corporation product distributor for the latest product information before purchasing a product listed herein.
The information described here may contain technical inaccuracies or typographical errors.
Renesas Technology Corporation assumes no responsibility for any damage, liability, or other loss rising from these inaccuracies or errors.
Please also pay attention to information published by Renesas Technology Corporation by various means, including the Renesas Technology Corporation Semiconductor home page (<http://www.renesas.com>).
4. When using any or all of the information contained in these materials, including product data, diagrams, charts, programs, and algorithms, please be sure to evaluate all information as a total system before making a final decision on the applicability of the information and products. Renesas Technology Corporation assumes no responsibility for any damage, liability or other loss resulting from the information contained herein.
5. Renesas Technology Corporation semiconductors are not designed or manufactured for use in a device or system that is used under circumstances in which human life is potentially at stake. Please contact Renesas Technology Corporation or an authorized Renesas Technology Corporation product distributor when considering the use of a product contained herein for any specific purposes, such as apparatus or systems for transportation, vehicular, medical, aerospace, nuclear, or undersea repeater use.
6. The prior written approval of Renesas Technology Corporation is necessary to reprint or reproduce in whole or in part these materials.
7. If these products or technologies are subject to the Japanese export control restrictions, they must be exported under a license from the Japanese government and cannot be imported into a country other than the approved destination.
Any diversion or reexport contrary to the export control laws and regulations of Japan and/or the country of destination is prohibited.
8. Please contact Renesas Technology Corporation for further details on these materials or the products contained therein.

2SC458(K)

Silicon NPN Epitaxial

RENESAS

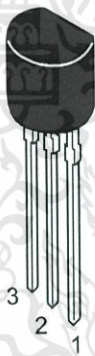
ADE-208-1045 (Z)
1st. Edition
Mar. 2001

Application

- Low frequency amplifier
- Medium speed switching

Outline

TO-92 (1)



1. Emitter
2. Collector
3. Base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2SC458 (K)

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Ratings	Unit
Collector to base voltage	V_{CBO}	30	V
Collector to emitter voltage	V_{CEO}	30	V
Emitter to base voltage	V_{EBO}	5	V
Collector current	I_C	100	mA
Emitter current	I_E	-100	mA
Collector power dissipation	P_C	200	mW
Junction temperature	T_J	150	°C
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +150	°C

Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test conditions
Collector to base breakdown voltage	$V_{(BR)CBO}$	30	—	—	V	$I_C = 10 \mu A, I_E = 0$
Collector to emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CEO}$	30	—	—	V	$I_C = 1 \text{ mA}, R_{BE} =$
Emitter to base breakdown voltage	$V_{(BR)EBO}$	5	—	—	V	$I_E = 10 \mu A, I_C = 0$
Collector cutoff current	I_{CBO}	—	—	0.5	μA	$V_{CB} = 18 \text{ V}, I_E = 0$
Emitter cutoff current	I_{EBO}	—	—	1.0	μA	$V_{EB} = 4 \text{ V}, I_C = 0$
DC current transfer ratio	h_{FE}^{*1}	100	—	500		$V_{CE} = 1 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$
Collector to emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	—	—	0.4	V	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1 \text{ mA}$
Base to emitter voltage	$V_{BE(sat)}$	—	—	1.0	V	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1 \text{ mA}$
Gain bandwidth product	f_T	100	—	—	MHz	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$
Collector output capacitance	C_{ob}	—	—	4	pF	$V_{CB} = 10 \text{ V}, I_E = 0, f = 1 \text{ MHz}$
Turn on time	t_{on}	—	80	—	ns	$I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = -10 \text{ mA}, I_{B2} = 10 \text{ mA}, V_{CC} = 10 \text{ V}$
Turn off time	t_{off}	—	300	—	ns	
Storage time	t_{slg}	—	260	—	ns	$I_C = I_{B1} = -I_{B2} = 20 \text{ mA}, V_{CC} = 5 \text{ V}$

