

การลดเสียงภายในห้องโดยสารด้วยการสร้างความถี่มาหักล้างกับความถี่เดิมแบบฟีดแบคคอนโทรล

NOISE REDUTION INSIDE VEHICLE USING ANTIPHASE FREQUENCY TYPE
FEEDBACK COTROL



นาย กรกฎ บัญญัติ
นาย สุทธิชัย แก้วแก้วดวง
นาย สุทิน พลบูรณ์

พ.ศ.
๒๕๕๓
๕๕๕

เลขหนังสือ.....
เลขทะเบียน..... 42454
วัน, เดือน, ปี..... 23 พ.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดเสียงภายในห้องโดยสารด้วยการสร้างความถี่มาหักล้างกับความถี่เดิมแบบฟีดแบคคอนโทรล

NOISE REDUTION INSIDE VEHICLE USING ANTIPHASE FREQUENCY TYPE
FEEDBACK COTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การลดเสียงภายในห้องโดยสารด้วยการสร้างควมถี่มาหักล้างกับความถี่เดิมแบบฟีดแบค
คอนโทรล

NOISE REDUCTION INSIDE VEHICLE USING ANTIPHASE FREQUENCY TYPE
FEEDBACK CONTROL

ผู้จัดทำ

1. นาย กรกฏ บัญจันทร์ รหัสประจำตัว 40010009
2. นาย สุทธิชัย แก้วแก้วควง รหัสประจำตัว 40010876
3. นาย สุทิน พลบูรณ์ รหัสประจำตัว 40010880


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. อัครเดช สินธุภัก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดเสียงภายในห้องโดยสารด้วยการสร้างความถี่มาหักล้างกับความถี่เดิมแบบพีคแบคคอนโทรล

กรกฎ	บุญจันทร์	40010009
สุทธิชัย	แก้วแก้วดวง	40010876
สุทิน	พลบูรณ์	40010880
รศ. อัครเดช	สินธุ์ภัก	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543		

บทคัดย่อ

รายงานนี้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการลดเสียงภายในห้องโดยสาร โดยการหักล้างเฟสที่ใช้ระบบแบบแอกทีฟ (Active Noise Control System) ซึ่งเป็นระบบที่มีการประมวลผลสัญญาณโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คลื่นเสียงรบกวนที่เข้ามาจะถูกตรวจจับโดยไมโครโฟนและรับสัญญาณเอาไว้โดยทันทีแล้วส่งเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณเสียงออกไปชดเชยโดยการกลับเฟสอย่างรวดเร็ว สัญญาณเสียงที่สร้างชดเชยที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่ (Frequency), แอมพลิจูด (Amplitude) และ ความยาวคลื่น ที่มีค่าเท่ากับกับคลื่นเสียงที่ส่งเข้าไปประมวลผลยังไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่จะกลับเฟสไป 180 องศา เพื่อเพิ่มความสามารถในการหักล้างเฟสของคลื่นเสียงทั้งสองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการทดลองนี้ เราจะใช้ความถี่ของคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำไปจนถึงความถี่สูงป้อนเข้าไปในชุดทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้เราพบว่าเมื่อความถี่ของเสียงที่เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ความสามารถในการลดเสียงจะไม่เพิ่มขึ้นตามเลย ก่อนข้างจะคงที่ ส่วนคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำเป็นคลื่นเสียงที่มีการลดได้ดีในระดับหนึ่ง แต่มีข้อแม้ว่า คลื่นนั้นต้องมีลักษณะเป็นเชิงเส้น หรือ เป็นคลื่นที่มีความถี่นั่นเอง

Noise Reduction Inside Vehicle Using Antiphase Frequency Type Feedback Control

Korrakot Bunjan

Suttichai Kawkouduang

Suthin Phonboon

Associate Professor Akkaradet Sintuphak Advisor

2000

ABSTRACT

This report learns about the performance of noise reduction inside vehicle for the phase cancellation by using Active Noise Control or (ANC) system. This system has the signal processing work by microcontroller board. An acoustic will be detected by microphone and received that signal immediately and passed through to microcontroller. After that microcontroller board will do the acoustic signal compensation deliver to be phase cancel with noise rapidly. The acoustic signal compensation of microcontroller board create the wave which its frequency, amplitude wave length value is equal to the noise wave adding with the ability of making the shift phase about 180 degree in order to the highest efficiency in the phase cancellation of both wave. In the experimental, we change frequency value of noise wave from low to height frequency input to the lab equipments. The result finding, the frequency increase respectively, the ability of noise reduction will not increase. It is also good for reducing the noise in low frequency bandwidth, but their must is the noise with linear notation wave or is consistent frequency.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเรื่องเสียง การควบคุมเสียง การลดเสียงรบกวน จาก รศ.อัครเดช สิริธวัช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ พี่มานพ ปานะโปย พี่ปริญญาโท เป็นอย่างสูง ที่คอยดูแล เอาใจใส่และคอยสอนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนความรู้ต่างๆ ที่พี่คอยสอนอยู่ตลอดเวลา ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างบุญคุณในครั้งนี้เป็นอย่างมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจจนงานสำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ภายในกลุ่มที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี งานของเราบรรลุผลสำเร็จลงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงจะมีสำหรับปริญญาบัตรนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเรื่องเสียง	1
1.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	5
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.4 ขอบเขตของการศึกษางานวิจัย	6
1.5 วิธีการดำเนินงาน	6
บทที่ 2 ทฤษฎีการหักล้างเสียงรบกวน	7
2.1 ทฤษฎีการหักล้างเฟสของเสียง	7
2.2 การออกแบบและการวิเคราะห์ระบบเพื่อนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และการออกแบบ	18
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงหักล้าง	18
3.2 Block Diagram ของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงหักล้าง	20
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	21
4.1 การทดลองแบบพีคฟอร์เวิร์ด	21
4.2 การทดลองแบบพีคแบค	22
4.3 ผลการทดลอง	23
4.3.1 ผลการทดลองแบบพีคฟอร์เวิร์ด	23
4.3.2 ผลการทดลองแบบพีคแบค	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์	51
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 บทวิจารณ์	51
5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก. ตัวอย่าง โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	53
ภาคผนวก ข. ตัวอย่าง โปรแกรมที่ใช้ในการเปิด Port	59
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงความดังของเสียงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	60
ภาคผนวก ง. แสดงความสัมพันธ์ของเวลาทำงานกับระดับเสียงที่ติดตั้งติดต่อกัน	61
บรรณานุกรม	62



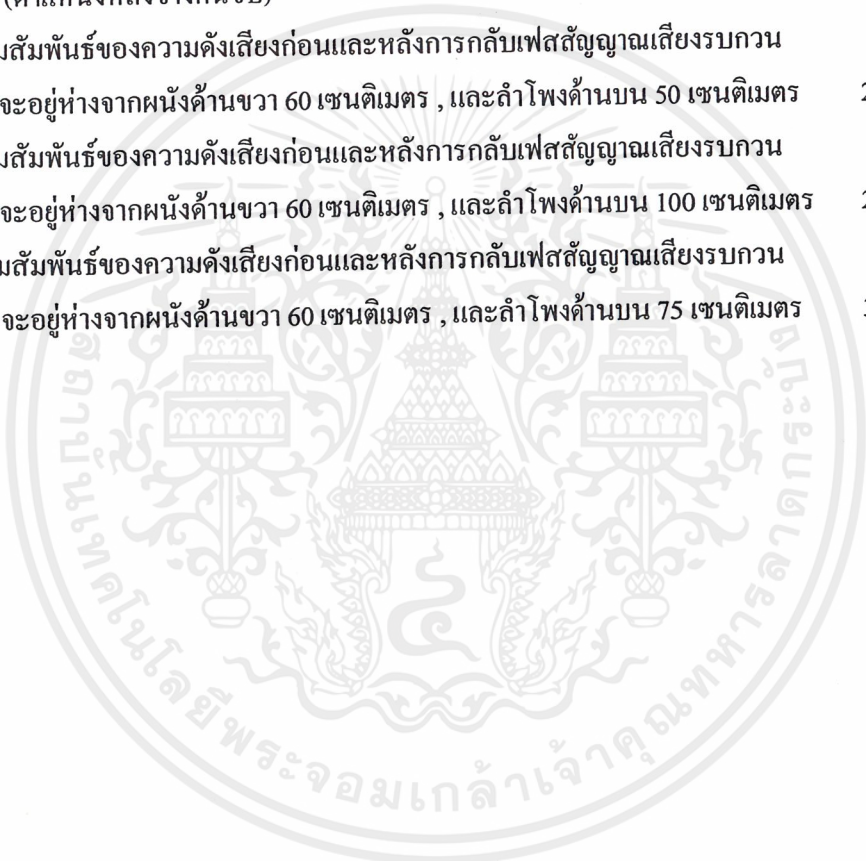
สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2-1 พื้นฐานของการกำจัดเสียงรบกวนแบบแอคทีฟ	7
2-2 แสดง Block Diagram ของระบบ Active Noise Control	8
2-3 แสดง Secondary Source และ Primary Source ที่อยู่ในระบบ 2 มิติ	13
2-4 แสดง Block Diagram แบบพื้นฐานในการเขียนโปรแกรม	14
2-5 แสดง Block Diagram ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์	16
3-1 แสดง Block Diagram ของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงหักล้าง	20
4-1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองแบบพีคฟอว์เวิร์ด	21
4-2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองแบบพีคฟอว์เวิร์ด	22
4-3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองแบบพีคแบค	23
4-4 แสดงตำแหน่งที่วางไมโครโฟนโดยแต่ละจุดห่างกัน 20 เซนติเมตร	23
4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางติดกัน , ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซนติเมตร	24
4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร , ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซนติเมตร	24
4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางติดกัน , ระยะห่างไมโครโฟน 40 เซนติเมตร	25
4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร , ระยะห่างไมโครโฟน 40 เซนติเมตร	25
4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางติดกัน , ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซนติเมตร	26
4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร , ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซนติเมตร	26
4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร , และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร (ตำแหน่งคนขับ)	27
4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร , และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร (ตำแหน่งข้างคนขับ)	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความเสี่ยงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร , และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร (ตำแหน่งหลังคนขับ)	28
4-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความเสี่ยงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร , และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร (ตำแหน่งหลังข้างคนขับ)	28
4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความเสี่ยงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร , และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร	29
4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความเสี่ยงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร , และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร	29
4-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความเสี่ยงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร , และลำโพงด้านบน 75 เซนติเมตร	30



สารบัญญัตินี้

ตารางที่	หน้า
1-1 แสดงลักษณะความดังของเสียง	3
1-2 แสดงระดับเสียงของพาหะชนิดต่างๆ	4
1-3 แสดงระดับเสียงของแหล่งเสียงประเภทไม่เคลื่อนที่	4
4-1 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซนติเมตร	32
4-2 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซนติเมตร	33
4-3 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 60 เซนติเมตร	35
4-4 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 60 เซนติเมตร	36
4-5 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซนติเมตร	38
4-6 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซนติเมตร	39
4-7 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร และ ลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร	41
4-8 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร	42
4-9 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร	44
4.10 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร	45
4.11 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และ ลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร	47
4.12 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร	48
4.13 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และ ลำโพงด้านบน 75 เซนติเมตร	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

$G_{pp}(\omega)$ = auto power spectral density ของ primary wave ($p(t)$)

$G_{ss}(\omega)$ = auto power spectral density ของ secondary wave ($s(t)$)

$G_{ppo}(\omega)$ = auto power spectral density ของ primary wave ที่จุด O ($p_o(t)$)

$G_{sso}(\omega)$ = auto power spectral density ของ secondary wave ที่จุด O ($s_o(t)$)

$G_{cco}(\omega)$ = auto power spectral density ที่จุดสังเกต $o(t)$

ω = ความถี่ในหน่วยของเรเดียนต่อวินาที

K = Cancellation Factor

$G(j\omega)$ = Transfer Characteristic ของตัวกลางจากจุด S_p ไปยังจุดสังเกตด้วยระยะทาง r_g

$H(j\omega)$ = Transfer Characteristic ของตัวกลางจากจุด S_s ไปยังจุดสังเกตด้วยระยะทาง r_h

λ = ความยาวคลื่น

C = ความเร็วของเสียงในตัวกลาง

A = ค่าคงที่

k = เลขคลื่น (wave number)

β = Cross Spectral Density Factor

α = อัตราส่วนของความหนาแน่นพลังงานของคลื่นเสียงที่สองต่อเสียงที่หนึ่ง ที่จุดสังเกต

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเรื่องเสียง

เสียง เป็นพลังงานรูปหนึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุและทำให้ตัวกลางซึ่งปกติ คือ อากาศ สั่นสะเทือนไปด้วย การสั่นสะเทือนของอากาศทำให้เกิดความดันเป็นคลื่นส่งต่อไปจากแหล่งกำเนิด เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบหูเราจะได้ยินเสียง

เสียงแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

- ก. เสียงอึกทึก (Noise) หมายถึง เสียงที่คนเราไม่ต้องการ ไม่ปรารถนาหรือเป็นเสียงที่ไม่มี ความไพเราะ นุ่มนวล ฟังแล้วกระด้างหู เสียงอึกทึกนี้มีผลกระทบต่อกระเทือนทางด้านจิตใจ และถ้า นานๆ ไปอาจทำให้สุขภาพอนามัยเสื่อมและทำให้หูหนวกได้
- ข. เสียงสพอารมณ์ (Sound) หมายถึง เสียงที่ฟังแล้วทำให้เกิดมีความสบายใจมีความสุขสามารถ ปฏิบัติงานได้ดียิ่งขึ้น

1.1.1 ลักษณะของเสียงอึกทึก (Noise Nuisance)

