รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะ
Smart Public Announcement System

นางสาวกุลธิดา ทัศนสุวรรณ
นายพุฒิพงศ์ โตคณิตชาติ

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะ

Smart Public Announcement System

นางสาวกุลธิดา ทัศนสุวรรณ

นายพุฒิพงศ์ โตคณิตชาติ

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา ระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวกุลธิดา ทัศนสุวรรณ, นายพุฒิพงศ์ โตคณิตชาติ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขาวิชา** วิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร. มุนฮุม ปาร์ค

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายมานพ ธรรมสิริอนันต์

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท เอ็กซ์เอวี ออดิโอ จำกัด

บทคัดย่อ

ปัญหาอันดับต้นๆของเสียงตามสายในห้างสรรพสินค้าหรือซุปเปอร์มาร์เก็ตทั่วไปคือเรื่องเสียงรบกวนที่มาจากจากสภาวะแวดล้อม ทำให้ความสามารถในการรับรู้ข่าวสารและเกิดความเข้าใจในเนื้อหาไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งสาเหตุหลักเกิดขึ้นจากระบบกระจายเสียงสาธารณะที่กระจายเสียงคุณภาพไม่ดีพอแก่สภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวนอยู่มาก จึงเป็นที่มาของโครงงานสหกิจศึกษานี้ ซึ่งนักศึกษาได้ช่วย บริษัท เอ็กซ์เอวี ออดิโอ จำกัด ออกแบบและพัฒนาระบบกระจายเสียงอัจฉริยะที่สามารถปรับความดังให้สอดคล้องกับสภาวะทางเสียงได้ โดยงานที่ได้รับมอบหมายคือการแก้ไขปัญหาที่พบในระบบกระจายเสียงอัจฉริยะรุ่นแรก ซึ่งครอบคลุมในส่วนทางเดินสัญญาณแอนะล็อกและศึกษาเพิ่มเติมในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

คำสำคัญ: ระบบกระจายเสียงสาธารณะ, ปรับความดังอัตโนมัติ, เสียงรบกวน, การเข้าใจคำพูด, สภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวน, ปรากฏการณ์การกำบังเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operative Title: Smart Public Announcement System

Student Intern Name: Miss Kuldhida Thasnasuwarn, Mister Puttipong Tokanitchat

Faculty: Engineering **Department:** Music Engineering and Multimedia

Advisor Name: Asst. Prof. Munhum Park

Mentor Name: Mister Manop Dhamsirianunt

Company: XAV Audio Co.,Ltd.

ABSTRACT

Not every public address system can produce good sound quality in all kind of environment. In noisy environment such as hypermarket or department store tends to be speech intelligibility. In this co-operative project, we helped XAV Audio Co.,Ltd. to develop their loudspeaker system, "Smart Public Announcement System" which continued from company's product development. Our task was to improve the system, in two parts, working on both system's analog signal path and digital signal processing.

Keywords: public announcement system, automatic gain control, noise, speech intelligibility, noisy environment, Auditory Masking Effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจศึกษา เรื่อง ระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะ (Smart Public Announcement System) สำเร็จลุล่วงได้โดยการสนับสนุน ให้คำปรึกษา ให้การอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์และสถานที่ปฏิบัติงาน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จากบริษัท เอ็กซ์เอวี ออดิโอ จำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณมานพ ธรรมสิริอนันต์ ผู้บริหาร กรรมการผู้จัดการและผู้จัดการการผลิตและออกแบบ ที่ให้การช่วยเหลือโดยเสมอมา ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์ อาจารย์สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ นักศึกษาปริญญาโทผู้พัฒนาระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะ ที่สละเวลามาให้คำปรึกษาช่วยเหลือทั้งด้านการออกแบบระบบและโปรแกรมภายในระบบจนเสร็จสมบูรณ์ รวมถึงอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ปฏิบัติงาน

ขอขอบพระคุณ ดร.มุนฮุม ปาร์ค อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม อาจารย์นิเทศประจำโครงงานนี้ ที่คอยดูแลติดตามความคืบหน้าอย่างใกล้ชิด และคอยให้คำแนะนำต่างๆ รับฟังปัญหาพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไข

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนร่วมทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้โครงงานชิ้นนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงงานชิ้นนี้จะสามารถนำไปต่อยอดเป็นนวัตกรรมที่มีประโยชน์ดั่งที่ผู้จัดทำหวังไว้

นางสาวกุลธิดา ทัศนสุวรรณ

นายพุฒิพงศ์ โตคณิตชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญ (ต่อ) V

สารบัญ (ต่อ) VI

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

สารบัญภาพ (ต่อ) IX

สารบัญภาพ (ต่อ) X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 3

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 3

1.4 วิธีการดำเนินงานโครงงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 4

บทที่ 2 แนวคิดการออกแบบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 องค์ประกอบของระบบ Smart PA 5

2.2 การทำงานของระบบ Smart PA 6

2.3 การออกแบบวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลัก 12

2.3.1 วงจรรวมควบคุมระดับสัญญาณเสียง volume control IC 13

2.3.2 serial peripheral interface : SPI 16

2.3.2.1 การสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ master - slave 16

2.3.2.2 รูปแบบการสื่อสารของ SPI 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2.3 การสื่อสารแบบ SPI สำหรับ CS3310 Volume Control IC 17

2.3.3 องค์ประกอบของวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลัก 18

2.3.4 วงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ (digital volume control) 19

2.3.4.1 การเชื่อมต่อวงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ 21

2.3.5 วงจรส่วนสัญญาณขาเข้า (fully-differential input) 24

2.3.6 วงจรภาคขยายสัญญาณ (power amplifier) 25

2.3.6.1 การเลือกอัตราการขยาย (gain setting) 26

2.3.6.2 ความต้านทานอินพุต (input impedance) 27

2.3.6.3 โหมดโมโน (mono mode) 28

2.3.7 วงจรภาคจ่ายไฟ (Power Supply) 29

2.3.7.1 Charge-pump circuit 29

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานโครงงาน 31

3.1 ประชุมและวางแผนการทำงาน 31

3.1.1 สิ่งที่ทำสำเร็จแล้วใน Smart PA รุ่นต้นแบบ 31

3.2 วิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางแก้ไข 31

3.2.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นใน Smart PA รุ่นต้นแบบ 31

3.2.2 แนวทางแก้ไข 32

3.3 ศึกษาทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง 33

3.4 ออกแบบวงจรต้นแบบและทดลองสร้าง 33

3.5 การทดสอบวงจรต้นแบบ 35

3.6 ออกแบบต้นแบบผลิตภัณฑ์จริง 36

3.7 การผลิตชิ้นงาน 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.8 การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 38
3.9 แก้ไขข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ 39
บทที่ 4 ผลโครงงานสหกิจศึกษา 40
บทที่ 5 สรุปผลโครงงานและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลโครงงาน 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 42
บรรณานุกรม 43
ภาคผนวก ก 44
ภาคผนวก ข 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะเฉพาะของ volume control IC ทั้ง 3 ชนิดที่นำมาพิจารณา 15

2.2 แสดง input code เทียบกับค่าอัตราการขยาย/ลดทอน (gain/attenuation) 20

2.3 อัตราการขยายสัญญาณในโหมด master และ slave และค่าตัวต้านทานที่แนะนำ 27

2.4 ค่าความจุอินพุตที่เหมาะสมสำหรับแต่ละค่าอัตราการขยาย 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 ตัวอย่างระบบ PA แบบดั้งเดิม 2

1.2 การนำระบบ Smart PA มาช่วยปรับอัตราขยายของลำโพง PA 2

2.1 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ Smart PA 5

2.2 แบบจำลองสภาพทางอะคูสติกที่ใช้สำหรับอธิบายทางเดินสัญญาณเสียงในระบบ Smart PA 6

2.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบ Smart PA 7

2.4 ตัวอย่างผลการรบกวนของ non-stationary noise (เสียงสว่านไฟฟ้า) ที่มีต่อสเปกตรัมของสัญญาณเสียงสนทนา 8

2.5 ความแตกต่างระหว่าง stationary noise กับ non-stationary noise ทั้งในโดเมนเวลาและ spectrogram ของสัญญาณ 8

2.6 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพลังงานเสียงรบกวนกับ SPL ที่ได้จากการทดลอง 9

2.7 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยาย [dB] กับ SPL ของสัญญาณรบกวนแบบ Linear 10

2.8 การใช้งาน LMS Adaptive filter สำหรับทำหน้าที่เป็น echo cancellation ในระบบ DSP 11

2.9 โครงสร้างภายในของ programmable gain amplifier 12

2.10 ทางเดินสัญญาณของสัญญาณประกาศ far-end speaker ไปยัง PGA ของระบบ 13

2.11 แผนภาพ pin configuration ของ LM1971 audio attenuator IC 14

2.12 แผนภาพ pin configuration ของ PGA2311 stereo audio volume control IC 14

2.13 แผนภาพ pin configuration และแผนภาพบล็อคของ CS3310 Stereo Audio Volume Control IC 15

2.14 การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master - Slave 16

2.15 Serial Port Timing 18

2.16 แผนภาพบล็อคของทางเดินสัญญาณหลัก 19

2.17 ผังวงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.18 pin configuration พร้อมความหมาย ของ CS3310 stereo audio volume control IC 21

2.19 ผังวงจรส่วนสัญญาณขาเข้า 24

2.20 pin configuration ของ OPA1632 fully-differential audio operational amplifier 25

2.21 แผนภาพ pin configuration ของ TPA3116D2 25

2.22 ผังวงจรภาคขยายสัญญาณ 26

2.23 การเชื่อมต่อเพื่อเลือกอัตราการขยาย 26

2.24 การเชื่อมต่อในโหมดโมโน 28

2.25 ผังวงจรภาคจ่ายไฟ 29

2.26 ผังวงจร Charge-pump 30

2.27 แสดงแรงดันไฟขาออกจากวงจร Charge-pump 30

3.1 การแยกส่วนทางเดินสัญญาณประกาศออกจากส่วนประมวลผลสัญญาณ 32

3.2 แผนภาพบล็อคของทางเดินสัญญาณหลัก 33

3.3 ผังวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักสำหรับทดลองสร้างต้นแบบแรก 34

3.4 ต้นแบบแรกของวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักสำหรับทดสอบ 34