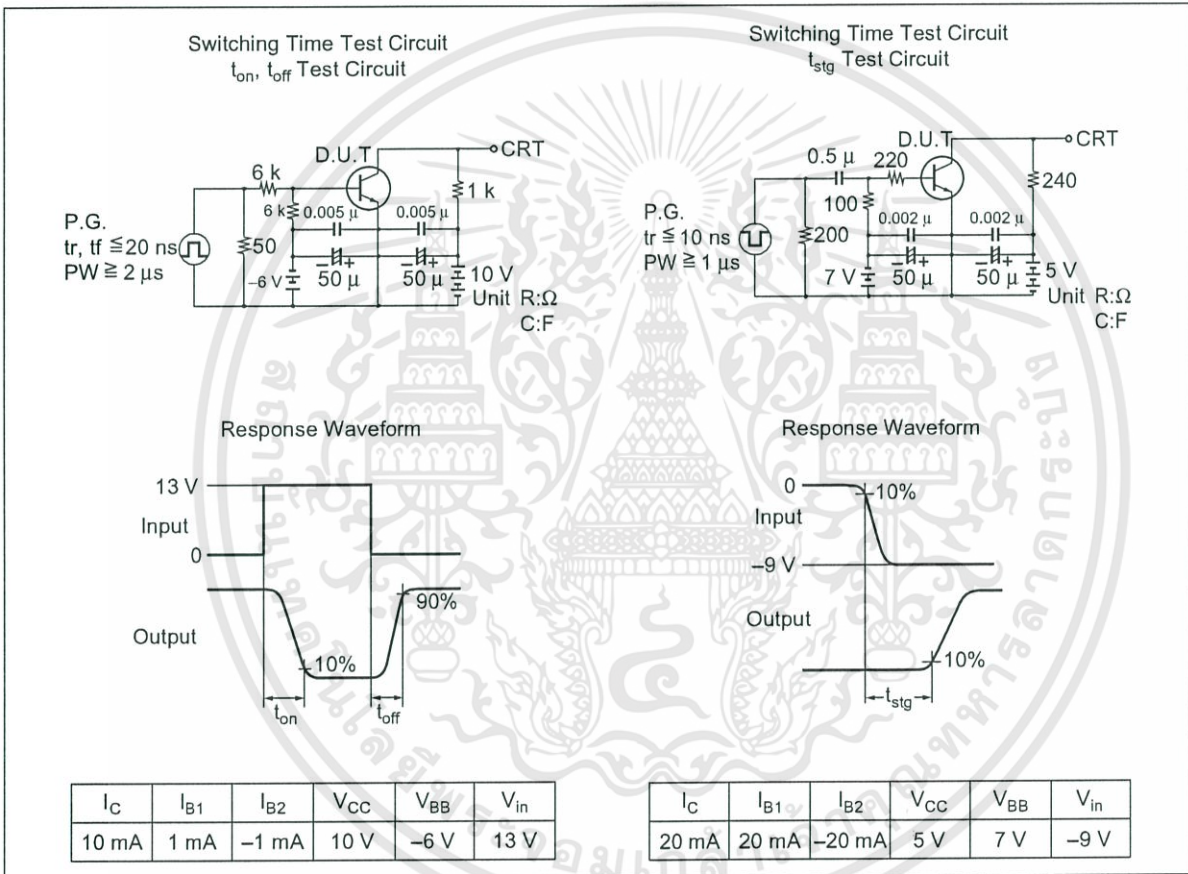
Note: 1. The 2SC458 (K) is grouped by h_{FE} as follows.