เสียงอึกทึกมีอยู่ด้วยกัน 5 แบบ คือ

- ก. เสียงหึ่งที่เกิดขึ้นนานๆติดต่อกัน เช่น เสียงจากเครื่องยนต์ เสียงจากเครื่องทอผ้า
- ข. เสียงแหลมเล็กที่เกิดขึ้นนานๆ เช่น เสียงของเลื่อยวงเดือน
- ค. เสียงที่เกิดจากการกระทบในเวลาสั้นๆ เช่น เสียงที่เกิดจากฆ้องทุบเสียงเคาะดังเหล็ก เป็นต้น
- ง. เสียงที่เกิดจากการกระทบที่ดังมากเป็นจังหวะหรือเป็นครั้งคราว เช่น เสียงเครื่องเจาะถนน
- จ. เสียงที่เกิดขึ้นเป็นพักๆ เช่น เสียงของการจราจร เสียงเครื่องบิน เป็นต้น

1.1.2 หน่วยที่ใช้วัดระดับเสียง

การวัดระดับเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ใช้วัดระดับความดังของเสียง โดยเทียบกับ ระดับมาตรฐาน เสียงที่เป็นระดับเสียงมาตรฐานในระดับหูของคนปกติจะรับ ได้มีค่าระหว่าง 0- 120 เดซิเบล ถือเป็นช่วงของระดับเสียงจากค่าต่ำสุดที่คนเราจะ ได้ยินขึ้นไปจนถึงระดับเสียงที่ทำให้เกิดความเจ็บปวดในหูได้ ความดังของเสียงขึ้นอยู่กับผู้ได้ยินว่าจะรู้สึกดังเกินกว่าที่เราจะฟังได้หรือไม่ ส่วนมากแล้ว ช่วงที่จะทนต่อเสียงได้สูงสุดเท่ากับ 3.5-4 กิโลไซเคิล (Kilocycles)

เสียงที่เกิดขึ้นอาจพิจารณาลักษณะของเสียงได้ 3 ประการ คือ

1. Pitch คือความถี่ของเสียง วัดเป็น Cycle per second (cps) หรือคิดเป็นหน่วย เรียกว่า Hertz (Hz) เสียงที่มีความถี่มากจะเป็นเสียงสูง ส่วนเสียงที่มีความถี่น้อยจะเป็นเสียงต่ำ หรือ เสียงหึ่ง คือ เสียงที่มีความถี่ต่ำ ตั้งแต่ 0 -16 Hz และเสียงแหลม คือเสียงที่มีความถี่สูง ตั้งแต่ 20,000 Hz ขึ้นไป
2. Intensity หมายถึง ความดังของเสียง (Pressure of sound) มีหน่วยวัดเป็น decibel (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Quality หมายถึง คุณสมบัติของเสียง เช่น เสียงบางชนิดอาจดังเกินไปรบกวนประสาท เป็นต้น

1.1.3 หูและการได้ยิน

หูแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. หูส่วนนอก
2. หูส่วนกลาง
3. หูส่วนใน

เมื่อคนเราได้ยินเสียง คลื่นเสียงจะผ่านเข้ามาในช่องหู กระแทบเยื่อแก้วหู เยื่อแก้วหูมีหน้าที่ปรับหรือกรองเสียงหรือลดระดับเสียงให้ปลอดภัย แล้วจึงปล่อยเสียงผ่านเข้าไปในหูส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความดังของเสียงจะทำให้เยื่อแก้วหูเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของเยื่อแก้วหูจะถูกส่งต่อไปยังหูส่วนกลาง โดยผ่านกระดูกชั้นเล็กๆ 3 ชั้น กระดูกชั้นแรก คือ กระดูกฆ้อง ซึ่งติดอยู่กับเยื่อแก้วหู กระดูกชั้นที่ 2 คือ กระดูกทั่ง ซึ่งอยู่ระหว่างกระดูกฆ้อง และกระดูกโกลน กระดูกชั้นที่ 3 คือ กระดูกโกลน ซึ่งเป็นส่วนนำเสียงไปสู่หูส่วนกลาง หรือ คลอเคลีย ภายในหูส่วนในจะเต็มไปด้วยของเหลวที่เคลื่อนไหวได้ เนื่องจากสั่นสะเทือนของปลายกระดูกโกลน การเคลื่อนไหวของเหลวในหูส่วนในจะกระตุ้นเซลล์เล็กๆ ที่มีขน (Hair cells) ของคลอเคลียซึ่งมีอยู่ประมาณ 20,000 เซลล์ ทำหน้าที่เปลี่ยนการสั่นสะเทือนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งต่อไปยังปลายประสาทของเซลล์ขน เพื่อส่งต่อไปตามเส้นประสาทของการได้ยิน ไปสู่ประสาทส่วนกลางในสมอง และทำให้เกิดการได้ยินและแปลออกมาให้เข้าใจ

ถ้าหูได้รับเสียงดังมากๆจนเกินไป นอกจากจะทำให้เยื่อแก้วหูขาดได้แล้ว ยังทำให้เกิดความผิดปกติหรือความพิการ และไม่ได้ยินเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าสมัยนี้การแพทย์จะเจริญก้าวหน้าถึงกับมีการผ่าตัดเปลี่ยนแปลงเยื่อแก้วหูใหม่ แต่การกระทำต้องเสียค่าใช้จ่ายมากและถ้าความพิการนี้ เกิดขึ้นกับปลายประสาทที่เกี่ยวกับการได้ยินแล้ว ไม่มีทางที่จะรักษาให้หาย ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกคนควรคำนึงให้มากในข้อนี้

ความดังของเสียง	เสียงพูดและการได้ยิน	สิ่งที่ทำให้เกิดเสียงต่างๆไป
140	ชั้นที่ทำให้ปวดหู	เสียงสัญญาณภัยขนาดใหญ่ระยะ 100 เมตร
130	ทำให้ระคายหู	เสียงเครื่องบินระยะไกล
120	สะท้อนแก้วหู	เสียงเครื่องบินระยะใกล้
110	ขึ้นดังกินความต้องการ	เสียงเครื่องยนต์ในโรงงาน
100	เสียงตะโกนข้างหูระยะ 1 ฟุต	เสียงรถไฟระยะใกล้ๆ วิทยุดังมากๆ เสียงคนตรีบรรเลงดังมากๆ
90- 80	เสียงตะโกนดังมากๆ	“ “ “
70 –60	เสียงสนทนาธรรมดาๆ	เสียงในตลาด สถานที่จอแจ
50 – 40	เสียงพูดค่อยๆ	เสียงวิทยุค่อยๆในบ้าน
30 – 20	เสียงกระซิบ	เสียงนาฬิกาเดินพอได้ยิน
10	เสียงแผ่วเบา	เสียงนอกร้านยามส่งด
0	เสียงดังที่มนุษย์สามารถได้ยินได้	(Good hearing)

ตารางที่ 1-1 แสดงลักษณะความดังของเสียง

ตามปกติเสียงที่ดังเกิน 75 dB เป็นเสียงที่ควรหลีกเลี่ยงหรือป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาทหู เสียงดังระดับ 130 dB จะทำให้เกิดปวดหูได้

เสียงในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป จะดังประมาณ 70 – 90 dB แต่ในโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานผลิตและแปรรูปโลหะ โรงเลื่อย โรงงานทอผ้า จะมีระดับเสียงสูงกว่า โรงงานปกติโดยอยู่ที่ระดับ 90 – 100 dB โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในโรงงานทอผ้า ที่ใช้กระสวยอัตโนมัติจะมีเสียงดังมากอาจทำให้แก้วหูแตกได้

1.1.4 แหล่งของมลพิษทางเสียง

1.1.4.1 ประเภทเคลื่อนที่

แหล่งกำเนิดเสียงประเภทเคลื่อนที่ได้แก่ ยวดยานพาหนะ ซึ่งจากผลการสำรวจและวิจัยพบว่าพาหนะชนิดต่างๆก่อให้เกิดระดับเสียงดังนี้

ชนิดของพาหนะ	ระดับเสียง (dB)	หมายเหตุ
รถบรรทุกสิบล้อ	96.1	วัดที่ระยะ 4.6 เมตรสเกลเอ
สามล้อเครื่อง	91.8	”
รถบรรทุก	88.5	”
มอเตอร์ไซค์	87.5	”
รถตู้	87.2	”
รถแท็กซี่	87.1	”
รถโดยสาร	86.8	”
รถยนต์	84.5	”
เรือยนต์	86 – 96	วัดที่ระยะ 1 เมตร ความถี่ในการวัด 125 – 4,000 เฮิรท์

ตารางที่ 1-2 แสดงระดับเสียงของพาหนะชนิดต่างๆ

1.1.4.2 ประเภทไม่เคลื่อนที่

แหล่งกำเนิดเสียงประเภทนี้ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆซึ่งจากสำรวจวิจัยพบว่าก่อให้เกิดระดับเสียงที่จะยกมาเป็นตัวอย่างดังนี้

ประเภทของแหล่งเสียง	ระดับเสียง (dB)	หมายเหตุ
โรงงานทอผ้า	83 – 98	ขึ้นอยู่กับชนิดของแผนก
โรงงานซ่อมเครื่องบิน	71 – 113	ความถี่ 125- 4000 เฮิรท์ ระดับเสียงขึ้น อยู่กับชนิดของแผนก
โรงงานสุราบางยี่ขัน	68 – 97	ความถี่ 125- 4000 เฮิรท์ ระดับเสียงขึ้น อยู่กับชนิดของแผนก
โรงงานผลิตท่อพลาสติก	97	-
โรงงานองค์การแก้ว	94 – 97	ความถี่ 125- 4000 เฮิรท์

ตารางที่ 1-3 แสดงระดับเสียงของแหล่งเสียงประเภทไม่เคลื่อนที่

1.1.5 ผลกระทบจากมลพิษทางเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 1.1.5.1 อาการที่เกิดขึ้นเนื่องจากเสียงอีกทีก็เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาการที่เกิดขึ้นเมื่อคนเราได้รับฟังเสียงดังมากๆ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. อาการที่เกิดขึ้นกับหูโดยตรง เมื่อคนเราได้รับฟังเสียงดังมากๆ เป็นเวลานานๆ ติดต่อกันอาจทำให้เกิดอาการหูตึงหรือหนวก คือ ทำให้ไม่ได้ยิน การพูดคุยแบบธรรมดา ซึ่งทั้งนี้ก็มีข้อพิจารณาไป ถ้าบุคคลนั้นไม่ได้ยินต่ำกว่า 10 วัน ถือว่า เป็นหูหนวกชั่วคราว แต่ถ้าไม่ได้ยินตั้งแต่ 10 วันขึ้นไป ถือว่า เป็นหูหนวกถาวร ข้อพิจารณานี้อาจไม่แน่นอน การพิจารณาที่แน่นอนควรจะได้มีการตรวจสภาพการได้ยินของหูด้วย เครื่องมือทดสอบสภาพการได้ยิน (Audiometer) ซึ่งจะเป็นเครื่องตัดสินได้แน่นอนที่สุด
2. อาการที่ไม่เกิดขึ้นกับหูโดยตรง ได้แก่ ทำให้เกิดความอ่อนเพลียแรงทั้งทางร่างกาย และจิตใจ เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เกิดความหงุดหงิด ซึ่งบางทีก็เป็นสาเหตุให้เกิดโรคประสาทได้ การแสดงออกของบุคคลเปลี่ยนไป เช่น เกิดการรำคาญ เสียบุคลิกลักษณะลดความคุ้นเคยซึ่งกันและกัน เสียสมาธิ เสียขวัญ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานลดลง ทำให้การส่งงานผิดพลาดได้ง่าย เพิ่มอัตราการเกิดอุบัติเหตุ

1.1.5.2 หลักการควบคุมป้องกันมลพิษทางเสียง

- 1 ลดเสียงที่จุดกำเนิด ได้แก่ การใช้เครื่องลดเสียง สำหรับเครื่องยนต์ เครื่องจักร ไม่ใช่เครื่องจักรจนเต็มขีดกำลังความสามารถ เลือกใช้เครื่องจักรที่ไม่มีเสียงดัง ใช้เครื่องดักเสียงที่ต่อระบายอากาศ (Silencer)
- 2 จำกัดเวลาในการทำงานในที่ที่มีเสียงดัง เพื่อไม่ให้มีผลเสียแบบถาวรต่อระบบประสาท
- 3 ใช้แนวดักเสียง (Acoustic barrier) เช่น แนวต้นไม้ แนวกำแพงฉาก ม่านหนา วัสดุดูดเสียงซึ่งเป็นวัสดุพรุนดูดเสียงได้ใช้บุผนังหรือ กำแพง เพื่อสกัดกั้นเสียงไม่ให้ผ่านทะลุไปบริเวณนอกเขต
- 4 ลดเสียงสะท้อน ด้วยการลดขนาดของห้องทำงาน ใช้ฉากกัน
- 5 ลดการกระทบกระแทกของสิ่งของ เช่น ในการขนส่ง ยกถ่ายสินค้า
- 6 ลดการสั่นสะเทือนที่อาจทำให้เกิดเสียงดัง
- 7 ใช้เครื่องป้องกันหู เช่น ear plug .ear muff หรือ helmet

1.2 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

1.2.1 สามารถนำเอาหลักการนี้ไปใช้ในการกำจัดเสียงรบกวนภายในห้องโดยสาร, ห้องบันทึกเสียง, ห้องที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ, และในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น

1.2.2 ทำให้ทราบถึงการเกิดสภาวะ Pressure node และ Pressure antinode ของคลื่นนิ่ง 2 คลื่นที่ต่างเฟสกัน โดยอาศัยหลักการรวมกันของคลื่นเสียง 2 คลื่นที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาการหักล้างเสียงรบกวนแบบ Active Noise Control ชนิดที่ใช้การกลับเฟสของสัญญาณ