3.5 ตำแหน่งการจัดวางส่วนต่างๆของวงจรต้นแบบแรก 35

3.6 การออกแบบพีซีบีบนโปรแกรม Altium Design 15 36

3.7 ความแตกต่างระหว่างพีซีบีแบบ Plated กับ Non-Plated Through Holes 36

3.8 พีซีบีชนิดอีพ็อกซี่ (FR-4) 37

3.9 พีซีบีต้นแบบก่อนลงอุปกรณ์ (ด้านหน้า) 37

3.10 พีซีบีต้นแบบก่อนลงอุปกรณ์ (ด้านหลัง) 38

3.11 การทดสอบวงจร 38

4.1 โมดูลวงจรต้นแบบของส่วนทางเดินสัญญาณประกอบสำเร็จพร้อมติดตั้งลงในลำโพง 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.2 วงจรในรูปแบบสามมิติจากโปรแกรม Altium Design 15 41

4.3 ตำแหน่งการจัดวางส่วนต่างๆของวงจร 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวนอยู่มาก ผู้คนในบริเวณดังกล่าวจะได้ยินเสียงจากระบบกระจายเสียงประชาสัมพันธ์ได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ซึ่งเป็นผลจากปรากฏการณ์การกำบังเสียง (auditory masking effect) ที่เสียงรบกวนโดยรอบกระทำต่อเสียงประชาสัมพันธ์ ทำให้ความสามารถในการเข้าใจเสียงประกาศลดลง ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยเพิ่มความชัดเจนของเสียงโดยใช้หลักการของ ปรากฏการณ์ลอมบาร์ด (Lombard effect) โดยการปรับเพิ่มระดับความดันเสียง (sound pressure level : SPL) ของเสียงประกาศให้สูงขึ้น เพื่อชดเชยค่าอัตราสัญญาณเสียงต่อคลื่นรบกวน (signal-to-noise ratio : SNR) ของสภาวะโดยรอบ [1]

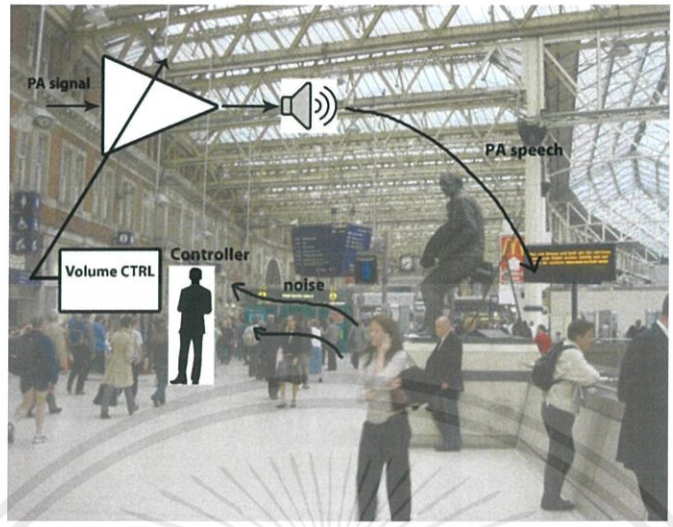
ระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะ หรือ “Smart PA” ได้มีการเพิ่มเซ็นเซอร์สำหรับวัดระดับความดังของเสียงรบกวนและชุดประมวลผลสัญญาณเสียงที่สามารถปรับระดับความดังของเสียงประชาสัมพันธ์ให้สอดคล้องกับค่าระดับความดังของเสียงรบกวนได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อปรับอัตราสัญญาณเสียงต่อคลื่นรบกวนของเสียงประกาศให้เหมาะสม ช่วยเพิ่มความชัดเจนของการประชาสัมพันธ์ได้ดียิ่งขึ้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ระบบ PA (public announcement) แบบดั้งเดิมซึ่งแสดงไว้ดังภาพที่ 1.1 จะไม่มีเซ็นเซอร์สำหรับวัดระดับ SPL ของเสียงรบกวนในพื้นที่ ทำให้ต้องใช้แรงงานคนสำหรับคอยควบคุมการปรับอัตราขยาย power amplifier ของลำโพง PA เพื่อเพิ่ม-ลดความดังของเสียงประกาศ ด้วยเหตุนี้ผู้จัดทำจึงเสนอระบบ “Smart PA” ที่มีการเพิ่มเซ็นเซอร์สำหรับวัดระดับ SPL ของเสียงรบกวนและชุดประมวลผลสัญญาณเสียงดังภาพที่ 1.2 ที่สามารถปรับระดับความดังของการประชาสัมพันธ์ให้สอดคล้องกับค่า SPL ของเสียงรบกวนได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อปรับค่า SNR ของเสียงพื้นที่ให้กลับมาสูงขึ้นเมื่อ SPL ของเสียงรบกวนสูงขึ้น ช่วยเพิ่มความชัดเจนของการประชาสัมพันธ์ได้ [1]

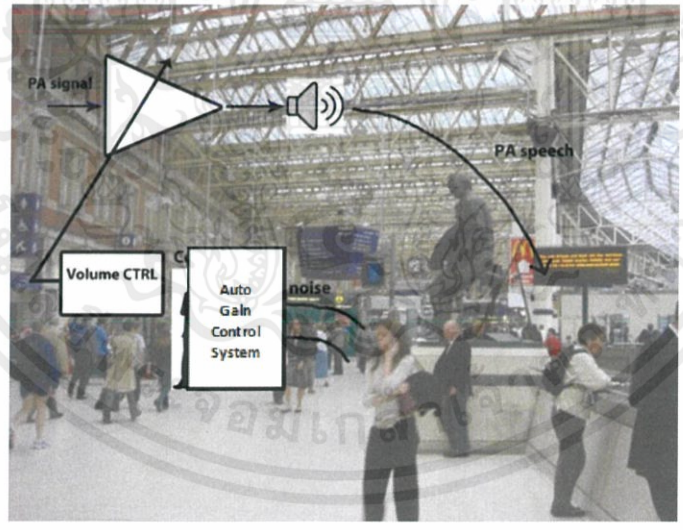
ในระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะรุ่นก่อนหน้านั้น ได้พบปัญหาหลักๆอยู่ 2 ส่วน คือส่วนทางเดินสัญญาณ ซึ่งเกิดเสียงรบกวนจากการแปลงสัญญาณทำให้การประเมิณระดับสัญญาณรบกวนคาดเคลื่อน และส่วนประมวลผลสัญญาณ ที่ยังไม่สามารถแยกแยะเสียงประกาศออกจากเสียงรบกวนในสภาพแวดล้อมโดยรอบได้ทั้งหมดส่งผลให้การปรับระดับสัญญาณผิดพลาด โดยในส่วนของโครงงานนี้จะเป็นการหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่พบในส่วนทางเดินสัญญาณและศึกษาเพิ่มเติมในส่วนประมวลณผลสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างระบบ PA แบบดั้งเดิม

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 1 : 1



ภาพที่ 1.2 การนำระบบ Smart PA มาช่วยปรับอัตราขยายของลำโพง PA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะรุ่นต้นแบบของบริษัท

2. เพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาที่พบในระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะรุ่นต้นแบบ

3. เพื่อปรับปรุงแก้ไขผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น สามารถนำงานวิจัยไปพัฒนาต่อยอดและผลิตใช้จริงได้ตามความต้องการของบริษัท

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

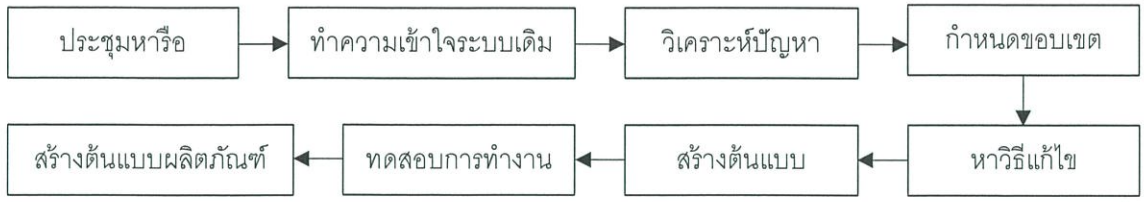
สำหรับโครงงานเรื่องระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของงานไว้ให้ครอบคลุมระบบการทำงานของตัวผลิตภัณฑ์ให้ได้มากที่สุดเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวประสบการณ์จากการเข้าร่วมสหกิจศึกษาอย่างเต็มที่ แต่เนื่องด้วยระยะเวลาการศึกษาเรียนรู้และดำเนินงานที่จำกัดทำให้ไม่สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์จนเสร็จสมบูรณ์ได้ทั้งหมด ซึ่งยังมีรายละเอียดที่ต้องพัฒนาและปรับแต่งอีกมากกว่าจะสามารถผลิตวางขายได้จริง จึงจำเป็นต้องแบ่งส่วนงานให้เหมาะสม โดยประกอบไปด้วยส่วนทางเดินสัญญาณและส่วนประมวลผลสัญญาณ ซึ่งเป้าหมายหลักจะเน้นไปในส่วนทางเดินสัญญาณเป็นส่วนใหญ่ และศึกษาพื้นฐานในส่วนประมวลผลสัญญาณ

เมื่อสิ้นสุดโครงการสหกิจศึกษา ผู้วิจัยตั้งเป้าหมายที่จะได้โมดูลวงจรต้นแบบของส่วนทางเดินสัญญาณ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาส่วนหนึ่งที่พบในระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะรุ่นต้นแบบได้ และบริษัทสามารถนำวงจรต้นแบบไปใช้เพื่อให้พัฒนาส่วนอื่นๆของผลิตภัณฑ์ได้สะดวกยิ่งขึ้น