B	C	D
100 to 200	160 to 320	250 to 500

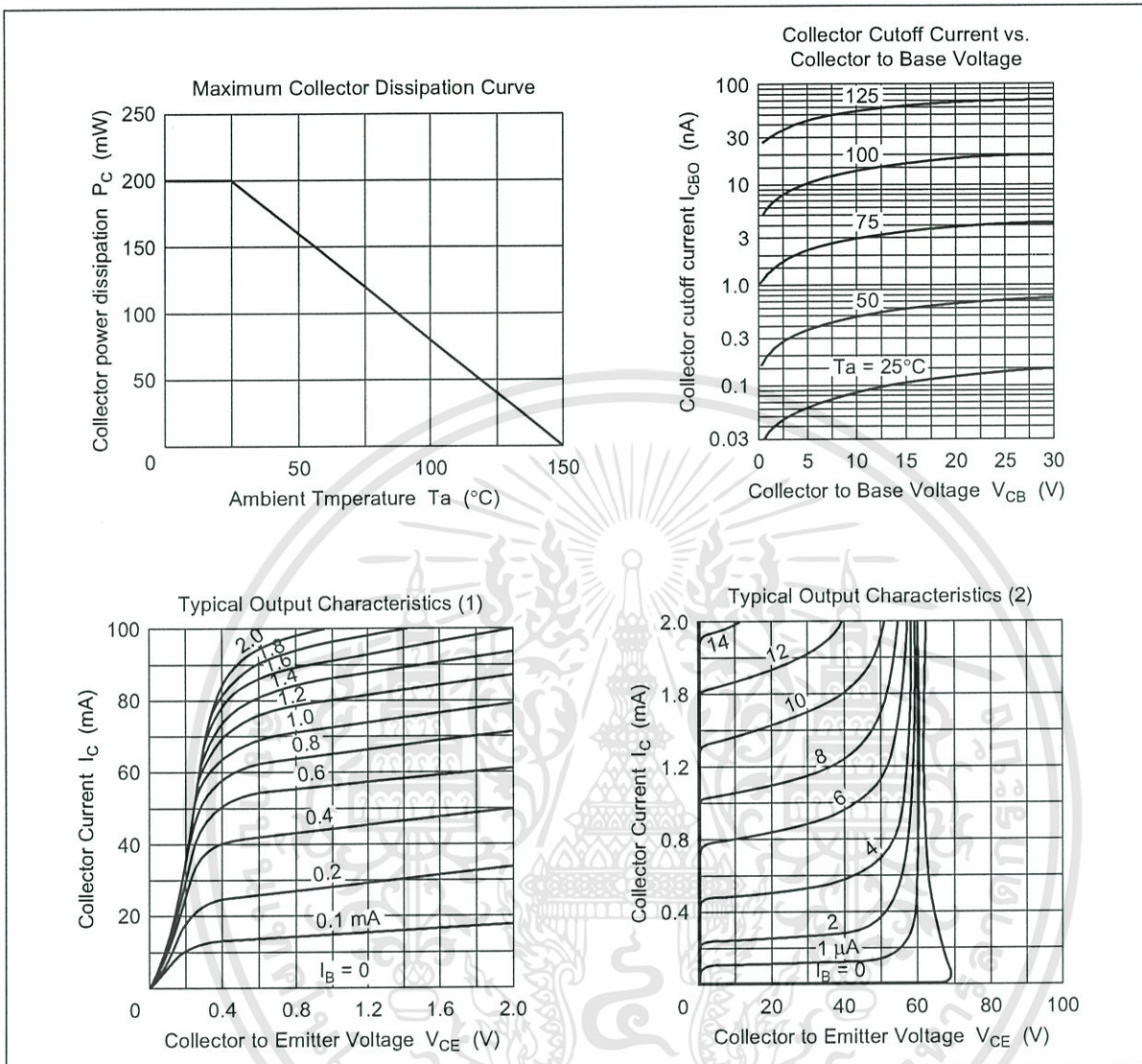
RENESAS

Small Signal h Parameters

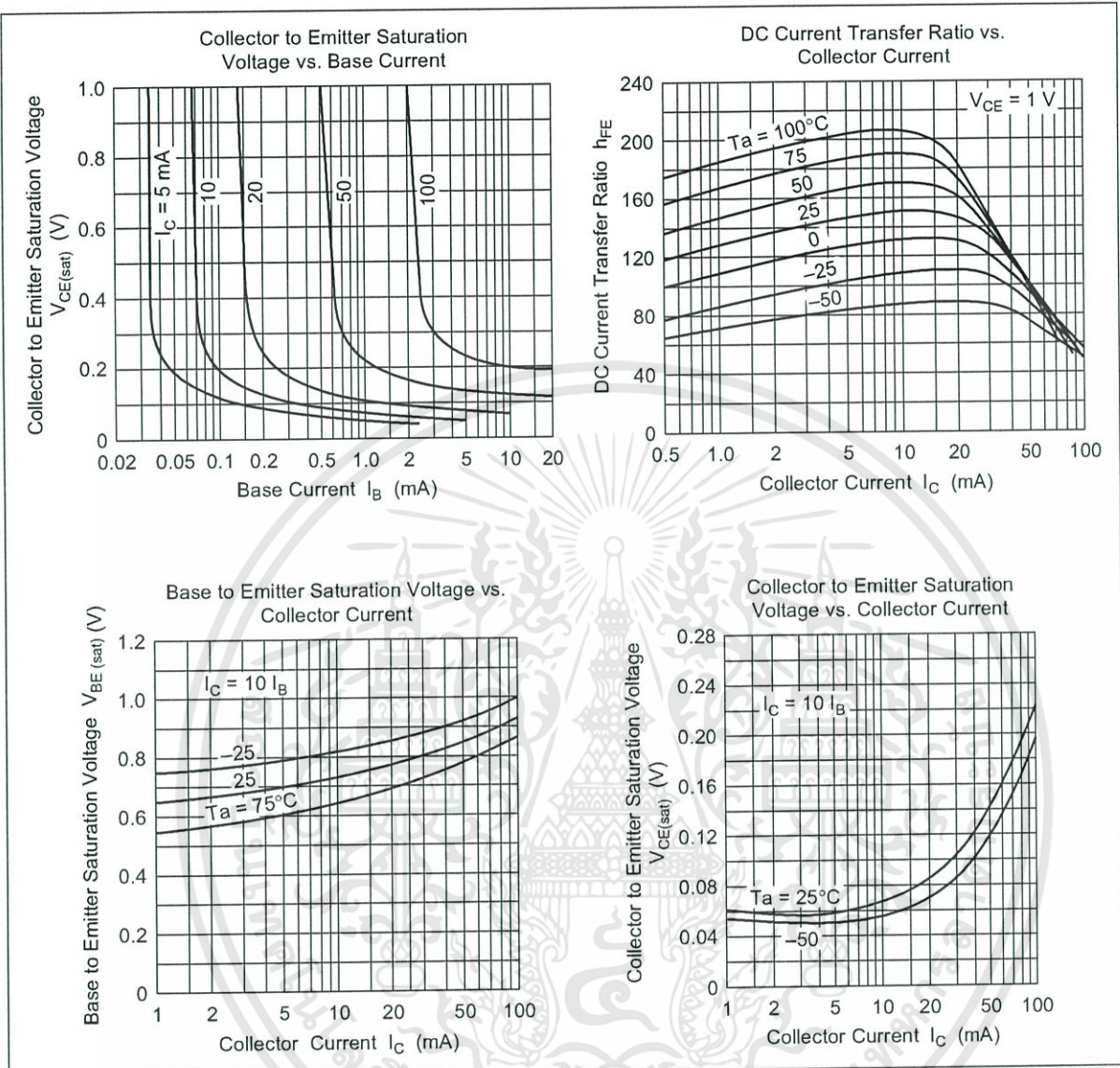
Item	Symbol	Typ	Unit	Test conditions
Input impedance	h_{ie}	16.5	k Ω	$V_{CE} = 5\text{ V}$, $I_C = 0.1\text{ mA}$, $f = 270\text{ Hz}$
Voltage feedback ratio	h_{re}	70	$\times 10^{-6}$	
Current transfer ratio	h_{fe}	130		
Output admittance	h_{oe}	11	μS	