1.3.2 เพื่อศึกษาหาสมรรถภาพและประสิทธิภาพของการกำจัดเสียงรบกวนแบบ Active Noise Control ชนิดที่ใช้การกลับเฟสของสัญญาณ

1.3.3 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเอาหลักการการกำจัดเสียงรบกวนแบบ Active Noise Control ชนิดที่ใช้การกลับเฟสของสัญญาณ ไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดเสียงรบกวนในสถานที่ต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น ในรถยนต์ ในโรงงานอุตสาหกรรม ในท่อ เป็นต้น

1.4 ขอบเขตของการศึกษาโครงการวิจัย

1.4.1 จำลองกระบวนการของการสร้างความถี่มาหักล้างเฟสกับความถี่เดิมแบบการควบคุมป้อนกลับของสัญญาณโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.4.2 ออกแบบและคำนวณการสร้างเครื่องกำเนิดความถี่แบบกลับเฟสที่ให้คลื่นเสียงเสมือนกับเสียงที่ได้จากแหล่งกำเนิดเสียง จะต่างกันตรงที่จะให้เฟสกลับกันกับสัญญาณความถี่ของเสียงรบกวนและมีความต่างเฟส 180 องศา

1.4.3 ออกแบบวิธีการลดเสียงรบกวน โดยใช้แบบการควบคุมแบบป้อนกลับ หรือการควบคุมแบบปรับตัวเองได้

1.5 วิธีการดำเนินงาน

ภาคเรียนที่ 1

1. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการกำจัดเสียงรบกวนแบบ Active Noise Control System
2. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิชาอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เช่น Digital Signal Processing ,Microcontroller
3. ทำการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในระบบการกำจัดเสียงรบกวน
4. ทำการทดลองตามวิธีการทดลองที่ได้วางเอาไว้

ภาคเรียนที่ 2

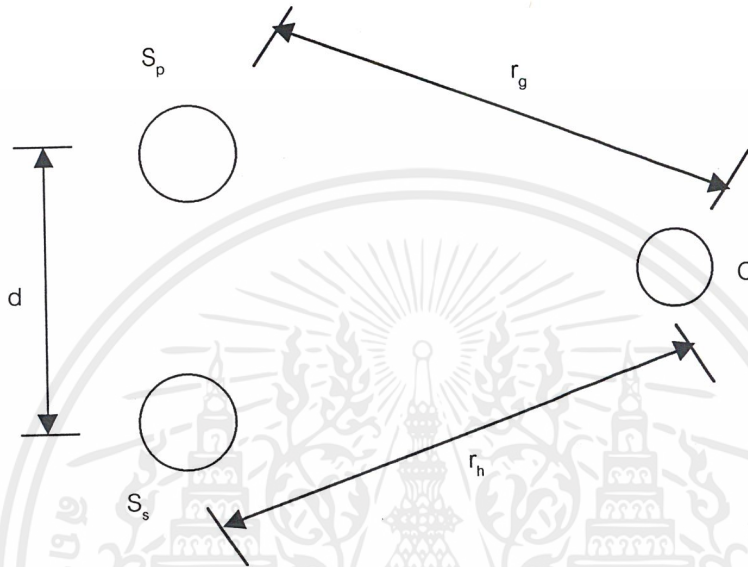
1. ศึกษาและทำความเข้าใจระบบการกำจัดเสียงรบกวนเพื่อทำการปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น
2. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มเติม เช่น ศึกษาวงจรรขยาย,หา data sheet เพิ่มเติม
3. ปรับปรุงวงจรเพิ่มเติมเพื่อให้วงจรมีประสิทธิภาพดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการหักล้างเสียงรบกวน

2.1 ทฤษฎีการหักล้างเฟสของเสียง



รูปที่ 2-1 พื้นฐานของการกำจัดเสียงรบกวนแบบแอดทีฟ

กำหนดให้ แหล่งกำเนิดเสียง S_p กำเนิดคลื่นเสียง $p(t)$ เป็นฟังก์ชันของเวลาในตัวกลางเชิงเส้น การแพร่ผ่านตัวกลางทำให้เกิดสนาม $p(r, t)$ ที่ระยะห่าง r_g จากแหล่งกำเนิดแรก ซึ่งคลื่นเสียง $p(t)$ ทำให้เกิดสนาม $p(r_g, t)$ หรือเขียนอยู่ในรูปที่ง่ายคือ $P_o(t)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เท่านั้น ดังรูปที่ (2-1) ให้แหล่งกำเนิดที่สอง S_s เกิดคลื่นเสียง S_o ที่จุด O คลื่นจากแหล่งกำเนิด S_p และ S_s จะทำให้เกิดคลื่น $O(t)$ ที่จุด O

กำหนดให้ power spectral density ของคลื่นเป็นดังต่อไปนี้

$G_{pp}(\omega)$ = auto power spectral density ของ primary wave ($p(t)$)

$G_{ss}(\omega)$ = auto power spectral density ของ secondary wave ($s(t)$)

$G_{ppo}(\omega)$ = auto power spectral density ของ primary wave ที่จุด O ($p_o(t)$)

$G_{sso}(\omega)$ = auto power spectral density ของ secondary wave ที่จุด O ($s_o(t)$)

$G_{cco}(\omega)$ = auto power spectral density ที่จุดสังเกต $o(t)$

เมื่อ ω = ความถี่ในหน่วยของเรเดียนต่อวินาที

การลดลงของเสียงรบกวนที่จุดสังเกต O จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความหนาแน่นของพลังงานของการรวมคลื่นมีค่าน้อยกว่าคลื่นเสียงที่หนึ่งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสาร $G_{cco}(\omega) < G_{ppo}(\omega)$ สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (1)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

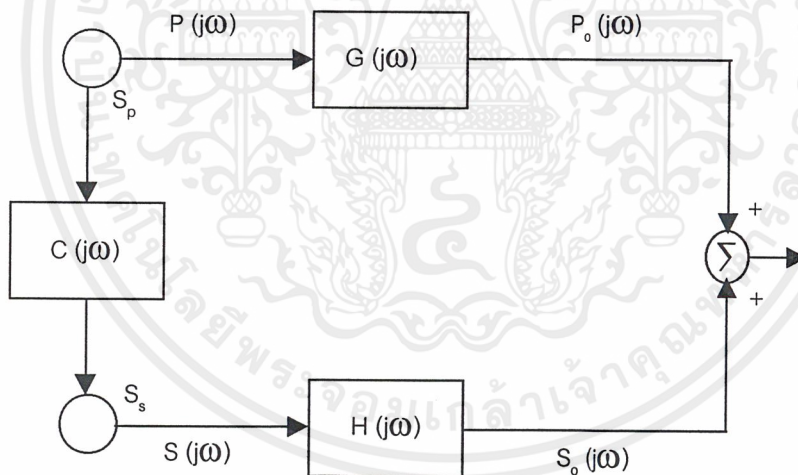
สำหรับการอธิบายในเชิงปริมาณของปรากฏการณ์การกำจัดสนามของคลื่นเสียงที่หนึ่ง กำหนดให้ K เป็นอัตราส่วนระหว่างการลดลงของความหนาแน่นพลังงาน $G_{ppo}(\omega) - G_{cco}(\omega)$ กับความหนาแน่นพลังงานของเสียงที่หนึ่ง $G_{ppo}(\omega)$ ซึ่งเกิดขึ้นที่จุดสังเกต O

$$K = \frac{G_{ppo}(\omega) - G_{cco}(\omega)}{G_{ppo}(\omega)} \quad (2)$$

$$K = 1 - \frac{G_{cco}(\omega)}{G_{ppo}(\omega)} \quad (3)$$

ที่สำคัญคือสนามเสียงที่จุดที่หนึ่งต้องลดลง

การอธิบายในโดเมนของความถี่ (Frequency Domain) แสดงได้ดังไดอะแกรมข้างล่างนี้



รูปที่ 2-2 แสดง Block Diagram ของ ระบบ Active Noise Control

ใน โดเมนของความถี่ $C(j\omega)$ เป็น Transfer Function ซึ่งขึ้นกับความถี่ ซึ่งมีแอมพลิจูด $H_c(\omega)$ และเฟส $\theta_c(\omega)$ จะได้ว่า

$$C(j\omega) = H_c(\omega)e^{j\theta_c(\omega)} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G(j\omega)$ และ $H(j\omega)$ เป็น Transfer Characteristic ของตัวกลางจากจุด S_p และ S_o ไปยังจุดสังเกต ด้วยระยะทาง r_g และ r_h โดยสมมุติว่าตัวกลางเป็นแบบเชิงเส้น จะได้ว่า

$$H(j\omega) = \frac{A}{r_h} e^{-j\omega \frac{r_h}{c}} \quad (5)$$

$$G(j\omega) = \frac{A}{r_g} e^{-j\omega \frac{r_g}{c}} \quad (6)$$

λ คือความยาวคลื่น, C คือความเร็วของเสียงในตัวกลาง, และ A เป็นค่าคงที่, อัตราส่วนของ $(2\pi)/\lambda$ คือเลขคลื่น (Wave Number) แทนด้วย k

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c} \quad (7)$$

อัตราส่วน r_g/c และ r_h/c มีค่าขึ้นอยู่กับเวลา t_g และ t_h ซึ่งเป็นเวลาที่คลื่นเสียงที่หนึ่งและคลื่นเสียงที่สองใช้ในการเดินทางไปยังจุดสังเกตด้วยระยะทาง r_g และ r_h นั่นคือ

$$t_g = \frac{r_g}{c} \quad (8)$$

$$t_h = \frac{r_h}{c}$$

จากรูปที่ (2.2) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} P_o(j\omega) &= G(j\omega)P(j\omega) \\ S(j\omega) &= C(j\omega)P(j\omega) \\ S_o(j\omega) &= H(j\omega)S(j\omega) \end{aligned} \quad (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความหนาแน่นของพลังงาน คือ

$$\begin{aligned}
 G_{pp}(\omega) &= |P(j\omega)|^2 \\
 G_{ss}(\omega) &= |S(j\omega)|^2 = \alpha_s G_{pp}(\omega) \\
 G_{ppo}(\omega) &= |S_o(j\omega)|^2 \\
 G_{sso}(\omega) &= |P_o(j\omega)|^2 \\
 G_{cco}(\omega) &= |P_o(j\omega) + S_o(j\omega)|^2
 \end{aligned} \tag{10}$$

α_s เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของพลังงานของคลื่นที่สองและคลื่นที่หนึ่ง ก่อนการแพร่กระจายออกไปในตัวกลาง

$$\alpha_s = \frac{G_{ss}(\omega)}{G_{pp}(\omega)} \tag{11}$$

สามารถเขียนสมการใหม่ได้ ดังนี้

$$G_{ppo}(\omega) = \frac{A^2}{r_g^2} G_{pp}(\omega) \tag{12}$$

$$G_{sso}(\omega) = \alpha_s \frac{A^2}{r_h^2} G_{pp}(\omega) \tag{13}$$

และความหนาแน่นของพลังงาน $O(t)$ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_{cco}(\omega) = |G(j\omega)P(j\omega) + H(j\omega)C(j\omega)P(j\omega)|^2 \quad (14)$$

และเขียนอยู่ในรูปที่ง่ายได้ ดังนี้

$$G_{cco}(\omega) = G_{ppo}(\omega) + G_{sso}(\omega) + 2\sqrt{G_{ppo}(\omega)G_{sso}(\omega)} \cos\left[\omega \frac{\Delta r}{c} + \theta_c(\omega)\right] \quad (15)$$

โดยที่ $\Delta r = r_g - r_h$ จะได้ว่า

$$K = \frac{G_{sso}(\omega)}{G_{ppo}(\omega)} - 2\sqrt{\frac{G_{sso}(\omega)}{G_{ppo}(\omega)}} \cos\left[\omega \frac{\Delta r}{c} + \theta_c(\omega)\right] \quad (16)$$

ถ้าอัตราส่วนของความหนาแน่นพลังงานของคลื่นเสียงที่สองต่อคลื่นเสียงที่หนึ่ง ที่จุดสังเกต α และ Cross Spectral Density Factor นิยาม โดยเทอม cosine ในสมการที่ (16) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ β จะได้ว่า

$$\alpha = \frac{G_{sso}(\omega)}{G_{ppo}(\omega)} \quad (17)$$

$$\beta = \cos\left[\omega \frac{\Delta r}{c} + \theta_c(\omega)\right]$$

ดังนั้น สมการที่ (16) สามารถเขียนได้เป็น

$$K = -2\beta\sqrt{\alpha} - \alpha \quad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเงื่อนไขในการหักล้างเสียงในระบบ ANC System พิจารณาได้ ดังนี้

$$0 < K \leq 1 \quad (19)$$

เมื่อ K เป็นศูนย์จะไม่เกิดการกำจัดเสียงรบกวน

เมื่อ K เป็นหนึ่งจะเกิดการกำจัดเสียงได้ดีที่สุด

เมื่อแทนค่า K ในสมการที่ (18) ลงในสมการที่ (19) จะได้

$$\frac{\sqrt{\alpha}}{2} < -\beta \leq \frac{1+\alpha}{2\sqrt{\alpha}} \quad (20)$$

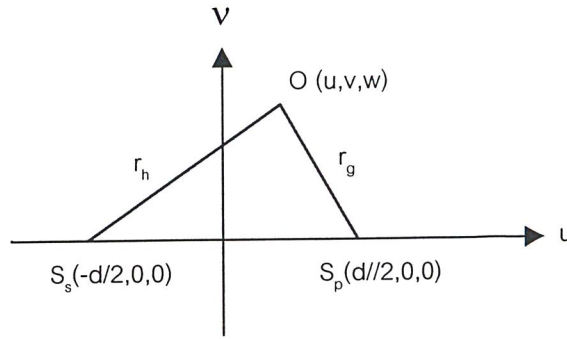
โดยที่ α จะมีค่าเป็นบวกเสมอ เพราะเป็นอัตราส่วนกำลังของคลื่น ดังนั้น $\beta < 0$ ซึ่งจะได้ขอบเขตของ คือ $|\beta| \leq 1$ หรือ $\frac{\sqrt{\alpha}}{2} < -\beta \leq 1$ และ ได้ขอบเขตของ α เท่ากับ $0 < \alpha < 4$ จาก Leitch,R.R and Tokhi,M.O. (1992)