1.4 วิธีการดำเนินงานโครงงาน

โครงงานเรื่องระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะที่นักศึกษาได้รับมอบหมายนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในช่วงวิจัยและพัฒนาของบริษัท ซึ่งได้มีผลการจำลองระบบและต้นแบบแรกออกมาแล้วแต่ในการใช้จริงยังพบปัญหาบางประการซึ่งจำเป็นที่จะต้องได้รับการแก้ไขก่อนนำไปสู่การปรับแต่งและผลิตจริง นักศึกษาจึงต้องเริ่มจากการประชุมหารือเพื่อรับทราบเกี่ยวกับรายละเอียดและปัญหาที่พบ จากนั้นจึงกำหนดขอบเขตของโครงงานเพื่อให้เหมาะสมกับระยะเวลาในการปฏิบัติงานตลอดช่วงสหกิจศึกษา แบ่งงานออกเป็นส่วนเพื่อให้มีเป้าหมายและการจัดตารางแผนงานที่ชัดเจนแล้วทำให้สำเร็จเป็นส่วนๆ หลังจากผู้วิจัยได้ทำความเข้าใจระบบเดิมของผลิตภัณฑ์แล้วก็จะเป็นการวิเคราะห์ปัญหาและหาวิธีการแก้ไข ต่อมาจะเป็นการสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบการทำงานก่อนจะสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์จริงที่มีการคำนึงถึงชนิดของอุปกรณ์ ขนาด การติดตั้ง และต้นทุนการผลิต เพื่อนำเสนอแก่บริษัทและบริษัทยังสามารถนำแนวคิดต้นแบบและข้อมูลเหล่านี้ไปพัฒนาต่อได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยแผนภาพแสดงการทำงานโดยย่อเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ตัวนักศึกษาได้ประสบการณ์และพัฒนาความรู้ต่อยอดจากที่ได้ศึกษาในสาขาวิชาของตน

2. ได้เรียนรู้กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเครื่องเสียง

3. ได้วงจรต้นแบบเพื่อให้บริษัทสามารถนำไปใช้พัฒนาส่วนอื่นๆของผลิตภัณฑ์ได้สะดวกยิ่งขึ้น

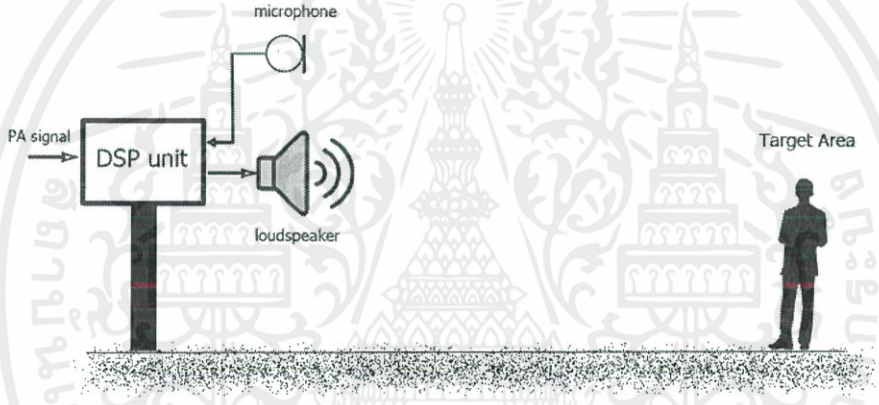
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิดการออกแบบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบของระบบ Smart PA

ระบบ Smart PA มีลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 2.1 ประกอบด้วยลำโพง PA (PA loudspeaker), ไมโครโฟน (microphone) สำหรับเป็นเซ็นเซอร์วัดระดับ SPL ของสัญญาณรบกวน (noise) และ DSP unit (digital signal processing unit) โดยตำแหน่งของไมโครโฟนนั้นจะติดตั้งใกล้กับ PA loudspeaker เพื่อความสะดวกในการติดตั้งระบบเข้ากับอาคารสถานที่ (ในอุดมคติ ควรติดตั้ง microphone ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ประชาสัมพันธ์เป้าหมาย) [2]



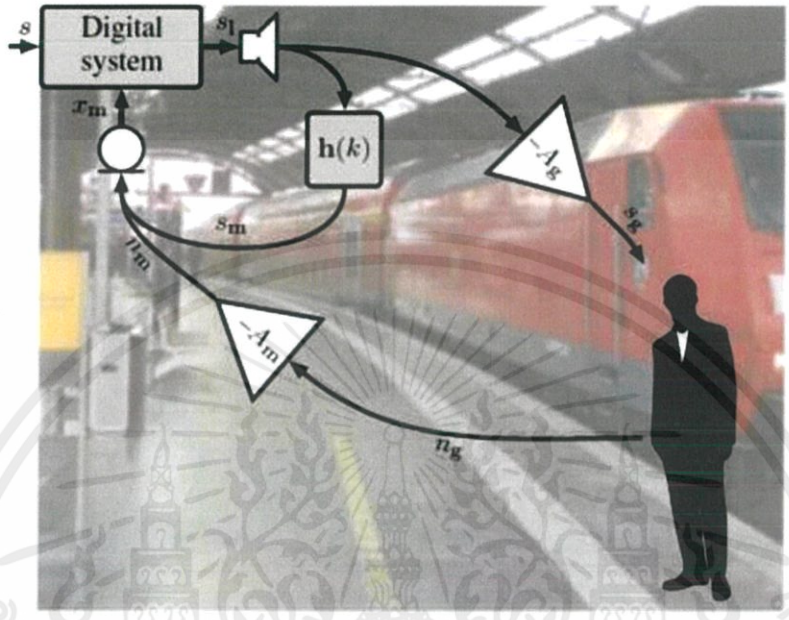
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ Smart PA

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 2 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทำงานของระบบ Smart PA

การทำงานของระบบ Smart PA สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองสภาพทางอะคูสติก (acoustical model) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แบบจำลองสภาพทางอะคูสติกที่ใช้สำหรับอธิบายทางเดินสัญญาณเสียงในระบบ Smart PA

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 2 : 1

โดยที่ s = สัญญาณประกาศขาเข้า (input PA signal)

s_l = สัญญาณประกาศขาออกจากลำโพง (output PA signal at loudspeaker)

s_m = สัญญาณเสียงจากลำโพงที่ไมโครโฟนได้รับ (echo PA signal from loudspeaker to microphone)

s_g = สัญญาณเสียงประกาศจากลำโพง ณ พื้นที่เป้าหมาย (PA signal at ground)

n_g = สัญญาณเสียงรบกวน ณ พื้นที่เป้าหมาย (noise signal at ground)

n_m = สัญญาณเสียงรบกวนที่ไมโครโฟนได้รับ (noise signal at microphone)

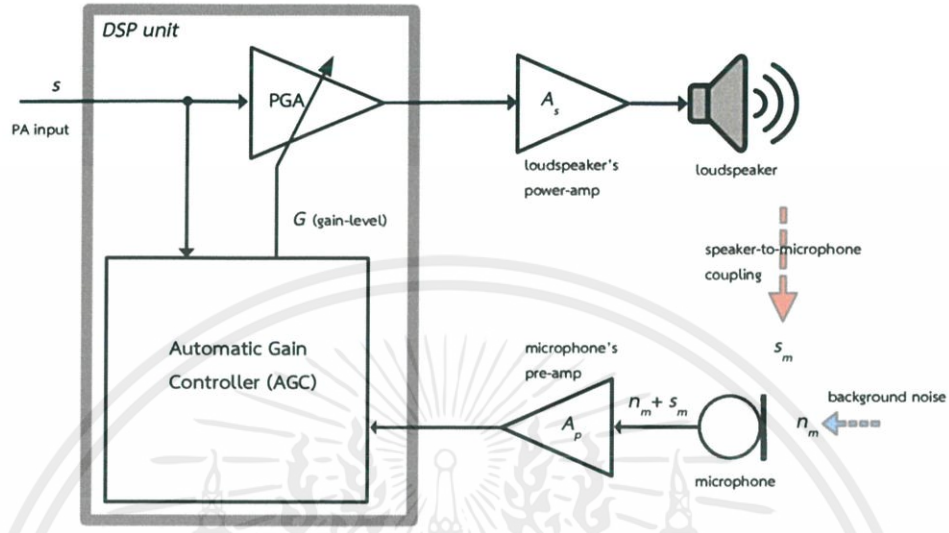
$x_m = s_m + n_m$

h(k) = ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างลำโพงกับไฟโครโฟน (speaker-to-microphone acoustic coupling coefficient)

A_g, A_m = ค่าการลดทอนตามระยะทางเดินสัญญาณ (acoustic path loss gain [dB])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากวิเคราะห์แบบจำลองสภาพทางอะคูสติกในภาพที่ 1.4 แล้ว สามารถเขียนโครงสร้างพื้นฐานของ DSP unit ที่ใช้งานดังรูปที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วย programmable gain amplifier : PGA และ automatic gain controller : AGC



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบ Smart PA

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 2 : 1

หลักการทำงานของระบบคือเมื่อไมโครโฟนได้รับสัญญาณเสียงรบกวนซึ่งประกอบด้วยสัญญาณเสียงรบกวนที่เดินทางมาจากพื้นที่เป้าหมาย (n_m) รวมอยู่กับสัญญาณเสียงประกาศจากลำโพงที่ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้กับไมโครโฟน (s_m) สัญญาณที่รับมาจะผ่านและขยายด้วย preamplifier ให้ได้ระดับที่เหมาะสมก่อนจะผ่านกระบวนการแปลงเป็นดิจิตอล (digital-to-analog converter : DAC) เพื่อนำไปประมวลผลโดย DSP unit ในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับอัลกอริทึมใน DSP unit ที่ใช้ประมาณระดับสัญญาณรบกวนในส่วน automatic gain controller : AGC เพื่อวัดระดับ SPL ของเสียงรบกวนของพื้นที่เป้าหมายและคำนวณหาอัตราการขยาย (gain) ของ programmable gain amplifier : PGA ที่เหมาะสมเพื่อปรับระดับ SNR ของพื้นที่ให้ดีขึ้นประกอบด้วย

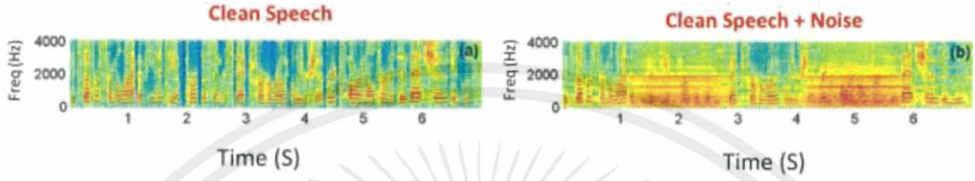
1. ส่วนประมาณระดับสัญญาณรบกวน (Noise Estimator : NE)