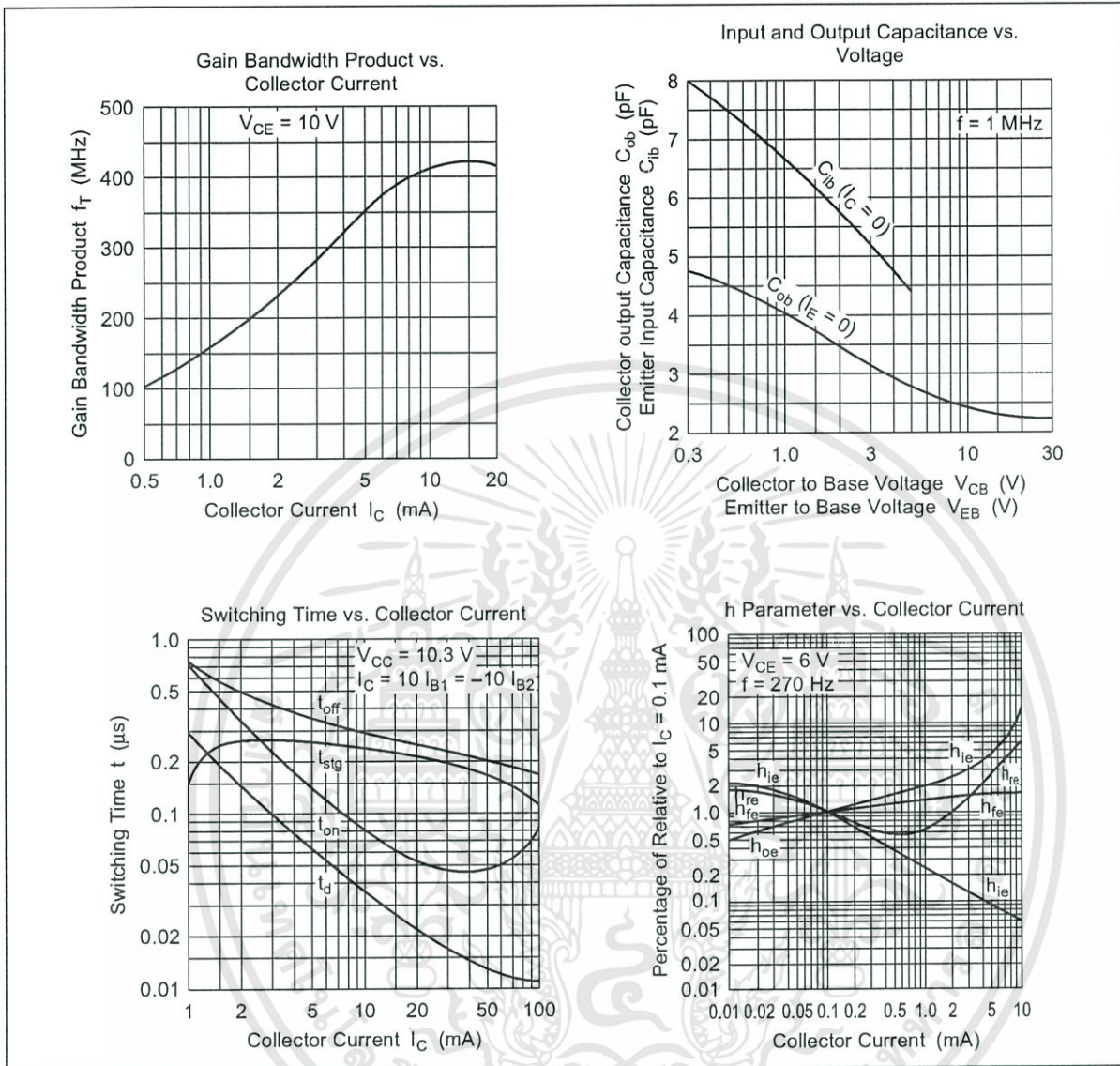


2SC458 (K)