เมื่อกำหนดให้ $a = \frac{r_g}{r_h}$ จะได้ว่า

$$\alpha = a^2 \alpha_s \quad (21)$$

ดังนั้น จึงสามารถพิจารณาระบบ 2 มิติ ในการหักล้างเสียง ได้ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 แสดง Secondary Source และ Primary Source ที่อยู่ในระบบ 2 มิติ

ปัจจัย α และ β จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันความถี่ (ω) และ Δr ซึ่ง α และ β เป็นส่วนประกอบของ K ในระบบทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายการหักล้างและการเสริมกันของเสียงได้ ดังรูปที่ 2.3 เป็นระบบ 2 มิติ uv -space ซึ่ง S_s, S_p และ O เป็นจุด Secondary source, Primary Source และจุดสังเกต ตามลำดับ โดยมีระยะห่างระหว่างจุด O กับ S_p, S_s เท่ากับ r_g และ r_h ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถเขียนในระบบเรขาคณิต ได้ดังนี้

$$r_g = \sqrt{\left[u - \frac{d}{2}\right]^2 + v^2} \quad (22)$$

$$r_h = \sqrt{\left[u + \frac{d}{2}\right]^2 + v^2} \quad (23)$$

เนื่องจากคลื่นเสียงที่จำลองขึ้นมี แอมพลิจูด และ ความถี่ เท่ากันกับคลื่นเสียงรบกวน จะได้ว่า $\alpha_s \approx 1$ ดังนั้น จากสมการที่ (21) จะได้ $\alpha = a^2$ แต่ต่างเฟสกัน 180 องศา ($\theta_c(\omega) = 180^\circ$)

นำสมการที่ (22) และ (23) แทนค่าในสมการ $\alpha = a^2$ โดยที่ $a = \frac{r_g}{r_h}$ และ $\beta = \cos\left[\omega \frac{\Delta r}{c} + 180^\circ\right]$

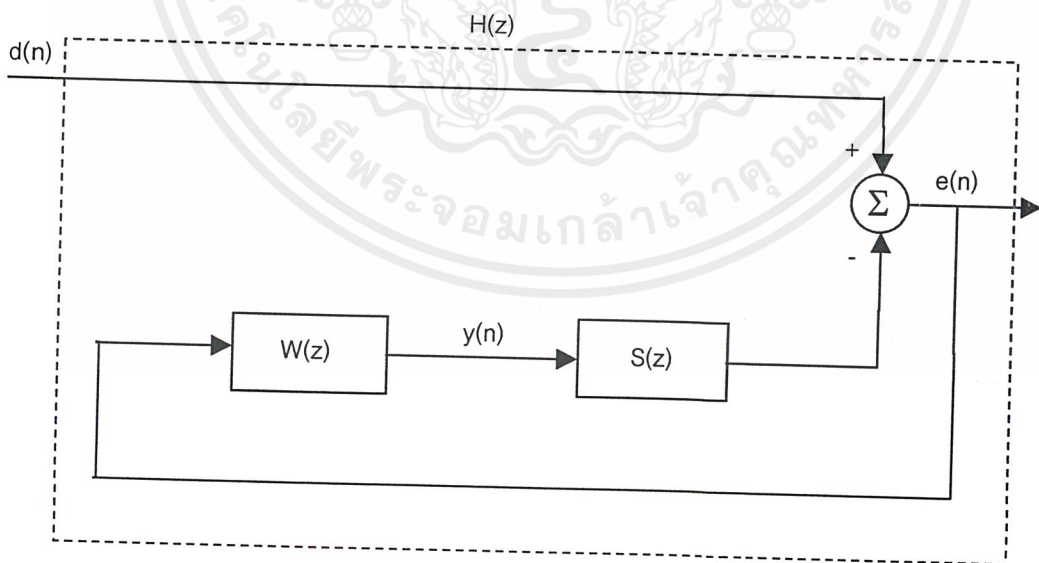
จะได้ สมการดังนี้

$$\alpha = \left[\frac{\left(u - \frac{d}{2}\right)^2 + v^2}{\left(u + \frac{d}{2}\right)^2 + v^2} \right] \quad (24)$$

$$\beta = -\cos \omega \left[\frac{\left\{ \sqrt{\left(u - \frac{d}{2}\right)^2 + v^2} - \sqrt{\left(u + \frac{d}{2}\right)^2 + v^2} \right\}}{c} \right] \quad (25)$$

จากสมการที่ (18) จะพบว่าระยะห่างของลำโพงและความถี่เป็นองค์ประกอบของ Factor ในการหักล้างเสียง

2.2 การออกแบบและการวิเคราะห์ระบบเพื่อนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 2-4 แสดง Block Diagram แบบพื้นฐานในการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ (2.4) $d(n)$ เป็นสัญญาณเสียง Primary Source ที่เข้ามา, $e(n)$ เป็นสัญญาณที่ไม่โครโฟนที่รับได้, $y(n)$ เป็นสัญญาณ Secondary Source, $W(z)$ เป็น Transfer Function ของ Controller และ $S(z)$ เป็น Transfer Function ของ Secondary path

ภายใต้เงื่อนไขสภาวะคงที่ (Steady state condition) เขียนอยู่ในรูป z -transform จะได้ สมการดังนี้

$$E(z) = D(z) - S(z)W(z)E(z) \quad (26)$$

สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$[1 + S(z)W(z)]E(z) = D(z) \quad (27)$$

หรือ

$$E(z) = \frac{D(z)}{1 + S(z)W(z)} \quad (28)$$

Close - Loop Transfer Function, $H(z)$ นิยามโดย อัตราส่วนระหว่าง Primary Source, $D(z)$ กับ สัญญาณ error ที่วัดได้, $E(z)$ หรือเขียนอยู่ในรูปที่ง่ายได้ดังนี้

$$H(z) = \frac{E(z)}{D(z)} = \frac{1}{1 + S(z)W(z)} \quad (29)$$

สมการที่ (28) เขียนอยู่ในรูป Square magnitude ได้ดังนี้

$$S_{ee}(\omega) = \frac{1}{|1 + S(\omega)W(\omega)|^2} S_{dd}(\omega) \quad (30)$$

เมื่อ $S_{ee}(\omega)$ และ $S_{dd}(\omega)$ เป็น Autopower spectral ของ $e(n)$ และ $d(n)$ ตามลำดับ จากสมการที่ (30) ถ้าต้องการค่า $S_{ee}(\omega)$ มีค่าน้อยๆ, จะต้องทำให้ค่าของ $|1 + S(\omega)W(\omega)|^2$ มีค่ามากๆ นั่นก็คือถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการค่า error น้อยๆ จะต้องทำให้ค่า $S(\omega)W(\omega)$ มีค่าสูงมากๆ เพราะฉะนั้น การลดเสียงจะมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้ค่า $W(\omega)$ มีค่ามากๆหรือมีอัตราการขยายที่สูงๆในช่วงความถี่ที่เราสนใจนั่นเอง

ถ้ากำหนดนิยามให้

$$S(\omega)W(\omega) = G(\omega)e^{j\phi(\omega)} \quad (31)$$

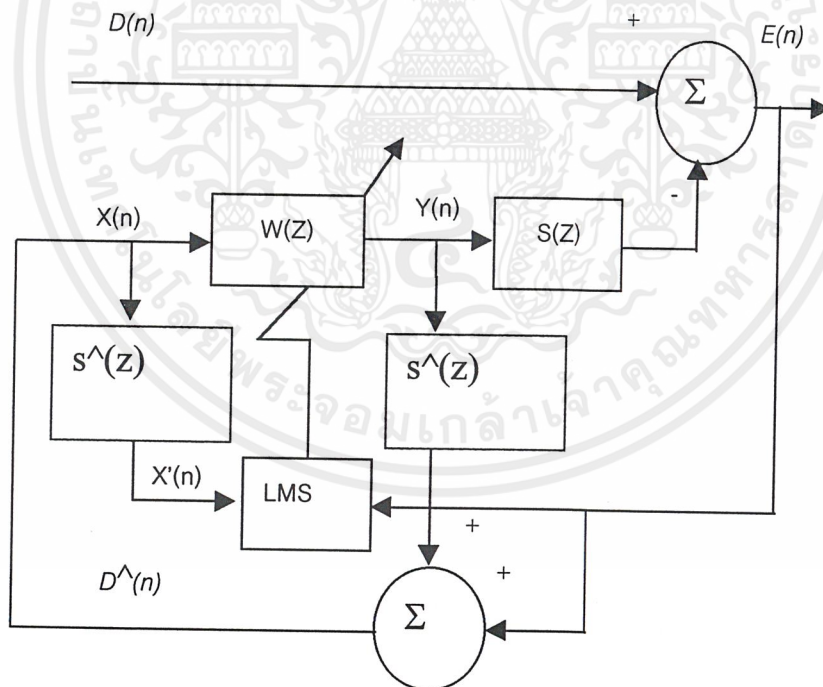
ดังนั้นจะได้ว่า

$$|1 + S(\omega)W(\omega)|^2 = 1 + G^2(\omega) + 2G(\omega)\cos\phi(\omega) \quad (32)$$

เพราะฉะนั้น ในการลดเสียงรบกวนให้มีประสิทธิภาพ Phase shift, $\phi(\omega)$ จะต้องอยู่ในช่วง

$$-180 < \phi(\omega) < 180 \quad (33)$$

ในการเขียนโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องทำการปรับปรุง Block Diagram ในรูปที่ (2.4) เสียก่อน ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2-5 แสดง Block Diagram ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ (2.5) เมื่อ $S^{\wedge}(z)$ เป็นส่วนชดเชยของ Secondary path, จะได้ว่า สัญญาณอ้างอิง $x(n)$ มีค่าประมาณเท่ากับ $d(n)$, สามารถเขียนได้ดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(n) \equiv d^\wedge(n) = e(n) + \sum_{m=0}^{M-1} s_m^\wedge y(n-m) \quad (34)$$

เมื่อ $s_m^\wedge, m = 0, 1, \dots, M-1$ เป็นสัมประสิทธิ์ลำดับที่ M ของ filter $S^\wedge(z)$ ที่ใช้ใน secondary path

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l(n)x(n-l) \quad (35)$$

เมื่อ $w_l(n), l = 0, 1, \dots, L-1$ เป็นสัมประสิทธิ์ของ $W(z)$ ที่เวลา n , และ L เป็นลำดับของ filter $W(z)$

$$w_l(n+1) = w_l(n) + \mu x'(n-l)e(n), \quad l = 0, 1, \dots, L-1 \quad (36)$$

เมื่อ μ เป็น step size, และ

$$x'(n) \equiv \sum_{m=0}^{M-1} s_m^\wedge x(n-m) \quad (37)$$

ซึ่งสมการที่ (34) ถึง (37) จะนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม ดูได้ที่ภาคผนวก

บทที่ 3

อุปกรณ์และการออกแบบ

3.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงหักล้าง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการกำจัดเสียงรบกวนแบบ Active Noise Control มีดังต่อไปนี้

3.1.1 Clamping ก็อวงจรในการยกระดับสัญญาณเสียงให้สูงขึ้นตามที่ต้องการ เพราะว่าวงจรถวาย Automatic Gain Control ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระดับสัญญาณบวกกับ Ground แต่สัญญาณจาก Function Generator นั้นเป็นไฟบวก,ลบ,Ground จึงต้องยกระดับสัญญาณให้สูงขึ้น

3.1.2 Buffer ทำหน้าที่นำสัญญาณที่ได้จากวงจรถวาย Automatic Gain Control เพราะถ้าไม่มีวงจรถวาย Automatic Gain Control จะดึงกระแสไฟจาก Function Generator ทำให้เกิดสัญญาณผิดเพี้ยนหรือ ตกลง ทำให้ไม่ได้สัญญาณที่ถูกต้อง เพราะจะต้องเอาสัญญาณนี้ไปป้อนให้กับ Power Supply ต่อไป

3.1.3 Automatic Gain Control (AGC) จะเป็นตัวควบคุมระดับแรงดันสัญญาณของวงจรถวายหักล้าง ซึ่งจะถูกรักษาโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.4 Inverting Amplifier จะทำหน้าที่ขยายและกลับเฟสสัญญาณคลื่นเสียงเพื่อจะนำไปหักล้างกับสัญญาณเสียงจาก Function Generator

3.1.5 Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลื่นเสียงเพื่อส่งออกไปที่หัวลำโพงและขยายสัญญาณที่ออกจากไมโครโฟนให้มีระดับสัญญาณที่แรงขึ้นก่อนเข้าไปสู่ FFT Analyzer

3.1.6 Rectifier ทำหน้าที่แปลงชนิดกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ได้จากไมโครโฟน โดยจะต้องผ่าน Amplifier เพื่อยกระดับแรงดันสัญญาณให้สูงขึ้นเสียก่อนแล้วจึงทำการแปลงกระแสไฟฟ้า

3.1.7 Power Supply ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดในวงจร

3.1.8 Microcontroller ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมสัญญาณคลื่นเสียงที่จะนำไปหักล้างโดยจะทำการสร้างสัญญาณคลื่นเสียงให้มีค่า แอมพลิจูด ความถี่ ความยาวคลื่น ความเร็วคลื่น และมีเฟส ต่างกัน 180 องศา กับสัญญาณคลื่นเสียงที่จะถูกหักล้างโดยทำการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นที่ได้จาก A/D หลังจากนั้นจะทำการควบคุมการทำงานของ Automatic Gain Control