ส่วนนี้ทำหน้าที่ประมาณลักษณะสเปกตรัมของสียงสัญญาณรบกวน (background noise) ที่สกัดได้จากสัญญาณ noisy speech ที่ไมโครโฟนได้รับ โดยตัวอัลกอริทึมจะต้องสามารถวัดระดับเสียงรบกวนได้ถึงแม้ว่าจะมี speech activity เข้ามาก็ตาม หรือหมายความว่า Noise Estimator ต้องทนต่อผลของเสียง echo (s_m) ที่หลุดเข้ามาผ่านทางการเชื่อมต่อทางอะคูสติกระหว่างลำโพงกับไมโครโฟน (speaker-to-microphone acoustic coupling) ได้ เมื่อได้ spectrum ของสัญญาณรบกวนแล้วจะสามารถระดับ SPL ของมันบนพื้นที่เป้าหมายได้ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

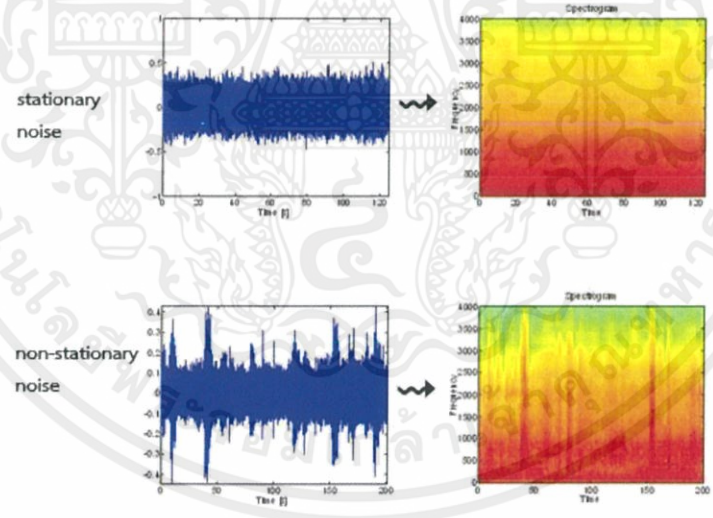
รูปแบบอัลกอริทึมของ Noise Estimator ที่ใช้งานคือ “time recursive averaging” ซึ่งหลักการนั้นจะสมมติให้ว่า

“สัญญาณรบกวนจะมีลักษณะแบบไม่คงที่ (non-stationary) ซึ่งหมายถึงสเปกตรัมนั้นจะมีรูปร่างไม่แน่นอน (non-uniform) เป็นเหตุให้สัญญาณรบกวนส่งผลการรบกวนสัญญาณเสียงสนทนา (speech) ในบางช่วงแถบความถี่ซึ่งจะทำให้ค่า SNR ของสัญญาณ noisy speech แต่และช่วงความถี่มีความแตกต่างกัน” [4]



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างผลการรบกวนของ non-stationary noise (เสียงสว่านไฟฟ้า) ที่มีต่อสเปกตรัมของสัญญาณเสียงสนทนา

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560 : Project Report 4 : 2



ภาพที่ 2.5 ความแตกต่างระหว่าง stationary noise [3] กับ non-stationary noise [3] ทั้งในโดเมนเวลาและ spectrogram ของสัญญาณ

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 3 : 2

ดังนั้น เราสามารถประมาณสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนได้จากการใช้ค่า power spectrum density : PSD ของสัญญาณพูดที่มีเสียงรบกวน noisy speech ในช่วงความถี่ทั้งหมดที่มีค่า SNR ต่ำๆ เป็นตัวแทนของสัญญาณรบกวน ซึ่งก็คือกรณีไม่มีสัญญาณเสียงสนทนา (speech absent) ส่วนบริเวณความถี่ที่ค่า SNR สูงๆอย่างกรณีมีสัญญาณเสียงสนทนา (speech present) จะไม่ถูกนำมาใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณสเปกตรัมของ สัญญาณรบกวนเพื่อป้องกันการประมาณระดับ PSD ของเสียงรบกวนเกินความเป็นจริง (overestimation) [4]

2. ส่วนประมาณระดับอัตราการขยาย Gain Estimator

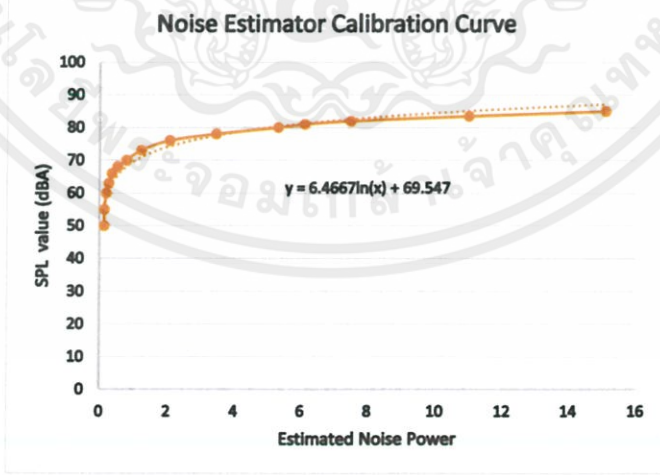
หลังจากที่ได้ค่าพลังงานสัญญาณรบกวน (noise power) จาก NE แล้ว ส่วนนี้จะนำค่าพลังงานดังกล่าวแปลงให้เป็นค่า SPL โดยประมาณของสัญญาณรบกวน และคำนวณหาอัตราการขยายของ PGA ที่เหมาะสมกับระดับ SPL ของสัญญาณรบกวนที่วัดได้ [4] กระบวนการ Gain Estimator จะต้องผ่าน 2 กระบวนการย่อยด้วยกัน คือ

A. Power-to-SPL converter

ส่วนนี้ทำหน้าที่คำนวณระดับ SPL จริงของสัญญาณรบกวนจากค่าเฉลี่ยพลังงานเสียงรบกวน (estimated noise power) ที่ได้จาก Noise Estimator ด้วยการใช้วิธีการเปลี่ยนข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกลุ่มให้เป็นฟังก์ชันที่มีความต่อเนื่อง (curve fitting) ซึ่งกราฟลักษณะเฉพาะ (characteristic curve) ระหว่างค่าเฉลี่ยพลังงานเสียงรบกวนกับค่า SPL จะได้จากการทดลองวัดระดับ SPL [dB] ของ noise (ใช้ Pink noise ในการทดสอบ) พบว่าลักษณะกราฟที่ได้จะกราฟลอการิทึม (logarithmic curve) ดังสมการ

$$SPL(\lambda) = A\ln\big(p(\lambda)\big) + B$$

โดยที่ SPL คือ ระดับ SPL จริงของสัญญาณรบกวนจากค่าเฉลี่ยพลังงานเสียงรบกวน[dB] และ P คือ ค่า estimated noise power ที่ได้จาก Noise estimator [4]



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพลังงานเสียงรบกวนกับ SPL ที่ได้จากการทดลอง

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 4 : 6

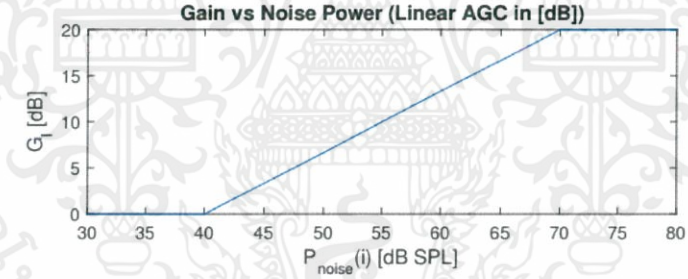
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B. Gain Calculation

ส่วนนี้ทำหน้าที่คำนวณอัตราการขยายของ programmable gain amplifier (PGA) ตามระดับ SPL ของสัญญาณรบกวนที่ได้จากกระบวนการ Power-to-SPL converter โดยกำหนดลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยาย [dB] กับ SPL ของสัญญาณรบกวนแบบ Linear ดังสมการ [4] โดยมีการกำหนดอัตราการขยายสูงสุดเพื่อป้องกันการอิ่มตัวของวงจรขยาย (gain saturation) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการ บิดเบือน (distortion) ของสัญญาณ โดยแสดงตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะ ดังภาพที่ 2.7

$$G(\lambda) = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{SPL_{\max} - SPL_{\min}} \left(SPL(\lambda) - SPL_{\min} \right)$$

โดยที่ $G(\lambda)$ คือ voltage gain [dB] สำหรับ PGA ณ ตำแหน่งเฟรมที่ λ, $SPL(\lambda)$ คือ estimated noise SPL ณ ตำแหน่งเฟรมที่ λ และจากตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะ ดังภาพที่ 1.8 จะได้ G_{max} = 20dB, G_{min} = 0dB, SPL_{max} = 70dB และ SPL_{min} = 40dB



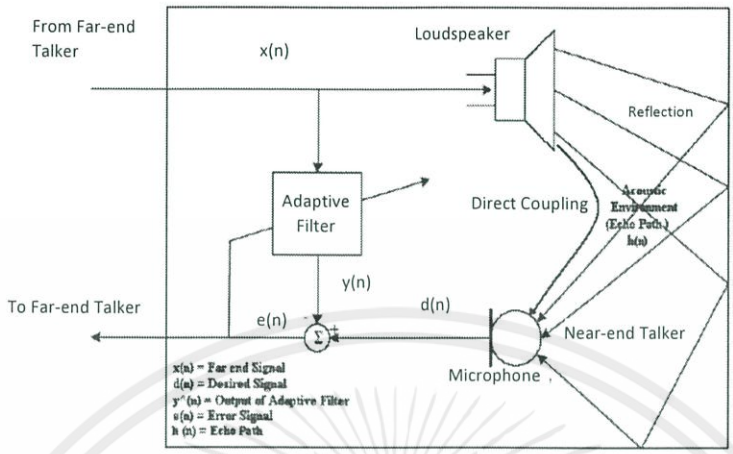
ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยาย [dB] กับ SPL ของสัญญาณรบกวนแบบ Linear