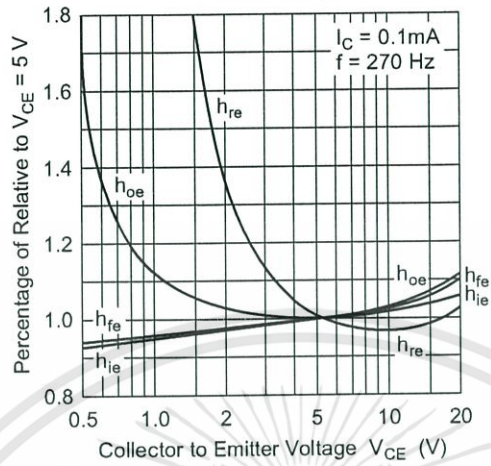


RENESAS





h Parameter vs. Collector to Emitter Voltage

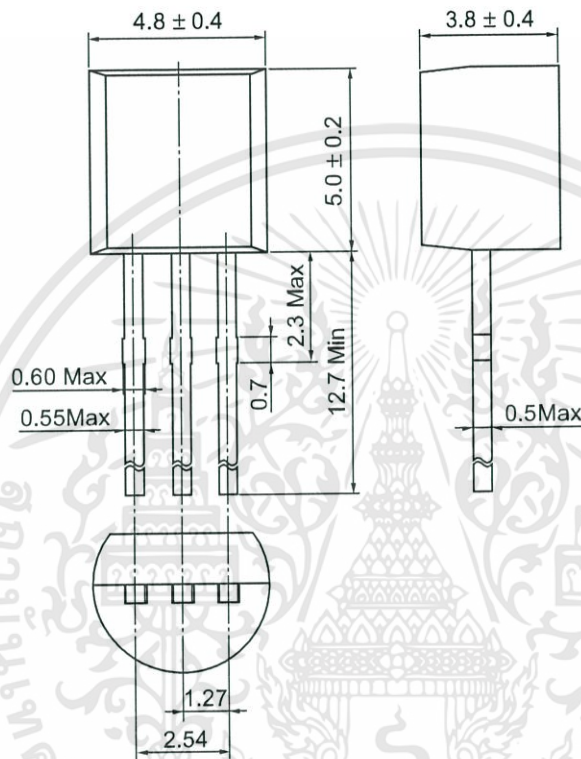


2SC458 (K)

Package Dimensions

As of January, 2001

Unit: mm



Hitachi Code	TO-92 (1)
JEDEC	Conforms
EIAJ	Conforms
Mass (reference value)	0.25 g

RENESAS

8
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cautions

1. Hitachi neither warrants nor grants licenses of any rights of Hitachi's or any third party's patent, copyright, trademark, or other intellectual property rights for information contained in this document. Hitachi bears no responsibility for problems that may arise with third party's rights, including intellectual property rights, in connection with use of the information contained in this document.
2. Products and product specifications may be subject to change without notice. Confirm that you have received the latest product standards or specifications before final design, purchase or use.
3. Hitachi makes every attempt to ensure that its products are of high quality and reliability. However, contact Hitachi's sales office before using the product in an application that demands especially high quality and reliability or where its failure or malfunction may directly threaten human life or cause risk of bodily injury, such as aerospace, aeronautics, nuclear power, combustion control, transportation, traffic, safety equipment or medical equipment for life support.
4. Design your application so that the product is used within the ranges guaranteed by Hitachi particularly for maximum rating, operating supply voltage range, heat radiation characteristics, installation conditions and other characteristics. Hitachi bears no responsibility for failure or damage when used beyond the guaranteed ranges. Even within the guaranteed ranges, consider normally foreseeable failure rates or failure modes in semiconductor devices and employ systemic measures such as fail-safes, so that the equipment incorporating Hitachi product does not cause bodily injury, fire or other consequential damage due to operation of the Hitachi product.
5. This product is not designed to be radiation resistant.
6. No one is permitted to reproduce or duplicate, in any form, the whole or part of this document without written approval from Hitachi.
7. Contact Hitachi's sales office for any questions regarding this document or Hitachi semiconductor products.