3.1.9 Eprom Emulator ทำหน้าที่เป็นตัวเล่นแบบการทำงานของ Eprom หรือ หน่วยความจำถาวรได้ ซึ่งจะเหมาะกับการพัฒนาระบบไมโครโพรเซสเซอร์ เพื่อเอาไว้ในการแก้ไขโปรแกรมกันหลายไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้ง ถ้าหากโปรแกรมโมนิเตอร์ยังไม่สมบูรณ์ ก็ทำการแก้ไขคอมพิวเตอร์แล้วส่งเข้าไปโหลบบันทึกใหม่ ทำเช่นนี้นั้นกว่าโปรแกรมโมนิเตอร์ที่เขียนขึ้นนั้นจะเสร็จสมบูรณ์ นับเป็นเครื่องมือที่ช่วยประหยัดเวลา และงบประมาณได้อย่างมาก เพราะไม่ต้องมีการถอดล้าง Eprom บ่อยๆ

3.1.10 Analog and Digital Input /Output Board ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล หรือ แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก หรือ ที่เรียกว่า A/D ,D/A เพื่อต้องการให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ก่อนที่ส่งเข้าไปให้กับ Microcontroller

3.1.11 Function Generator ทำหน้าที่ในการสร้างรูปสัญญาณคลื่นเสียง sine wave ซึ่งเป็นสัญญาณเสียงที่มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น และกำเนิดคลื่นเสียงตั้งแต่ค่าความถี่ 20 Hz – 20 kHz

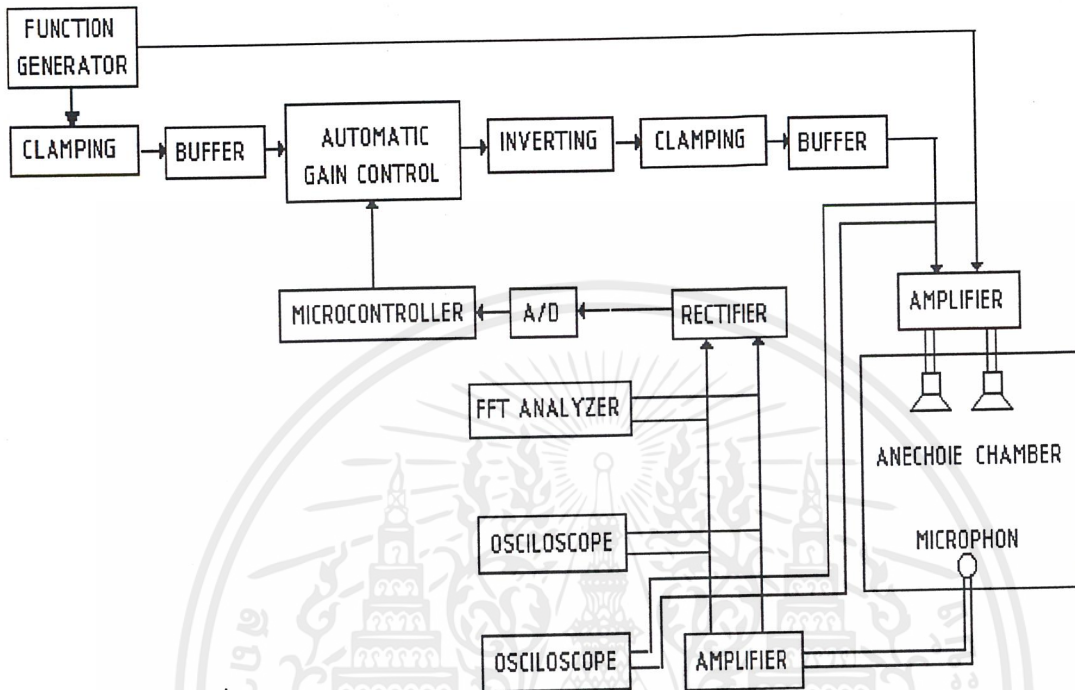
3.1.12 Loudspeaker ทำหน้าที่ในการส่งกระจายคลื่นเสียงออกมา โดยอาศัยหลักการแปลงสัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียงไปเป็นพลังงานกลที่อยู่ในรูปความถี่เสียง

3.1.13 Microphone ทำหน้าที่ในการใช้เป็นเครื่องมือจับคลื่นเสียงที่ทำการทดลองหาประสิทธิภาพการหักล้างเฟส โดยจะอ่านค่าปริมาณการหักล้างคลื่นเสียงจาก FFT Analyzer ซึ่งอาศัยหลักการแปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียง

3.1.14 Oscilloscope ใช้เป็นเครื่องมือวัดในการอ่านระดับแรงดันสัญญาณภายในวงจรทดลอง ในการใช้งานจะเลือกใช้ช่องสัญญาณทั้ง 2 ช่อง เพื่อดูการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทั้ง 2 สัญญาณที่ป้อนเข้ามาเพื่อตรวจสอบความสมดุลของแรงดันสัญญาณทั้งคู่

3.1.15 FFT Analyzer ทำหน้าที่วิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณเสียงที่หักล้างเฟสกัน เพื่อหาค่าความดังของเสียง และวิเคราะห์องค์ประกอบของสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามา โดยจะใช้หลักการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว

3.2 Block Diagram ของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงหักล้างเฟส



รูปที่ 3-1 แสดง Block Diagram ของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงหักล้าง

หลักการการทำงานของชุดทดลองจะทำงาน โดยอาศัยแหล่งกำเนิดเสียงจาก Function Generator เป็นตัวกำเนิดคลื่น Sine Wave ที่มีคาบเวลาที่สม่ำเสมอ สัญญาณคลื่นเสียงที่เข้าสู่ชุดตัวควบคุมจะถูกแบ่งสัญญาณออกเป็นสองส่วนเสียก่อน ซึ่งสัญญาณส่วนที่สองจะต้องเข้าทำการกลับเฟสรูปคลื่นสัญญาณเสียง และทำให้เฟสเลื่อนออกไปมีมุมต่างกัน 180 องศา กับอีกคลื่น ส่วนสัญญาณเสียงที่ไม่ได้กลับเฟสโดยคาบเวลาค้นสัญญาณเสียงที่กลับเฟสจะต้องมีคาบเวลาที่ทันกันไม่ล้ำหน้าและล่าหลังเกินไป ซึ่งจะเป็นแบบ Real Time ที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพการหักล้างเฟสสูงสุดจากนั้นสัญญาณคลื่นเสียงทั้งคู่ที่มีเฟสตรงข้ามกันจะปล่อยเข้าสู่ห้องเก็บเสียงเพื่อทำการทดลองตามวิธีการทดลอง ภายในห้องเก็บเสียงจะมีไมโครโฟนติดตั้งไว้ทำการตรวจจับคลื่นเสียงที่หักล้างกัน ถ้ามีการหักล้างไม่หมดในกรณีเกิดการผิดเพี้ยนของค่าความต้านทานและกำลังเสียงของลำโพงทั้งสองตัว ตัวควบคุม (Controller) จะทำการชดเชย (Compensate) ในส่วนของแอมพลิจูด ความยาวคลื่น ความถี่ ความเร็ว และการเลื่อนเฟสให้ต่างกัน 180 องศา ทุกครั้งเมื่อมีค่าคลาดเคลื่อนในการทดลอง เกิดขึ้น

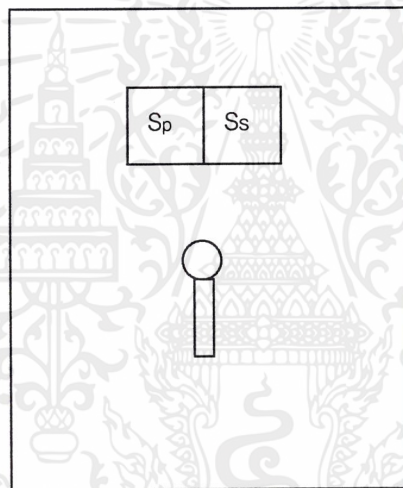
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

เนื่องจากการทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็นสองการทดลอง คือ แบบฟีดฟอร์เวิร์ด (Feedforward) และแบบฟีดแบค (Feedback) ซึ่งได้แบ่งออกเป็นสองการทดลองดังนี้

4.1 การทดลองแบบฟีดฟอร์เวิร์ด

ในการทดลองจะมีลำโพง 2 ตัว คือลำโพงกำเนิดสัญญาณเสียงรบกวนและลำโพงกำเนิด สัญญาณเสียงหักล้าง และมีไมโครโฟนซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณเสียง ซึ่งได้มีการจัดวางอุปกรณ์ดังรูป



รูป 4-1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองแบบฟีดฟอร์เวิร์ด

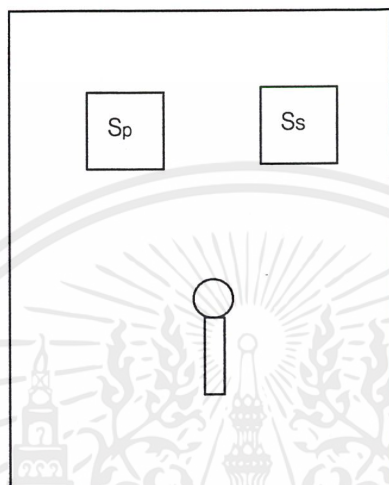
4.1.1 ตั้งค่าความถี่ของเสียงรบกวนไว้ที่ 200 เฮิร์ตซ์ โดยวางไมโครโฟนไว้ห่างจากลำโพงทั้งสอง 20 เซนติเมตร ดังรูป 4-1 หากความสัมพัทธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน

4.1.2 หากความสัมพัทธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวนโดยการเพิ่มความถี่ที่ละ 20 เฮิร์ตซ์ จนถึง 1000 เฮิร์ตซ์

4.1.3 หากความสัมพัทธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวนโดยเพิ่มระยะห่างของไมโครโฟน 20 เซนติเมตร และเพิ่มความถี่เสียงทีละ 20 เฮิร์ตซ์ จาก 200 เฮิร์ตซ์ จนถึง 1000 เฮิร์ตซ์ จนระยะห่างของไมโครโฟนเป็น 100 เซนติเมตร

4.1.4 วางลำโพงทั้งสองห่างกัน 10 เซนติเมตร ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองแบบฟีดฟอร์เวิร์ด

4.1.5 ทดลองซ้ำข้อ 4.1.1 ถึง 4.1.3

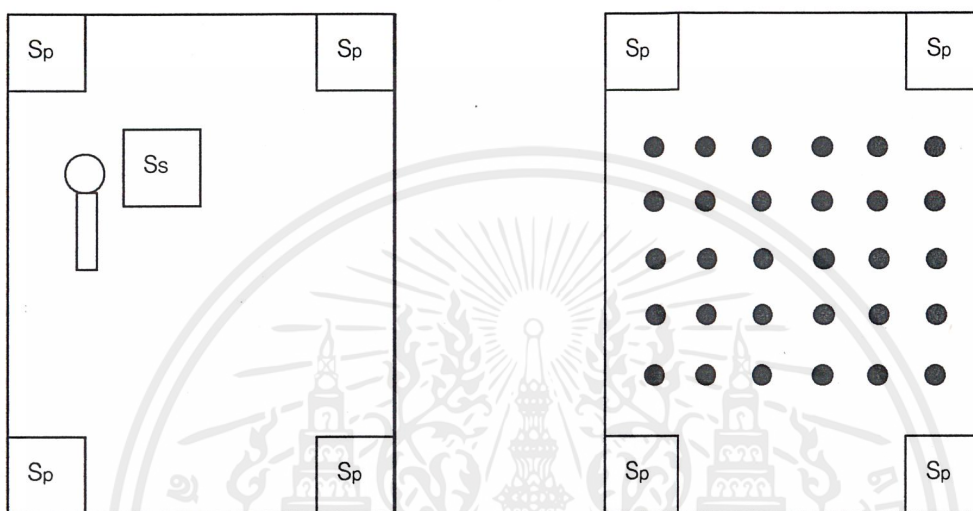
4.2 การทดลองแบบฟีดแบค

ในการทดลองจะมีลำโพง 4 ตัว เป็นกำเนิดสัญญาณเสียงรบกวนและมีไมโครโฟนเป็นตัวรับสัญญาณเสียง ลำโพงกำเนิดสัญญาณเสียงหักล้าง 1 ตัว ซึ่งต้องวางใกล้กับไมโครโฟนตลอด มีการจัดวางอุปกรณ์ดังรูป 4-3

4.2.1 หาความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวนโดยตำแหน่งของไมโครโฟนห่างจากผนังห้องทดลองด้านซ้าย 20 เซนติเมตรและจากแนวปากลำโพงด้านบน 20 เซนติเมตร โดยตั้งค่าความถี่ของเสียงรบกวนไว้ที่ 200 เฮิรตซ์

4.2.2 หาความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวนโดยการเพิ่มความถี่ที่ละ 20 เฮิรตซ์ จนถึง 1000 เฮิรตซ์

4.2.3 หาความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวนทุกๆ ตำแหน่ง ซึ่งห่างจากตำแหน่งเดิมในแนวความยาวและความกว้างของห้องทดลอง 20 เซนติเมตรดังรูป 4-4