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 4 : 6

เสียงรบกวนจากพื้นที่เป้าหมายจะรับได้โดยไมโครโฟน แต่เนื่องจากไมโครโฟนที่ใช้วัดระดับ SPL ของเสียงรบกวนของพื้นที่เป้าหมายนั้นติดตั้งอยู่ตำแหน่งใกล้เคียงกับดอกลำโพง PA มาก ทำให้สัญญาณเสียงที่รับมามีเสียงของระบบเองปนเข้าไปด้วยจากผลของค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างลำโพงกับไฟโครโฟน (speaker-to-microphone acoustic coupling coefficient) ในขณะที่มีการประกาศ ซึ่งสร้างปัญหาให้ Noise Estimator : NE ประมาณระดับ SPL ของสัญญาณรบกวนเกินความจริง (overestimation) จึงจำเป็นต้องกำจัดสัญญาณ echo ที่เข้ามารวมในสัญญาณที่ไมโครโฟนรับได้ก่อนที่จะถูกส่งไปยัง NE ซึ่งสามารถใช้ Least-Mean Square : LMS Adaptive Filter ในการกำจัดสัญญาณ echo นี้ได้ หรือเรียกกระบวนการดังกล่าวว่า Acoustic Echo Cancellation : AEC [2][4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Acoustic Echo Cancellation : AEC



ภาพที่ 2.8 การใช้งาน LMS Adaptive filter สำหรับทำหน้าที่เป็น echo cancellation ในระบบ DSP

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 4 : 7

การกำจัดสัญญาณเสียงสะท้อน (Echo) ที่เข้ามารวมในสัญญาณที่ไมโครโฟนรับได้ก่อนที่จะถูกส่งไปยัง NE ใช้หลักการของตัวกรองกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Least mean square : LMS filter) คือ ตัวกรองนี้จะพยายามปรับตัวให้ Transfer function ของตัวเองใกล้เคียงกับ Transfer function ของ speaker-to-mic coupling (Direct Coupling ดังภาพที่ 2.8) โดยมีค่า Step size : μ ควบคุมความเร็วของการปรับตัว ซึ่งจะทำให้ LMS filter สร้างสัญญาณ y[n] มาหักล้างเสียง Echo ที่อยู่ภายในสัญญาณจากไมโครโฟน d[n] จนเหลือแต่สัญญาณเสียงรบกวนที่ไมโครโฟนได้รับ (noise signal at microphone) เท่านั้น โดยที่สัญญาณ output สุดท้ายของ AEC ที่จะนำไปใช้กับ Noise Estimator ต่อไปคือสัญญาณ e[n] [4]

จากภาพที่ 2.8 ความหมายของสัญญาณต่างๆมีดังนี้

d[n] = desired signal = microphone signal

x[n] = reference signal = Far end signal (PA signal)

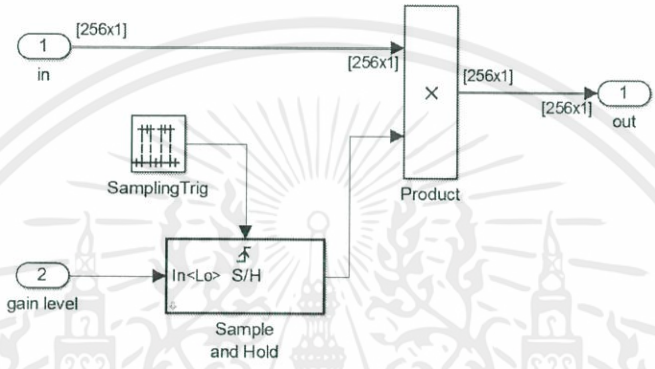
y[n] = LMS filter output signal

e[n] = error signal = AEC output signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัวขยายสัญญาณแบบตั้งโปรแกรมได้ (Programmable Gain Amplifier : PGA)

ในระบบเดิมส่วนนี้จะทำการขยายสัญญาณประกาศจากผู้พูดต้นทาง (far-end speaker) ส่งไปยังตัวขยายสัญญาณ (power amplifier) ของชุดลำโพงระบบ Smart PA โดยที่อัตราการขยายของ PGA นั้นถูกกำหนดจากการสุ่มตัวอย่าง (sampling) ค่าเอาต์พุตของภาค AGC ด้วยการสุ่มและค้างค่าในบล็อค Sample & Hold แสดงดังภาพที่ 2.9 โดยที่อัตราการสุ่ม (sampling rate) ของค่าอัตราการขยายทั่วไปนั้นจะให้เท่ากับระยะเวลา 1 เฟรมของการประมวลผล ($f_{S/H} = \frac{fs}{FFT\ size}$) ซึ่งสามารถยืดหยุ่นให้อัตราการสุ่มช้ากว่าได้ แต่ต้องไม่ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของค่าอัตราการขยายจนผู้ฟังสามารถรับรู้ได้ [4]



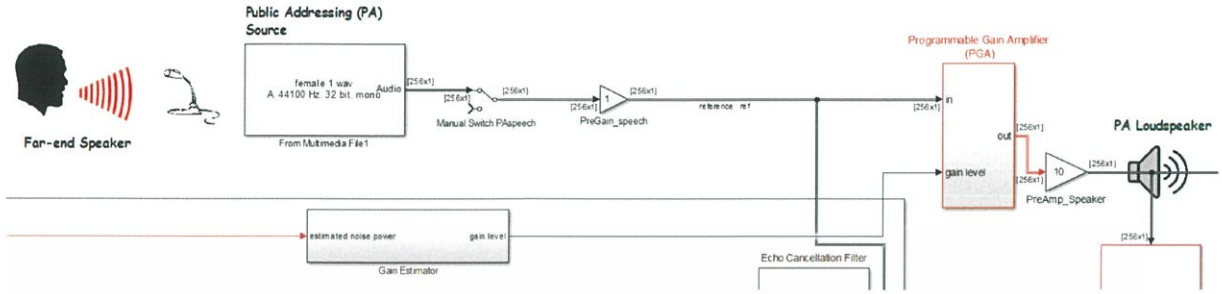
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างภายในของ programmable gain amplifier

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 4 : 9

2.3 การออกแบบวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลัก

วงจรในส่วนทางเดินสัญญาณหลักเป็นวงจรที่ถูกออกแบบแยกออกมาจากส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อแก้ปัญหาที่พบในระบบกระจายเสียงอัจฉริยะรุ่นต้นแบบ โดยมีจุดประสงค์ที่ต้องการให้ส่งผ่านสัญญาณประกาศออกไปยังลำโพงโดยไม่ผ่านกระบวนการแปลงและประมวลผลสัญญาณทางดิจิตอล จากระบบเดิมดังภาพที่ 2.10 ที่เมื่อส่งสัญญาณประกาศขาเข้า (input PA signal) มาเป็นอินพุตของ DSP unit ในไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล (digital-to-analog converter : DAC) ก่อนเพื่อนำสัญญาณนี้ไปประมวลผลในกระบวนการ automatic gain control : AGC และถูกขยายในส่วน programmable gain amplifier : PGA ตามค่าอัตราการขยาย (gain) ที่ประมวลผลได้ จากนั้นจึงจะแปลงกลับเป็นสัญญาณแอนะล็อก (analog-to-digital converter : ADC) ดังนั้นทางเดินสัญญาณประกาศจาก far-end speaker ไปยัง power amplifier ของชุดลำโพงระบบ Smart PA จะต้องถูกสร้างกลับโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการทดลอง ส่วนนี้จะมีสัญญาณรบกวนบวกเพิ่มเข้ามาเป็นการป้อนกลับทางบวก (positive feedback) ในวงจรควบคุม (control loop) โดยเรียกสัญญาณรบกวนนี้ว่าสัญญาณรบกวนภายใน (intrinsic noise) [5] ส่งผลให้ระบบเห็นสัญญาณรบกวนนี้เป็น background noise แทนจากผลการคัปปลิ้งของเสียงจาก PA speaker ไปยังไมโครโฟนทำให้อัตราการขยายของระบบ PA เพิ่มขึ้นจนส่งผลเสียกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 ทางเดินสัญญาณของสัญญาณประกาศ far-end speaker ไปยัง PGA ของระบบ

ที่มา : นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, Project Report 4 : 9

การแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยแยกส่วนทางเดินสัญญาณประกาศจากผู้พูดต้นทางไปยังแอมพลิฟายเออร์ออกจากส่วนประมวลผลสัญญาณ ซึ่งจะเป็นการตัดการส่งออกสัญญาณเสียงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้สัญญาณประกาศขาเข้า (input PA signal) ที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกส่งไปออกยัง PA speaker ของระบบ Smart PA โดยตรงผ่าน volume control IC แทน การทำเช่นนี้จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลเท่านั้นโดยไม่ยุ่งเกี่ยวกับทางเดินของสัญญาณประกาศ และสามารถควบคุมอัตราการขยายโดยส่งสัญญาณผ่าน serial peripheral interface : SPI ไปที่ volume control IC

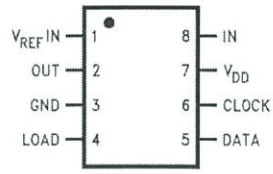
2.3.1 วงจรรวมควบคุมระดับสัญญาณเสียง volume control IC

volume control IC คือ วงจรรวมที่ออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์ในการใช้ควบคุมระดับสัญญาณโดยมีส่วนเชื่อมต่อเพื่อให้สามารถสั่งการได้จากภายนอก ซึ่งลักษณะการใช้งานและวิธีการสั่งการจะแตกต่างกันไปตามผู้ผลิตต่างๆ สำหรับ IC ที่นำมาใช้ในโครงงานนี้จะเป็น volume control IC ที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานในทางด้านเสียงเป็นหลักและสามารถควบคุมการเพิ่ม-ลด อัตราการขยายผ่านทาง serial peripheral interface : SPI โดย IC ที่นำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกตัวที่เหมาะสมมีดังนี้

1. LM1971

เป็นวงจรรวมลดระดับสัญญาณเสียง (audio attenuator IC) ผลิตโดยบริษัท Texas Instruments ควบคุมการลดระดับสัญญาณเสียงด้วยวิธีดิจิตอลที่มีช่วงในการลดระดับสัญญาณอยู่ระหว่าง 0dB ถึง -62dB โดยมีความละเอียดการลดอยู่ที่ 1dB และมีฟังก์ชันเงียบ (mute function) ซึ่งจะเป็นการตัดอินพุตออกจากเอาต์พุตด้วยการลดระดับสัญญาณไปกว่า 100dB [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