HITACHI

Hitachi, Ltd.

Semiconductor & Integrated Circuits,
Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan
Tel: Tokyo (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL NorthAmerica : <http://semiconductor.hitachi.com/>
Europe : <http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg>
Asia : <http://sicapac.hitachi-asia.com>
Japan : <http://www.hitachi.co.jp/Sicd/indx.htm>

For further information write to:

Hitachi Semiconductor (America) Inc.
179 East Tasman Drive,
San Jose, CA 95134
Tel: <1> (408) 433-1990
Fax: <1> (408) 433-0223

Hitachi Europe GmbH
Electronic Components Group
Dornacher Straße 3
D-85622 Feldkirchen, Munich
Germany
Tel: <49> (89) 9 9180-0
Fax: <49> (89) 9 29 30 00

Hitachi Europe Ltd.
Electronic Components Group.
Whitebrook Park
Lower Cookham Road
Maidenhead
Berkshire SL6 8YA, United Kingdom
Tel: <44> (1628) 585000
Fax: <44> (1628) 585160

Hitachi Asia Ltd.
Hitachi Tower
16 Collyer Quay #20-00,
Singapore 049318
Tel: <65>-538-6533/538-8577
Fax: <65>-538-6933/538-3877
URL: <http://www.hitachi.com.sg>

Hitachi Asia Ltd.
(Taipei Branch Office)
4/F, No. 167, Tun Hwa North Road,
Hung-Kuo Building,
Taipei (105), Taiwan
Tel: <886>-(2)-2718-3666
Fax: <886>-(2)-2718-8180
Telex: 23222 HAS-TP
URL: <http://www.hitachi.com.tw>

Hitachi Asia (Hong Kong) Ltd.
Group III (Electronic Components)
7/F., North Tower,
World Finance Centre,
Harbour City, Canton Road
Tsim Sha Tsui, Kowloon,
Hong Kong
Tel: <852>-(2)-735-9218
Fax: <852>-(2)-730-0281
URL: <http://www.hitachi.com.hk>

Copyright © Hitachi, Ltd., 2000. All rights reserved. Printed in Japan.
Colophon 2.0

RENESAS

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

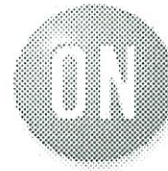
The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent 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.)

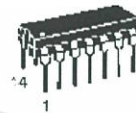
Rating	Symbol	LM224, LM324, LM324A	LM2902, LM2902V	Unit
Power Supply Voltages	Single Supply V_{CC}	32	26	Vdc
	Split Supplies V_{CC}, V_{EE}	16	13	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{DIF}	..32	..26	Vdc
Input Common-Mode Voltage Range	V_{CM}	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short-Circuit Duration	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 Ranges	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®

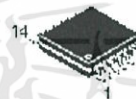
<http://onsemi.com>



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646

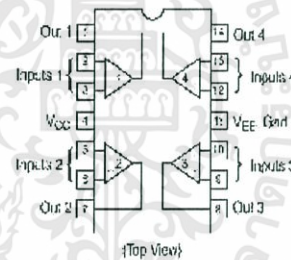


SO-14
D SUFFIX
CASE 751A



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.