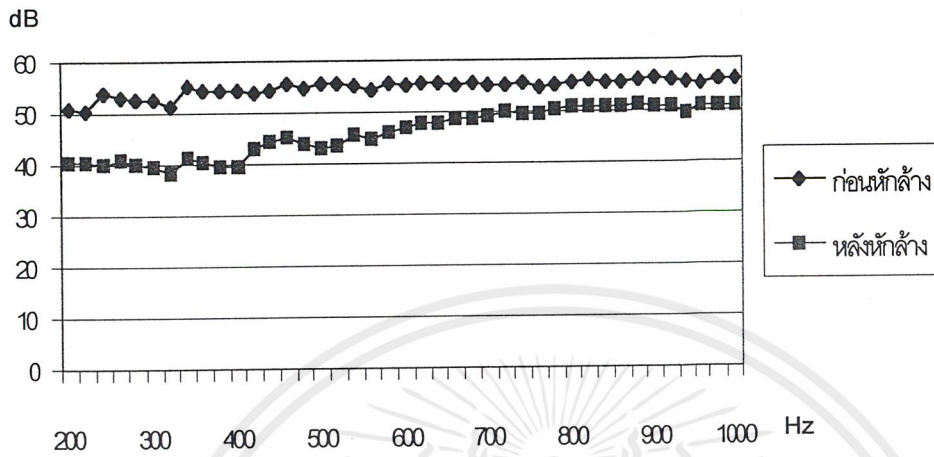
รูป 4-3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองแบบพีคแบบ รูป 4-4 แสดงตำแหน่งที่วางไมโครโฟนโดยแต่ละจุดห่างกัน 20 เซนติเมตร

4.3 ผลการทดลอง

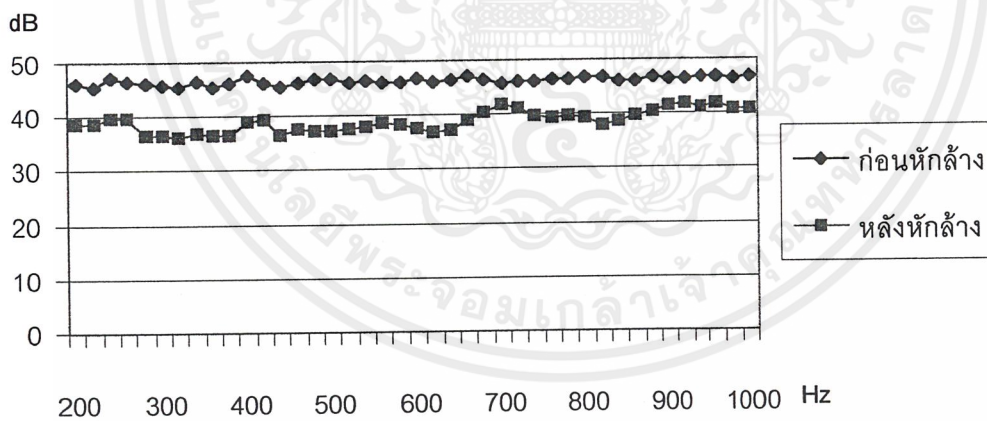
จากการทดลองศึกษาเครื่องหักล้างเฟสเสียงรบกวน ได้ผลการทดลองออกมาดังนี้

4.3.1 ผลการทดลองแบบพีคฟอร์เวิร์ด

ความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยระยะห่างของลำโพงและไมโครโฟนคงที่ และค่าความถี่เปลี่ยนแปลง

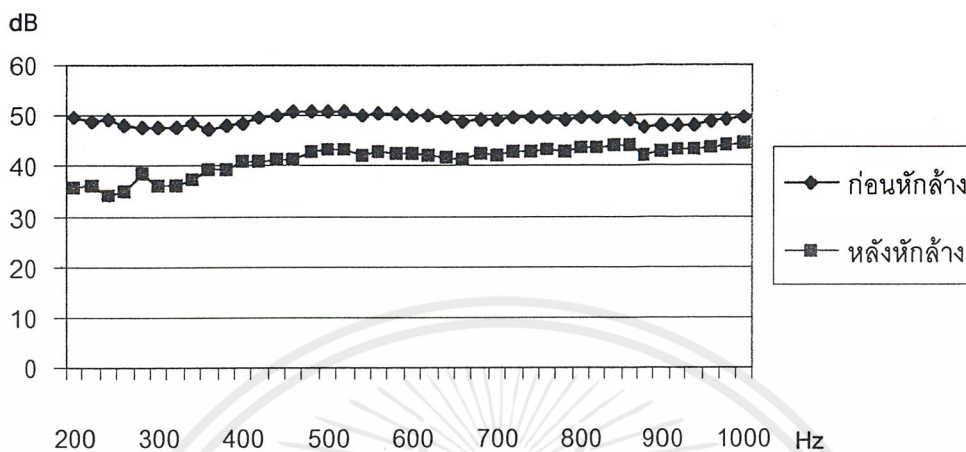


รูป 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซ็นติเมตร

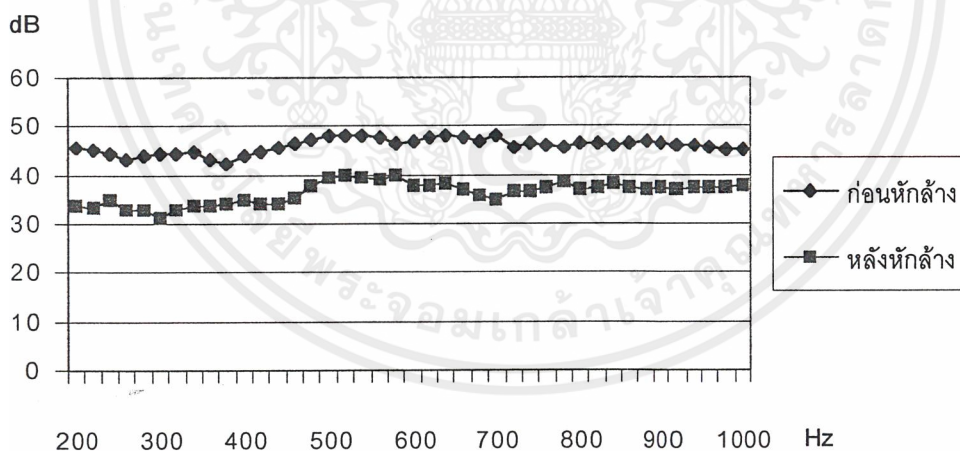


รูป 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซ็นติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซ็นติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

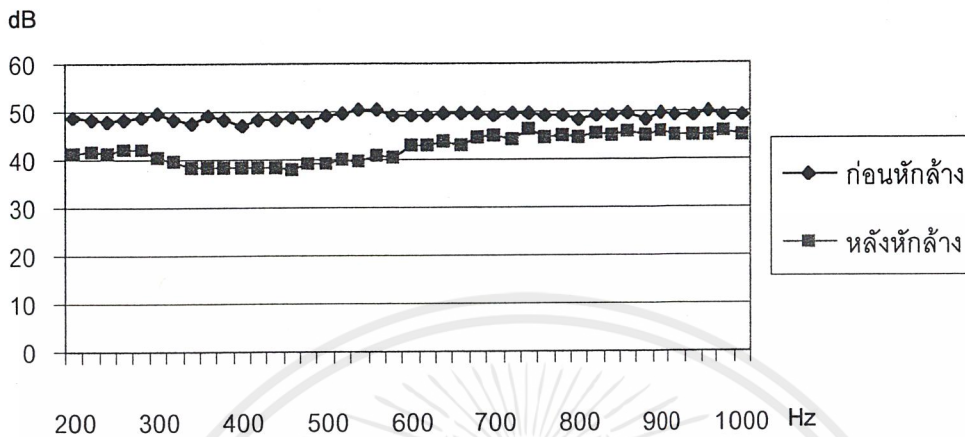


รูป 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 40 เซนติเมตร

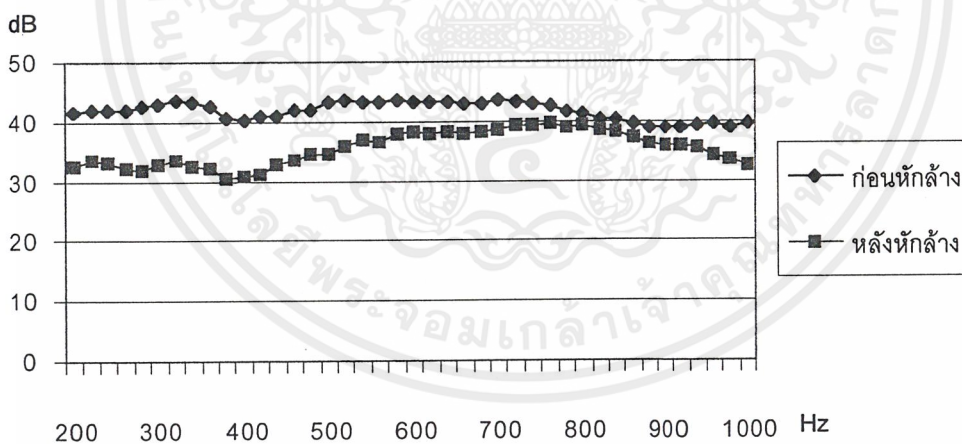


รูป 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซ็นติเมตร

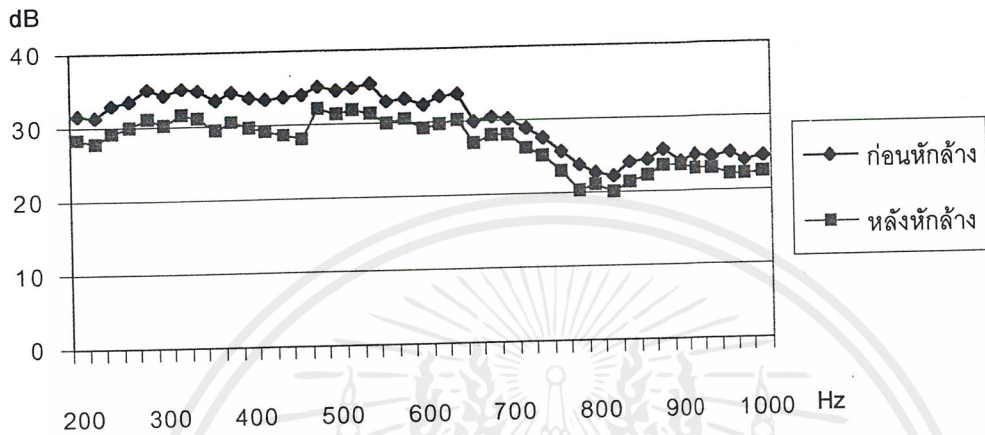


รูป 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซ็นติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซ็นติเมตร

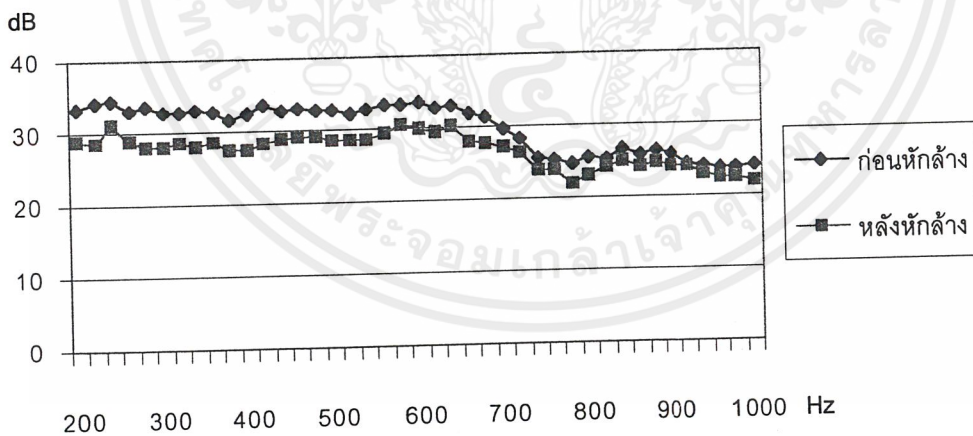
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทดลองแบบปิดแบค

ตารางและกราฟที่แสดงต่อไปนี้แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนและลำโพงหักล่างอยู่ใกล้กันทุก ๆ ตำแหน่งที่ทำการทดลอง

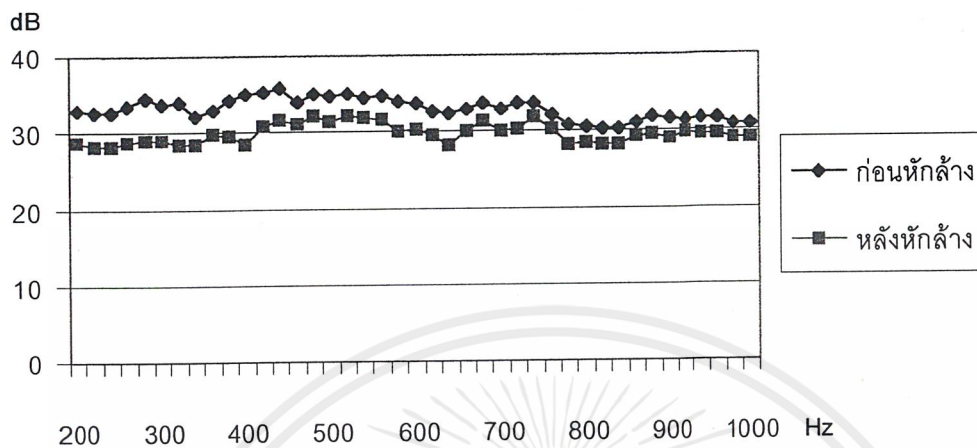


รูป 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร (ตำแหน่งคนขับ)