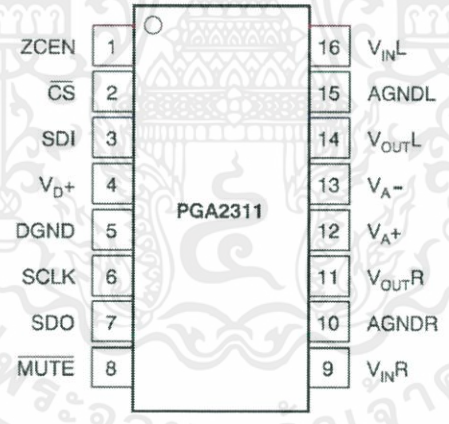


ภาพที่ 2.11 แผนภาพ pin configuration ของ LM1971 audio attenuator IC

ที่มา : Texas Instruments, SNAS104B –FEBRUARY 1995–REVISED APRIL 2013 : 2

2. PGA2311

เป็นวงจรรวมควบคุมระดับสัญญาณเสียงแบบสองช่องสัญญาณ (stereo audio volume control IC) ผลิตโดยบริษัท Texas Instruments เพื่อใช้ในงานประเภทมืออาชีพ และ งานเสียงคุณภาพสูง โดยใช้ออปแอมป์ (operational amplifier) ประเภทสัญญาณรบกวนต่ำ (low-noise) ควบคุมระดับสัญญาณเสียงด้วยวิธีดิจิตอลแบบ 16-bit serial control interface แยกการควบคุม 2 ช่องสัญญาณได้อิสระจากกัน มีช่วงในการเพิ่ม-ลดระดับสัญญาณอยู่ระหว่าง +31.5dB ถึง –95.5dB โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 0.5dB และมีฟังก์ชันเงียบ (mute function) [7]



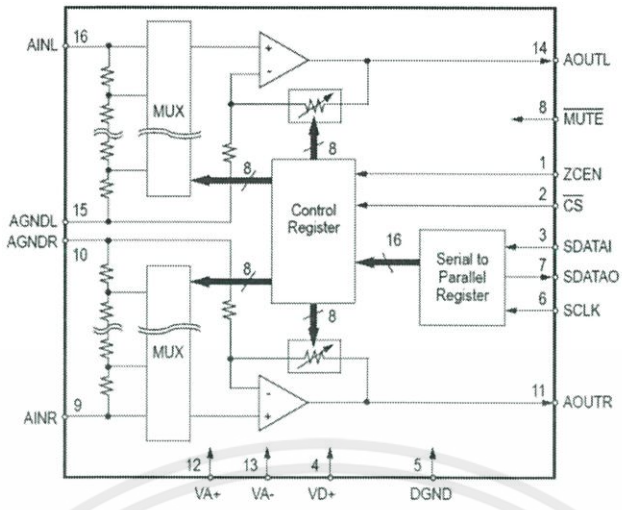
ภาพที่ 2.12 แผนภาพ pin configuration ของ PGA2311 stereo audio volume control IC

ที่มา : Texas Instruments, SBOS218D –DECEMBER 2001–REVISED MAY 2016 : 3

3. CS3310

เป็น stereo audio volume control IC ผลิตโดยบริษัท Cirrus Logic เพื่อใช้ในงานระบบเสียง ควบคุมระดับสัญญาณเสียงด้วยวิธีดิจิตอลแบบ 16-bit serial control interface แยกการควบคุม 2 ช่องสัญญาณได้อิสระจากกัน มีช่วงในการเพิ่ม-ลดระดับสัญญาณอยู่ระหว่าง +31.5dB ถึง –95.5dB โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 0.5dB และมีฟังก์ชันเงียบ (mute function) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 แผนภาพ pin configuration และแผนภาพบล็อคของ CS3310 Stereo Audio Volume Control IC

ที่มา : Cirrus Logic, DS82F1 : 1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะเฉพาะของ volume control IC ทั้ง 3 ชนิดที่นำมาพิจารณา

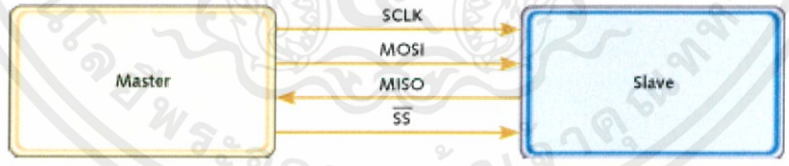
คุณสมบัติ	LM1971	PGA2311	CS3310
Gain/Attenuation	Attenuation	Gain/Attenuation	Gain/Attenuation
Range	0 ถึง -62dB	+31.5dB ถึง –95.5dB	+31.5dB ถึง –95.5dB
Step size	1dB	0.5dB	0.5dB
Mute Function	มี	มี	มี
Total Harmonic Distortion (THD)	0.0008 ถึง 0.003%	0.0002 ถึง 0.0004%	0.001 ถึง 0.0025%
Dynamic Range	115dB	120dB	116dB
Channel	mono	stereo	stereo
Control	8-bit serial control	16-bit serial control	16-bit serial control
Supply	4.5V ถึง 15V	±4.75V ถึง ±5.25V (analog)	±4.75V ถึง ±5.25V (analog)
		4.75V ถึง 5.25V (digital)	4.75V ถึง 5V (digital)
Package	8-pin PDIP, SOIC	16-pin PDIP, SOIC	16-pin SOIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางเปรียบเทียบที่ 2.1 ทางบริษัทฯได้เลือก CS3310 มาใช้เนื่องจากสามารถทำได้ทั้งการเพิ่มและลดระดับสัญญาณด้วยระยะที่กว้างกว่า ส่งผลให้ระบบสามารถปรับตัวเพื่อชดเชยค่าอัตราสัญญาณเสียงต่อคลื่นรบกวน (signal-to-noise ratio) ของสภาวะโดยรอบได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับระยะห่างขั้นในการเพิ่ม-ลดระดับสัญญาณเสียงที่มีความละเอียดจะยิ่งช่วยเพิ่มความเรียบเนียนให้การปรับระดับเสียงไม่เป็นที่สังเกตของผู้ฟังในพื้นที่เป้าหมาย ซึ่ง CS3310 และ PGA2311 สามารถทำได้ในความละเอียดถึง 0.5dB จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการทำงานลักษณะนี้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อดีที่ IC ทั้งสองสามารถรับได้ 2 ช่องสัญญาณ (stereo) มาออกแบบให้ระบบเป็น fully-differential ได้อีกด้วย แต่เมื่อคำนึงถึงความเหมาะสมในเรื่องต้นทุนการผลิตแล้วจึงเป็นเหตุให้ทางบริษัทฯเลือกใช้ CS3310 ซึ่ง CS3310 และ PGA2311 ยังสามารถใช้แทนกันได้โดยไม่จำเป็นต้องออกแบบระบบใหม่ จึงทำให้มีความยืดหยุ่นในการผลิตมากยิ่งขึ้น

2.3.2 serial peripheral interface : SPI

SPI หรือ serial peripheral interface เป็นวิธีการสื่อสารอนุกรมแบบ synchronous รูปแบบหนึ่ง ซึ่งทำงานในรูปแบบที่ให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (master) ในขณะที่อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟ (slave) และสามารถส่งข้อมูลในโหมด full-duplex นั่นหมายความว่า สัญญาณสามารถส่งหากันได้ระหว่าง master และ slave ได้อย่างต่อเนื่อง รูปแบบข้อมูลการสื่อสารหรือโปรโตคอลของ SPI นี้ ไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดตายตัวว่าข้อมูลที่ส่งหากันต้องอยู่ในรูปแบบหรือฟอร์แมตแบบใด เป็นการคิดโปรโตคอลการสื่อสารกันเองแล้วแต่ผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งสามารถดูรูปแบบได้จากเอกสาร (datasheet) ของอุปกรณ์นั้นๆ [9]



ภาพที่ 2.14 การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master - Slave

ที่มา : D. K. a. R. Kalinsky, Introduction to Serial Peripheral Interface, Embedded.com, UBM Electronics, 2002.

2.3.2.1 การสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ master - slave

ภาพที่ 2.14 แสดงการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ master - slave โดยมีสายสัญญาณสี่เส้น ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. SCLK (serial clock) ใช้ส่งสัญญาณนาฬิกาจากอุปกรณ์ master ไปยังอุปกรณ์ slave เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล

2. MOSI (master out slave in) ใช้ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ master ไปยังอุปกรณ์ slave

3. MISO (master in slave out) ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ slave

4. SS (slave select) หรือ ขา CS (chip select) ใช้ส่งสัญญาณระดับต่ำ (low) ไปยังอุปกรณ์ slave ที่ต้องการรับส่งข้อมูล

อุปกรณ์ master ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการสื่อสารทั้งหมด โดยควบคุมการสื่อสารตามสัญญาณนาฬิกาและสายสัญญาณ SS ตัว master จะเป็นตัวตัดสินใจเลือก รับ หรือ ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ Slave [9]

2.3.2.2 รูปแบบการสื่อสารของ SPI

การสื่อสารแบบ SPI ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นกำหนดรูปแบบการสื่อสารของอุปกรณ์ master ให้ตรงกับอุปกรณ์ slave โดยมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังนี้

1. กำหนดทิศทางการสื่อสาร

- full-duplex หรือ การสื่อสารแบบสองทาง เป็นการสื่อสารที่สามารถสื่อสารได้ 2 ทิศทางพร้อมๆ กันในตัวกลางเดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือรับส่งข้อมูลได้พร้อมกัน

- half-duplex หรือ การสื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง เป็นการสื่อสารที่สามารถทำได้ทั้ง 2 ทิศทางแต่ส่งได้เพียงทิศทางเดียวในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น

2. รูปแบบการรับส่งข้อมูล 8 บิต หรือ 16 บิต โดยสามารถเลือกได้ว่าจะส่งบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB) หรือ บิตนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อน