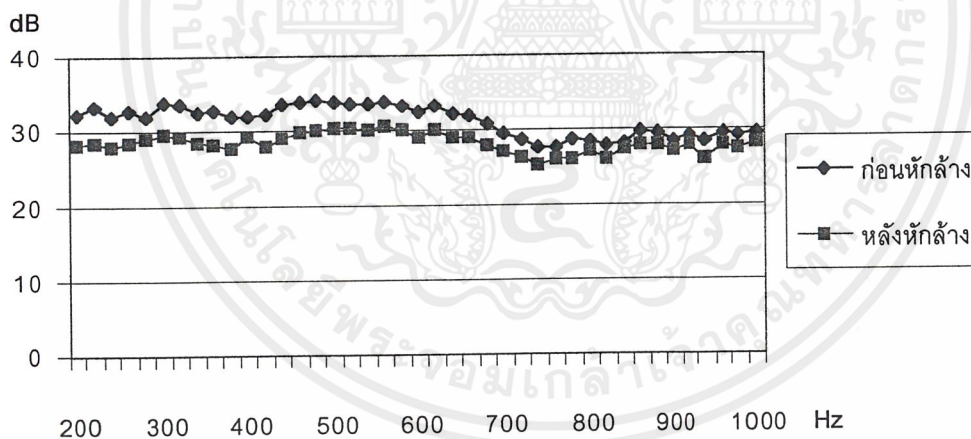


รูป 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร (ตำแหน่งข้างคนขับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

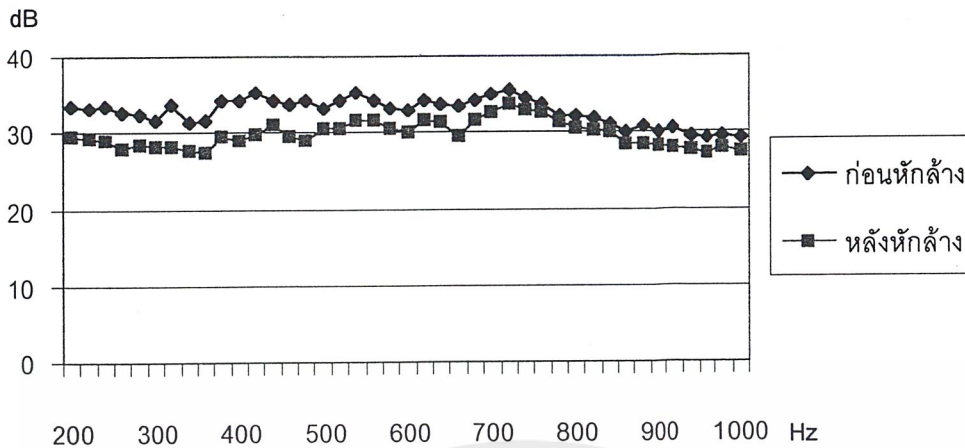


รูป 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร(ตำแหน่งหลังคนขับ)

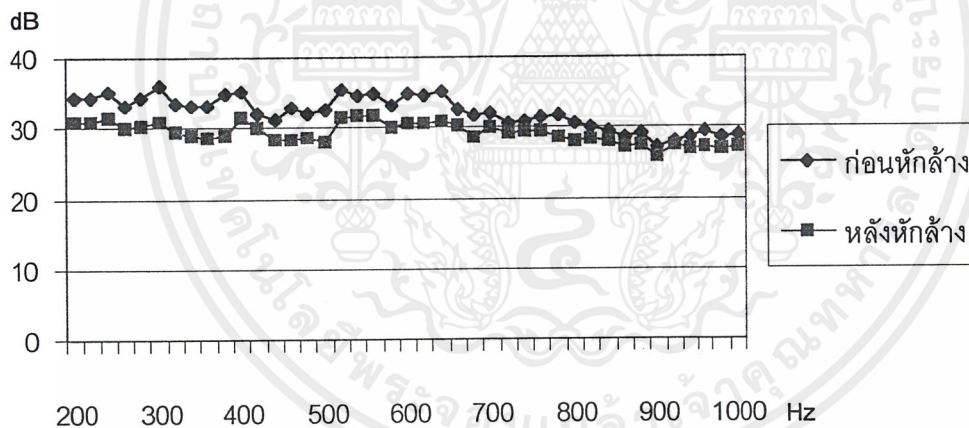


รูป 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร(ตำแหน่งหลังข้างคนขับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

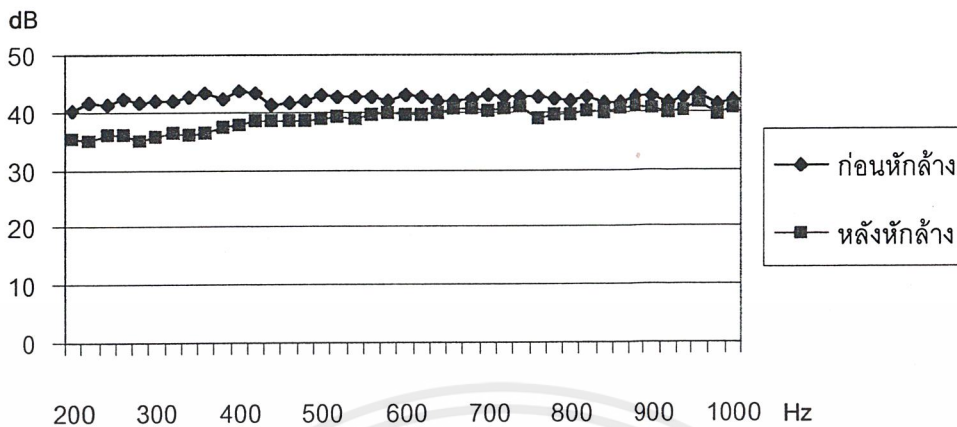


รูป 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดยไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร



รูป 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดย ไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการกลับเฟสสัญญาณเสียงรบกวน โดย ไมโครโฟนจะอยู่ห่างจากผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 75 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	50.95	42.60
220	50.25	45.45
240	53.88	40.11
260	53.25	35.23
280	52.81	37.81
300	52.76	39.58
320	51.18	38.30
340	55.20	39.54
360	54.46	39.48
380	54.82	38.71
400	54.21	39.48
420	54.12	44.20
440	54.45	44.26
460	55.73	45.36
480	54.66	43.92
500	55.54	42.90
520	55.50	40.64
540	55.34	45.67
560	55.48	44.92
580	55.44	46.15
600	55.32	46.92
620	55.55	47.25
640	55.36	47.18
660	55.60	47.70
680	55.20	48.81
700	55.37	48.67
720	55.84	49.13
740	55.64	49.83
760	54.93	49.36
780	55.04	49.78
800	55.54	50.64
820	55.95	50.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประชาสัมพันธ์การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
840	55.83	50.75
860	55.67	50.74
880	56.17	51.02
900	56.48	51.18
920	56.30	51.07
940	55.58	50.76
960	55.21	49.69
980	56.15	50.96
1000	56.19	50.74

ตารางที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่และความถี่ก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซนติเมตร

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	48.69	41.28
220	46.26	40.50
240	47.91	41.36
260	48.36	42.05
280	48.69	42.00
300	49.58	40.59
320	48.15	39.46
340	47.36	38.16
360	49.25	38.49
380	48.36	38.46
400	47.26	38.69
420	48.36	38.16
440	48.15	38.49
460	48.61	38.01
480	48.12	38.97
500	49.02	39.16
520	49.68	39.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
540	50.26	39.40
560	50.36	40.68
580	49.25	40.62
600	49.15	42.86
620	49.17	43.05
640	49.38	43.68
660	49.68	43.08
680	49.57	44.68
700	49.21	44.83
720	49.68	44.10
740	49.71	46.29
760	49.26	44.59
780	48.97	45.02
800	48.36	44.73
820	49.51	45.26
840	49.19	45.19
860	49.67	45.72
880	48.36	45.06
900	49.75	46.01
920	49.10	45.19
940	49.35	44.97
960	49.82	44.81
980	49.27	45.07
1000	49.10	45.12

ตารางที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	46.75	35.94
220	47.13	35.78
240	46.25	34.17
260	46.45	37.88
280	46.26	38.66
300	46.21	37.11
320	47.40	39.84
340	46.73	40.43
360	47.42	42.79
380	48.06	42.23
400	48.41	40.87
420	49.65	40.85
440	49.93	41.37
460	50.70	41.30
480	50.90	42.99
500	50.91	43.25
520	50.86	43.22
540	49.94	42.31
560	50.45	42.93
580	50.50	42.67
600	50.15	42.39
620	50.18	42.15
640	49.66	41.77
660	48.88	41.22
680	49.57	42.34
700	49.27	42.30
720	49.53	42.81
740	49.57	43.01
760	49.60	43.14
780	49.14	42.84
800	49.72	43.55
820	49.71	43.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
840	49.57	44.12
860	49.20	44.02
880	47.65	42.16
900	47.92	42.83
920	47.98	43.26
940	48.23	43.50
960	48.75	43.79
980	49.28	44.24
1000	49.45	44.42

ตารางที่ 4- 3 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความถี่ก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 60 เซนติเมตร

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	45.42	34.52
220	45.10	35.78
240	44.56	34.95
260	43.32	34.95
280	46.26	38.66
300	46.21	37.11
320	47.40	39.84
340	46.73	40.43
360	47.42	42.79
380	48.06	42.23
400	48.41	40.87
420	49.65	40.85
440	49.93	41.37
460	50.70	41.30
480	50.90	42.99
500	50.91	43.25
520	50.86	43.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
540	49.94	42.31
560	50.45	42.93
580	50.50	42.67
600	50.15	42.39
620	50.18	42.15
640	49.66	41.77
660	48.88	41.22
680	49.57	42.34
700	49.27	42.30
720	49.53	42.81
740	49.57	43.01
760	49.60	43.14
780	49.14	42.84
800	49.72	43.55
820	49.71	43.73
840	49.57	44.12
860	49.20	44.02
880	47.65	42.16
900	47.92	42.83
920	47.98	43.26
940	48.23	43.50
960	48.75	43.79
980	49.28	44.24
1000	49.45	44.42

ตารางที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความเสี่ยงก่อนและหลังการหักล้าง โดยด้าโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 60 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	45.42	34.52
220	45.10	35.78
240	44.56	34.95
260	43.32	34.95
280	43.85	34.37
300	44.19	35.48
320	44.36	35.42
340	44.92	35.01
360	43.25	37.55
380	42.20	36.81
400	44.01	36.12
420	44.79	34.42
440	45.71	33.27
460	46.30	35.36
480	47.34	37.83
500	47.90	39.63
520	48.02	39.74
540	48.13	39.64
560	47.55	39.02
580	46.38	37.66
600	46.71	37.93
620	47.49	37.77
640	47.88	38.11
660	47.72	36.12
680	47.05	35.92
700	47.19	35.02
720	45.82	33.35
740	46.49	34.22
760	46.02	31.43
780	45.51	31.85
800	46.35	32.39
820	46.52	33.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
840	46.17	35.03
860	46.60	36.26
880	46.68	36.92
900	46.44	37.43
920	45.92	37.14
940	46.06	37.43
960	45.64	37.46
980	45.22	37.50
1000	45.11	37.72

ตารางที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของความถี่ก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางติดกัน ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซนติเมตร

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	41.62	33.75
220	41.92	33.63
240	42.08	33.36
260	42.01	32.20
280	42.53	32.66
300	42.85	32.75
320	47.16	35.03
340	45.58	37.37
360	45.04	36.29
380	43.27	35.58
400	40.21	36.42
420	40.96	36.19
440	40.88	36.91
460	41.85	37.06
480	42.11	39.08
500	43.32	40.16
520	43.53	39.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
540	43.34	38.66
560	43.32	37.59
580	43.50	37.76
600	43.38	38.09
620	43.16	37.95
640	43.44	38.21
660	42.93	38.05
680	43.08	38.15
700	43.55	38.74
720	43.36	39.14
740	42.88	39.20
760	42.67	39.65
780	41.50	38.94
800	41.28	39.23
820	40.25	38.46
840	40.17	38.10
860	39.65	37.15
880	38.77	35.51
900	38.79	34.14
920	39.08	33.53
940	39.36	30.45
960	39.50	30.65
980	39.05	30.47
1000	39.60	30.20

ตารางที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพงวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ระยะห่างไมโครโฟน 100 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	31.50	28.49
220	31.35	27.71
240	32.94	29.15
260	33.38	29.97
280	35.16	30.95
300	34.31	30.14
320	35.02	31.63
340	35.00	31.18
360	33.61	30.42
380	34.52	30.58
400	33.65	29.75
420	33.38	29.19
440	33.82	28.72
460	33.94	28.14
480	35.11	32.05
500	34.61	31.41
520	34.77	31.85
540	35.35	31.28
560	33.09	30.01
580	33.28	30.42
600	32.52	29.15
620	33.51	29.08
640	33.66	30.41
660	30.94	27.16
680	30.51	28.14
700	30.20	28.13
720	28.87	26.12
740	27.64	25.14
760	25.76	23.01
780	23.91	20.15
800	22.80	20.96
820	22.07	20.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
840	24.08	21.34
860	24.30	22.15
880	25.61	23.49
900	24.03	23.15
920	24.75	22.98
940	24.50	22.87
960	25.01	23.15
980	23.97	22.11
1000	24.55	22.38

ตารางที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟนอยู่ห่างผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร และ ลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	33.42	28.94
220	34.30	30.10
240	34.49	30.98
260	33.07	28.95
280	33.71	28.12
300	32.73	28.04
320	30.82	25.93
340	29.88	25.67
360	28.01	24.10
380	28.29	24.73
400	29.62	25.51
420	29.37	25.73
440	30.30	25.16
460	30.94	25.19
480	30.60	24.66
500	31.24	26.48
520	32.29	28.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
540	32.69	28.36
560	33.33	29.42
580	33.29	30.42
600	33.67	30.05
620	32.66	30.44
640	33.09	30.18
660	31.88	27.95
680	31.33	27.84
700	29.73	27.15
720	28.45	26.32
740	25.53	23.91
760	25.15	23.87
780	24.71	22.05
800	25.49	23.14
820	25.16	24.05
840	26.78	25.10
860	25.72	24.01
880	26.30	24.76
900	25.97	24.13
920	24.32	23.11
940	24.10	22.97
960	23.86	22.58
980	23.97	22.67
1000	24.30	21.84

**ตารางที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง,
ไมโครโฟนอยู่ห่างผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	32.27	28.15
220	33.18	28.59
240	31.10	27.98
260	32.72	28.53
280	32.04	29.01
300	33.71	29.60
320	33.61	29.18
340	32.50	28.42
360	32.38	28.17
380	31.85	27.52
400	31.83	29.18
420	32.17	28.04
440	33.43	28.94
460	33.18	29.83
480	34.09	30.01
500	33.94	30.32
520	33.51	30.42
540	33.87	30.15
560	33.29	30.72
580	32.50	29.95
600	33.37	29.08
620	32.34	30.17
640	31.86	29.01
660	30.70	28.93
680	29.55	27.94
700	29.40	27.02
720	28.62	25.42
740	27.64	25.18
760	27.65	24.45
780	28.60	23.72
800	28.46	26.18
820	27.90	25.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประชาสัมพันธ์การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
840	28.06	26.02
860	29.75	27.49
880	29.56	27.11
900	28.48	27.01
920	29.36	27.84
940	28.45	26.10
960	29.48	27.89
980	28.26	27.46
1000	29.60	28.15

ตารางที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	32.92	28.64
220	32.72	28.31
240	32.75	29.12
260	33.36	28.76
280	34.55	28.97
300	33.16	29.15
320	34.01	28.60
340	32.12	28.39
360	33.04	29.81
380	34.44	29.64
400	34.96	28.37
420	35.24	30.79
440	35.71	31.69
460	34.01	31.02
480	35.11	32.10
500	34.77	32.15
520	35.00	32.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
540	34.51	31.86
560	34.87	31.51
580	33.96	30.17
600	30.85	30.25
620	30.10	29.58
640	30.37	28.51
660	32.94	30.10
680	34.61	31.25
700	33.47	30.15
720	33.73	30.85
740	33.75	31.86
760	32.23	30.40
780	30.77	28.15
800	30.51	28.80
820	31.26	28.14
840	30.29	28.16
860	31.14	28.18
880	31.77	29.68
900	31.64	29.13
920	30.25	29.86
940	31.68	29.49
960	31.67	29.59
980	30.98	29.10
1000	30.86	29.09

ตารางที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟนอยู่ห่างผนังด้านซ้าย 20 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	33.42	29.54
220	33.28	29.31
240	33.49	29.14
260	32.59	28.07
280	32.51	28.46
300	31.57	28.19
320	33.67	28.14
340	31.25	27.61
360	31.69	27.43
380	34.26	29.58
400	33.66	29.10
420	35.18	29.87
440	34.26	31.08
460	33.68	29.48
480	34.27	29.15
500	33.24	30.58
520	34.26	30.57
540	35.19	31.67
560	34.19	31.65
580	33.26	30.64
600	32.98	30.06
620	34.25	31.61
640	33.71	31.46
660	33.51	29.54
680	34.19	31.64
700	34.91	32.67
720	35.60	33.64
740	34.61	33.04
760	33.61	32.60
780	32.16	31.42
800	32.10	30.61
820	31.84	30.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
840	31.06	30.00
860	30.15	28.65
880	30.75	28.93
900	30.05	28.36
920	30.64	27.89
940	29.58	27.59
960	29.18	27.16
980	29.48	28.01
1000	29.37	27.46

ตารางที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่เสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และ ลำโพงด้านบน 50 เซนติเมตร

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	34.26	30.96
220	34.21	30.82
240	35.29	31.60
260	33.25	30.04
280	34.36	30.25
300	35.89	30.86
320	33.56	29.58
340	33.15	29.04
360	33.17	28.73
380	34.89	28.83
400	35.16	31.59
420	32.10	30.00
440	31.09	28.46
460	32.98	28.43
480	32.16	28.69
500	32.76	28.16
520	35.49	31.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
540	34.60	31.68
560	34.76	31.64
580	33.17	30.12
600	34.81	30.58
620	34.58	30.57
640	35.20	30.86
660	32.67	30.40
680	31.69	28.59
700	32.16	30.00
720	30.56	29.13
740	30.69	29.58
760	31.57	29.48
780	31.65	28.67
800	30.67	28.16
820	30.19	28.46
840	29.46	28.01
860	28.73	27.30
880	29.16	27.50
900	27.19	25.96
920	28.13	27.40
940	28.56	27.03
960	29.46	27.36
980	28.67	27.00
1000	29.01	27.18

ตารางที่ 4-12 แสดงความสัมพันธ์ของความดังเสียงก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟนอยู่ห่างผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และลำโพงด้านบน 100 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
200	40.36	35.26
220	41.58	35.10
240	41.35	35.97
260	42.36	36.05
280	41.58	35.18
300	41.98	35.67
320	42.06	36.49
340	42.59	36.18
360	43.25	36.58
380	43.19	37.59
400	43.59	37.81
420	43.28	38.59
440	41.16	38.40
460	41.80	38.49
480	42.07	38.46
500	43.06	38.76
520	43.84	39.25
540	42.67	39.05
560	42.68	39.46
580	42.16	39.85
600	43.06	39.49
620	42.83	39.47
640	41.81	39.76
660	41.95	40.58
680	42.36	40.68
700	43.01	40.16
720	42.65	40.68
740	42.87	41.05
760	42.61	39.00
780	42.38	39.46
800	42.16	39.47
820	42.83	40.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่	ก่อนหักล้าง	หลังหักล้าง
840	41.83	40.10
860	41.78	40.65
880	42.56	40.84
900	42.72	40.69
920	41.57	40.08
940	42.38	40.25
960	42.97	41.65
980	41.25	39.57
1000	42.18	40.69

ตารางที่ 4-13 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ก่อนและหลังการหักล้าง โดยลำโพง, ไมโครโฟน อยู่ห่างผนังด้านขวา 60 เซนติเมตร และ ลำโพงด้านบน 75 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากบทที่ 4 เป็นเพียงตัวอย่างของผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ทำการทดลองมาจากทั้งหมด จากผลการทดลองทำให้เราทราบถึงความสัมพันธ์ ระหว่างระยะห่างของไมโครโฟนกับลำโพง และย่านความถี่ของเสียงที่มีผลต่อการหักล้าง

จากผลการทดลองพบว่า

5.1.1 แบบฟีดฟอร์เวิร์ด เมื่อให้ระยะห่างของไมโครโฟนคงที่ และเปลี่ยนแปลงความถี่ ประสิทธิภาพของการหักล้างจะมากเมื่ออยู่ในย่านความถี่ต่ำ ๆ (ไม่เกิน 500 เฮิรตซ์) แต่ในย่านความถี่สูง ๆ ประสิทธิภาพของการหักล้างจะลดลง และที่ความถี่สูงๆ การเปลี่ยนแปลงระยะห่างของไมโครโฟนก็จะทำให้ประสิทธิภาพของการหักล้างจะลดลงเช่นกัน โดยระยะห่างยิ่งมากประสิทธิภาพของการหักล้างก็จะลดลง

5.1.2 แบบฟีดแบค ประสิทธิภาพของการหักล้างจะมากเมื่ออยู่ในย่านความถี่ต่ำ ๆ และจะลดลง เมื่อความถี่สูงขึ้น ส่วนระยะห่างของไมโครโฟน (ตำแหน่งที่วางไมโครโฟน) มีผลต่อการหักล้างเล็กน้อย

5.2 บทวิจารณ์

จากผลการทดลอง จะพบว่าแบบฟีดฟอร์เวิร์ดนั้นจะให้ประสิทธิภาพของการหักล้างได้ดีกว่าแบบฟีดแบคมาก เพราะแบบฟีดฟอร์เวิร์ดนั้นจะนำสัญญาณเสียงรบกวนมาเป็นสัญญาณอ้างอิงในการกลับเฟส แต่แบบฟีดแบคจะนำสัญญาณที่ออกมา มาปรับให้เท่ากับสัญญาณที่เข้ามาและสัญญาณที่ปรับนั้นก็เชื่อว่าเท่ากับสัญญาณที่เข้ามาตลอด จึงทำให้สัญญาณอ้างอิงเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาประสิทธิภาพของการหักล้างจึงน้อยกว่าแบบฟีดฟอร์เวิร์ดซึ่งสัญญาณอ้างอิงจะเท่ากับสัญญาณที่เข้ามาตลอด

5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

ในงานวิจัยต่อเนื่องในอนาคต ควรมีการศึกษาและพัฒนาการหักล้างเสียงรบกวนที่แหล่งกำเนิดเสียงมีความถี่อยู่หลายความถี่เข้ามาผสมกัน เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม อาคารสำนักงานต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

```

program Noise ;

uses crt,dos ;

var

i ,s,d,j,m,n,x,h,k,l,order1,order2,;integer;

Yoo,EN:byte;

f,S_Yn,SUM_YN,Y1,_N ,Y_N,X1_N,YY_N,X1N,step:real;

data_in,data_out,average_data:byte;

Sm, Wm,Wn,Yn,Xn,XXn,W1:array [0..100] of real;

Data_sheet:text;

File_name:string;

INPUT:^real;

Label xxx,yyy;

Const INCO_P=$0303;

      IN_PA=$0300;

      OUTCO_P=$0283;

      OUT_PA=$0280;

      {*****TIME OF RECORD *****}

function time :string; {Time operation of noise cancellation }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

var regs:registers;

strg,t:string;

begin

regs.ah:=$2C; {read system time }

intr($21,regs);

str(regs.ch,t);

strg:=t;

str(regs.cl,t);

strg:=strg+'.';

if regs.cl <10 then strg:=strg+'0';

strg:=strg+t+'.';

str(regs.dh,t);

if regs.cl <10 then strg:=strg+'0';

strg:=strg+t+'.';

str(regs.dl,t);

if regs.dl < 10 then strg:=strg+'0';

strg:=strg+t;

time:=strgl

end;

begin

clrscr;

```

เอกสารนี้เป็น {writeln('INPUT FILE NAME')}งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

readln(file_name);

assign(data_sheet,file_name);

rewrite(data_sheet);

writeln(data_sheet,'Number ','Time ','DATA OF NOISE ');

writeln('Number ','TIME ','DATA OF NOISE ');}

{*****OPEN PORT &FILE *****}

writeln('Input of order coefficient filter');

readln(oder1);

writeln('Output of order coefficient filter ');

readln(oder2);

writeln('Value of step ');

readln(step);

f:=1/140;

Sm[0]:=2*f

Wn[0]:=2*f;

Sm[oder1] :=Sm[0];

Wm[oder2]:=Wm[0];

i:=1;

for i:=1 to oder1 do

begin

    Sm[i]:= (sin (2*Pi*f*i))/(i*Pi);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ If $i < oder1$ then $Sm[oder1-i] := Sm[i]$; เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;

s:=1;

for s:=1 to oder2 then do

begin

Wm[s]:=(sin(2*Pi*f*s))/(s*Pi);

If s<oder2 then Wm[oder2-s]:=Wm[s];

end;

repeat

x:=0;

for x:=0 to 100 do

begin

port[INCO_P]:=$9A;

h:=0;

for h:= 0 to 100 do

begin

i:=0;

SUM_YN:=0;

for i:=0 to oder1 do

Begin

S_YN:=Sm[i]*Yn[100-i];

SUM_Yn:=SUM_Yn+Yn;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ end; ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

En:=PORT[IN_PA];

Xn[h]:=En+SUM_Yn;

end;

j:=0;YY_n:=0;

for j:=0 to oder2 do

begin

Y_n:=Wm[j]*Xn[100-j];

YY_n:=YY_n+Y_n;

end;

k:=0; X1n:=0;

for k:=0 to oder1 do

begin

X1_n:=Sm[k]*Xn[100-k];

X1n:=X1n+X1_n;

end;

PORT[OUT_P]:=S80;

YOO:=round(YY_n); {OUTPUT OF SIGNAL}

PORT[OUT_PA]:=YOO;

XXn[x]:=X1n;

Yn[x]:=YY_n;

end;

```

๕๕:๐;รึนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for l:=0 to oder2 do
```

```
  begin
```

```
    Wl[l]:=Wm[l]+(step*XXn[100-l]*En);
```

```
  end;
```

```
  Wm:=Wl;
```

```
Until Keypressed;
```

```
End.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการเปิด Port เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

```
program filename;  
  
uses crt;  
  
var a,b :byte ;  
  
begin  
  
    repeat  
  
        port [$0303]:=9b;  
        a:=port[$0303];  
        writeln(a);  
        b:=a;  
        port[$0307]:=80;  
        port[$0304]:=b;  
  
    until (keypressed);  
  
end.
```

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงความดังของเสียงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ความเข้มของเสียง (dB)	เวลา (ชั่วโมง)
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1.5
108	1
110	0.5
115	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

แสดงความสัมพันธ์ของเวลาทำงานกับระดับเสียงที่ดังติดต่อกัน

ระดับเสียง (dB)	เวลาที่อนุญาตให้ทำงานในแต่ละวัน (Hours)	ระดับเสียง (dB)	เวลาที่อนุญาตให้ทำงานในแต่ละวัน (min)
90	8	106	52
91	7	107	45
92	6	108	37
93	5	109	33
94	4.5	110	30
95	4	111	20
96	3.5	112	22
97	3	113	18
98	2.5	114	16
99	2.25	115	15
100	2		
101	1.75		
102	1.5		
103	1.25		
104	1.125		
105	1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] สมชาย ทองพร. “การศึกษาประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวน โดยการสร้างความถี่มาหักล้างกับความถี่เดิมแบบฟีดแบคคอนโทรล”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 98 หน้า, 2542
- [2] Leitch, R.R. and Tokhi, M.O., ”Active noise control”, Oxford Engineering science, 256 p.1992.
- [3] Sen, M.Kuo and Dennis, R. Morgan, “Active Noise Control System Algorithms and DSP Implementations”, John Wiley & Sons, 389 p. 1996.