3. ลักษณะของขอบสัญญาณนาฬิกา เพื่อกำหนดจังหวะการรับ-ส่งข้อมูล

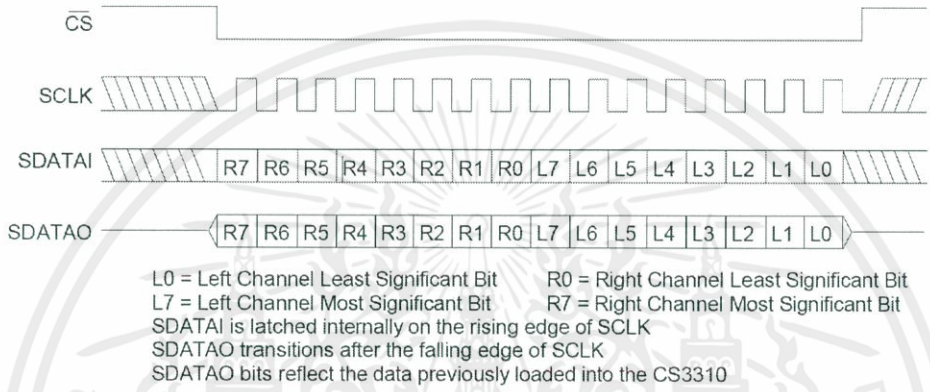
[9]

2.3.2.3 การสื่อสารแบบ SPI สำหรับ CS3310 Volume Control IC

CS3310 ใช้รูปแบบอินเตอร์เฟสอย่างง่ายโดยประกอบไปด้วยสายสัญญาณ 3 เส้น คือ SDATAI (serial data input), SCLK (serial data clock) และ CS (chip select input) สำหรับ SDATAO (serial data output) มีไว้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถอ่านค่าระดับสัญญาณปัจจุบัน (current volume setting) หรือสามารถใช้เมื่อต่อ CS3310 เข้าด้วยกันหลายตัวในรูปแบบ daisy-chain [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการรับข้อมูลของ CS3310 เป็นแบบ 16 บิต โดยจะต้องเริ่มด้วยการส่งบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ไปยัง SDATAI ก่อน พร้อมกับสัญญาณนาฬิกาขาขึ้น (rising edge) ไปยัง SCLK และ ที่ขา CS เป็น low ดังภาพที่ 2.15 การส่งข้อมูลจะหยุดเมื่อเจอขอบขาขึ้นของขา CS จากนั้นระดับสัญญาณขาออก (analog output levels) ของทั้งช่องสัญญาณซ้ายและขวาจะถูกตั้งค่า ข้อมูลที่อยู่ใน volume control data register จะเลื่อนออกไปทาง SDATAO ณ ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งสามารถอ่านค่าระดับสัญญาณปัจจุบันได้จากข้อมูลนี้ [8]



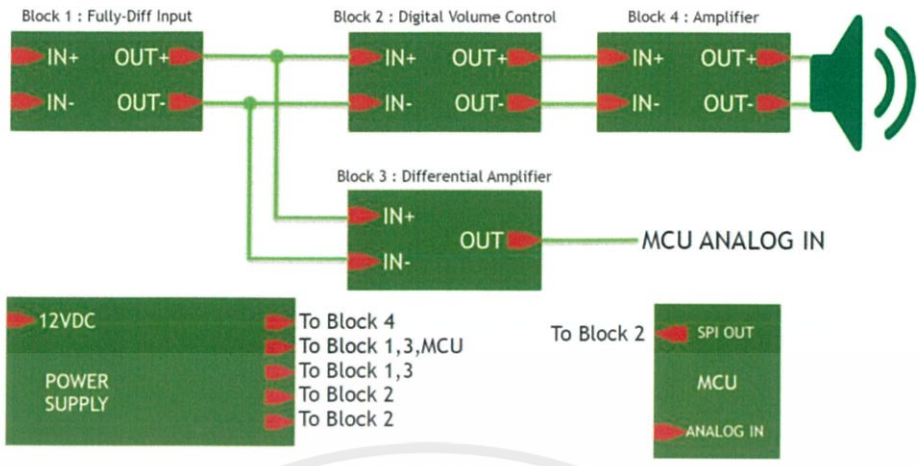
ภาพที่ 2.15 Serial Port Timing

ที่มา : Cirrus Logic, DS82F1 : 7

2.3.3 องค์ประกอบของวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลัก

ภาพที่ 2.16 แสดงแผนภาพบล็อค (block diagram) ของทางเดินสัญญาณหลักในระบบ Smart PA ประกอบด้วย วงจรส่วนขาเข้าเชิงแตกต่างแบบครบเครื่อง (fully-differential input) รับสัญญาณเสียงโมโนขาเข้าจากผู้พูดต้นทาง ในรูปแบบการเชื่อต่อด้วยสายสัญญาณบาลานซ์ (XLR) จากนั้นสัญญาณจะแยกไป 2 ทาง คือ ส่วนวงจรขยายผลต่าง (differential amplifier) นำสัญญาณไปยัง Analog In ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ประมวลผลในกระบวนการ automatic gain control : AGC และอีกเส้นทาง สัญญาณจะเข้าสู่วงจรควบคุมระดับสัญญาณเสียงแบบดิจิตอล (digital volume control) เพื่อปรับระดับสัญญาณตามค่าอัตราการขยาย (gain) ที่ประมวลผลได้จาก DSP unit โดยรับข้อมูลผ่านสายสัญญาณ SPI ก่อนจะขยายสัญญาณด้วยภาคขยายสัญญาณ (power amplifier) ออก PA loudspeaker และส่วนสุดท้ายคือภาคจ่ายไฟ (power supply) ซึ่งรับไฟกระแสตรง 12V ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้ทุกวงจรรวมทั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 แผนภาพบล็อคของทางเดินสัญญาณหลัก

2.3.4 วงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ (digital volume control)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เพิ่ม-ลดระดับ (volume) ของสัญญาณ มี CS3310 stereo audio volume control IC เป็นส่วนประกอบหลักของวงจรโดยใช้การสื่อสารแบบ serial peripheral interface : SPI กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับข้อมูลแบบ 16 บิต ที่ประกอบด้วยค่าอัตราการขยาย (gain) ของช่องสัญญาณทั้งสองช่อง (อธิบายวิธีการสื่อสารไว้ในหัวข้อที่ 2.4.2) วงจรส่วนนี้เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากวงจร fully-differential input จึงรับสัญญาณเสียงแอนะล็อกในรูปแบบบาลานซ์ (balanced signal) ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณผลต่างมีเฟสตรงข้ามกัน ทั้งนี้ด้วยคุณสมบัติของ CS3310 ที่มีสองช่องสัญญาณ จึงสามารถออกแบบระบบให้เป็น fully-differential ได้โดยใช้ค่าอัตราการขยายเดียวกันในทั้งสองช่องสัญญาณ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจะส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาที่ขา SDATAI ของ CS3310 โดยที่ input code [8] เทียบกับค่าอัตราการขยายมีหลักการและสมการดังนี้

เมื่อ N = 0 ; CS3310 จะเข้าสู่โหมด mute (software mute) โดยอินพุตของ multiplexer จะเชื่อมเข้ากับกราวด์แอนะล็อก (AGNDR หรือ AGNDL)

เมื่อ N = 1 ถึง 255 ; Gain (dB) = 31.5 – [0.5 × (255 – N)]

ดังนั้นจึงสามารถมีช่วง Gain ได้ตั้งแต่ +31.5 dB (N = 255) ถึง –95.5 dB (N = 1)

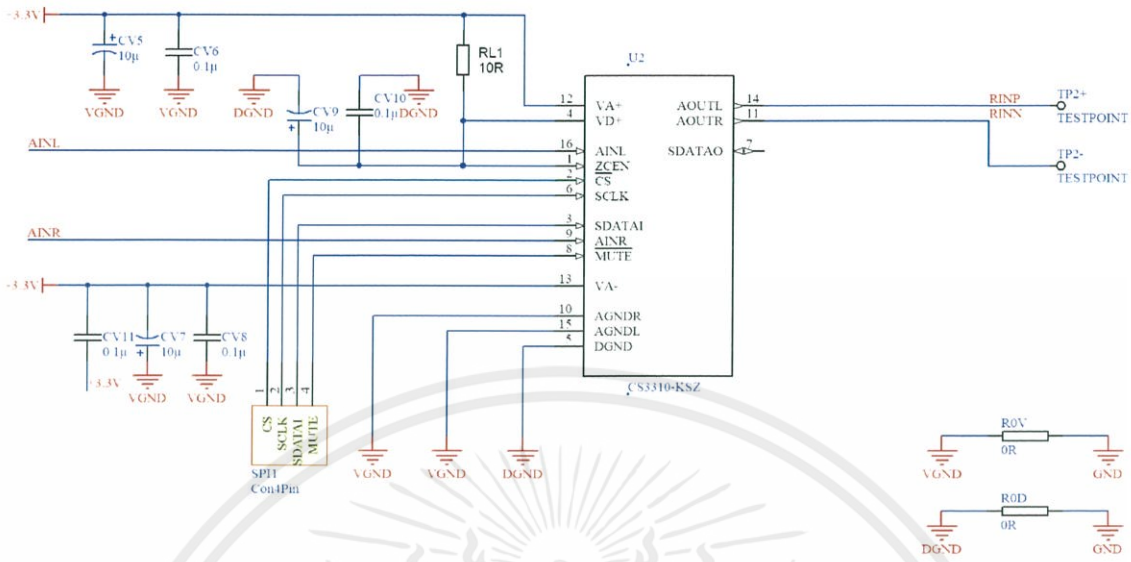
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดง input code เทียบกับค่าอัตราการขยาย/ลดทอน (gain/attenuation)

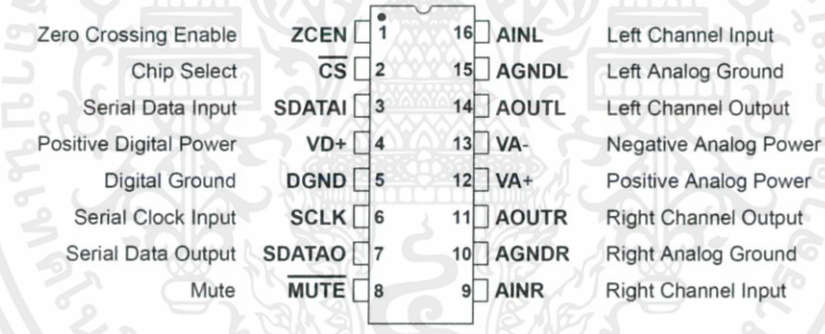
N	input code (เหมือนกันทั้ง 2 ช่องสัญญาณ)	อัตราการขยาย/ลดทอน [dB]
255	1111 1111	+31.5
254	1111 1110	+31.0
253	1111 1101	+30.5
252	1111 1100	+30.0
251	1111 1011	+29.5
.	.	.
.	.	.
192	1100 0000	0
.	.	.
.	.	.
5	0000 0101	-93.5
4	0000 0100	-94.0
3	0000 0011	-94.5
2	0000 0010	-95.0
1	0000 0001	-95.5
0	0000 0000	software mute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.1 การเชื่อมต่อวงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ



ภาพที่ 2.17 ผังวงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ



ภาพที่ 2.18 pin configuration พร้อมความหมาย ของ CS3310 stereo audio volume control IC

ที่มา : Cirrus Logic, DS82F1 : 13

จากภาพที่ 2.17 และ 2.18 สามารถอธิบายการเชื่อมต่อส่วนต่างๆของวงจรควบคุมระดับสัญญาณ (CS3310 stereo audio volume control IC) ได้ดังนี้

1. Power Supply

VA+: Positive Analog Power, Pin 12.

- เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟบวก +3.75V สำหรับภาคแอนะล็อก (positive analog supply)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VA-: Negative Analog Power, Pin 13.

- เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟลบ -3.75V สำหรับภาคแอนะล็อก (negative analog supply)

AGNDL: Left (signal +) Channel Analog Ground, Pin 15.

- จุดอ้างอิงกราวด์แอนะล็อกของช่องสัญญาณบวก (signal +/in-phase signal)

AGNDR: Right (signal -) Channel Analog Ground, Pin 10.

- จุดอ้างอิงกราวด์แอนะล็อกของช่องสัญญาณลบ (signal -/phase-inverted signal)

VD+: Positive Digital Power, Pin 4.

- เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟบวกสำหรับภาคดิจิตอล +3.75V ระหว่างแหล่งจ่ายไฟ VD+ กับ VA+ จะขั้นด้วยตัวต้านทางขนาด 10 โอห์ม เพื่อป้องกัน SCR latch-up [8]

DGND: Digital Ground, Pin 5.

- จุดอ้างอิงกราวด์สำหรับภาคดิจิตอล

2. Analog Inputs และ Outputs

AINL, AINR: Left (signal +), Right (signal -) Channel Analog Inputs, Pins 16, 9.

- เชื่อมต่อกับสัญญาณขาเข้าแอนะล็อกบวกและลบจากวงจร fully-differential Input

AOUTL, AOUTR: Left (signal +) and Right (signal -) Channel Analog Outputs, Pins 14, 11.

- ช่องสัญญาณขาออกแอนะล็อกบวกและลบของวงจรควบคุมระดับสัญญาณโดยขานี้จะเชื่อต่อกับช่องสัญญาณขาเข้าของวงจรภาคขยายสัญญาณ (power amplifier)

3. Digital Pins

SDATAI (MOSI) - Serial Data Input, Pin 3.

- เชื่อมต่อกับขา serial data output ของไมโครคอนโทรลเลอร์ รับข้อมูลอนุกรมขาเข้าสำหรับตั้งค่าระดับสัญญาณแอนะล็อกขาออกของทั้งช่องสัญญาณบวกและลบ มีลักษณะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเป็นแบบ 16 บิต โดย 8 บิตแรกที่เข้ามาเป็นข้อมูลระดับสัญญาณของช่องสัญญาณลบ และ 8 บิตต่อมาสำหรับช่องสัญญาณบวก ข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่ CS3310 ตามขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา (SCLK)

SDATAO (MISO) - Serial Data Output, Pin 7.

- เป็นขาที่ส่งข้อมูลอนุกรมขาออก ใช้สำหรับเมื่อต่อ CS3310 เข้าด้วยกันหลายตัวในรูปแบบ daisy-chain โดยข้อมูลที่ออกมาจะเป็นข้อมูลค่าระดับสัญญาณ 16 บิต ก่อนหน้าที่ถูกป้อนเข้าที่ขา SDATAI สำหรับในโครงงานนี้จะไม่ได้ใช้ขานี้เนื่องจากใช้ CS3310 เพียงตัวเดียว

SCLK - Serial Input Clock, Pin 6.

- เชื่อมต่อกับขาสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขา SCLK เป็นขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับการส่งข้อมูลอนุกรมแต่ละบิตทั้งขาเข้า (serial data input : SDATAI) และขาออก (serial data output : SDATAO) โดยเมื่อ SCLK เป็นขอบขาขึ้น ข้อมูลแต่ละบิตจะเลื่อนเข้าขา SDATAI และเมื่อ SCLK เป็นขอบขาลง ข้อมูลแต่ละบิตจะเลื่อนออกทางขา SDATAO

CS - Chip Select, Pin 2.

- เชื่อมต่อกับขา chip select ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อขา CS มีสัญญาณเป็น high level ขา SDATAO จะอยู่ในสถานะ high impedance และจะเริ่มรับข้อมูลค่าระดับสัญญาณขนาด 16 บิต เข้าสู่ขา SDATAI เมื่อพบสัญญาณขอบขาลงที่ขา CS จากนั้นจะหยุดรับข้อมูลเมื่อเจอสัญญาณขอบขาขึ้นที่ขา CS

MUTE - Mute, Pin 8.

- เชื่อมต่อกับขา MUTE ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณแอนะล็อกขาออกจะต่อลงกราวด์เพื่อเข้าสู่โหมด mute เมื่อขา MUTE มีสัญญาณเป็น low level โดยสัญญาณ MUTE จะต้องส่งนานอย่างน้อย 2 ms

ZCEN - Zero Crossing Enable, Pin 1.

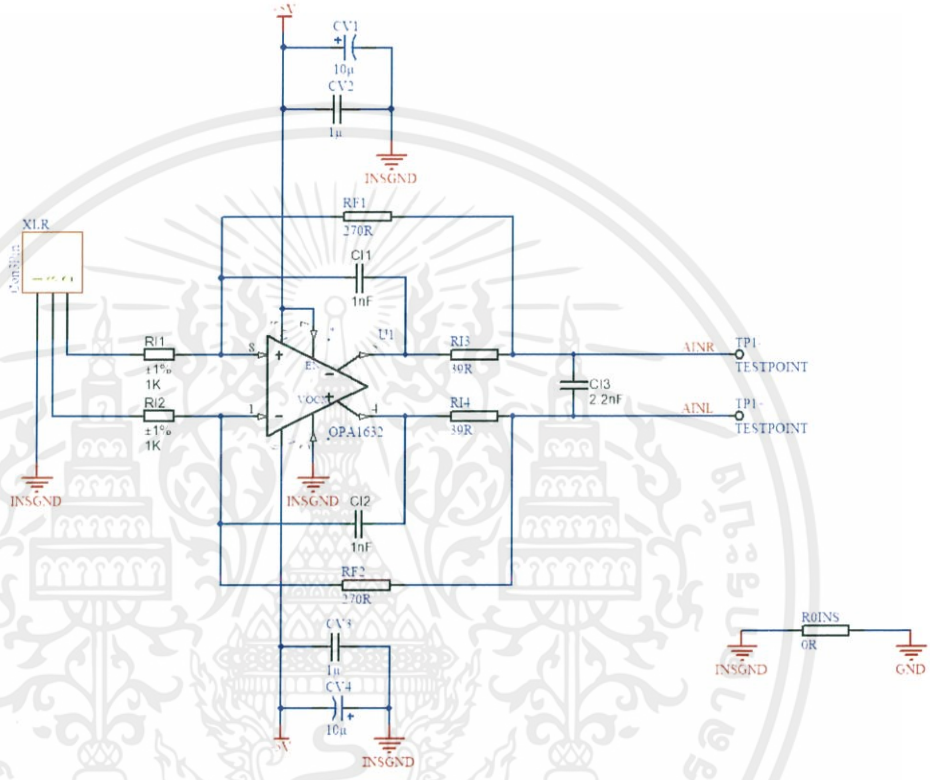
- ที่ขานี้จะใช้เพื่อเปิดหรือปิดการทำงานของ zero crossing detection สำหรับตรวจสอบเฟสที่ 0 องศา เมื่อเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณแอนะล็อกขาออก โดยจะใช้สัญญาณ high level เพื่อเปิดการทำงาน

[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 วงจรส่วนสัญญาณขาเข้า (fully-differential input)

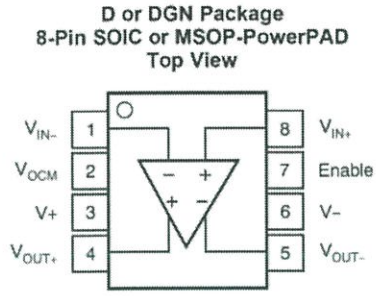
เป็นส่วนรับสัญญาณเสียงบาลานซ์โมโนจากขั้วต่อชนิด XLR ซึ่งติดตั้งอยู่ทางด้านหลังของลำโพง Smart PA โดยวงจรมีลักษณะเป็น fully-differential ใช้ออปแอมป์ (operational amplifier) OPA1632 ที่ออกแบบมาเพื่องานด้านเสียงโดยเฉพาะและมีการผิดเพี้ยนต่ำ [11]



ภาพที่ 2.19 ผังวงจรส่วนสัญญาณขาเข้า

จากผังวงจรในภาพที่ 2.19 อัตราขยายสัญญาณของวงจรตั้งไว้ที่ประมาณ 0.25 เพื่อให้รองรับกับระดับเสียงที่ใช้กันทั่วไป (line levels) ค่าตัวต้านทานฟีดแบ็ก (RF1 และ RF2) ควรมีค่าที่ต่ำ เพื่อให้ประสิทธิภาพในการจัดการเสียงรบกวนสูงที่สุด RI3, RI4 และ CI3 ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองอินพุตสำหรับวงจรถัดไป ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าให้เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ตัวต้านทาน RI1 กับ RI2 และ RI3 กับ RI4 ที่เข้าคู่กันเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้สัญญาณผลต่างที่สมดุลกันมากที่สุด ดังนั้นจึงใช้ตัวต้านทานที่มีค่าความผิดพลาด 1% เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ในส่วนวงจรกรองควรเลือกตัวเก็บประจุ CI1, CI2 และ CI3 ที่เป็นโพลีสไตรีน (Polystyrene : PS), โพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP), เซรามิก NPO และไมก้า (Mica) เพื่อประสิทธิภาพในการขจัดความเพี้ยนสัญญาณที่ดี ส่วนชนิดโพลีเอสเตอร์ (Polyester) และเซรามิกชนิด high-K อย่างเช่น Z5U จะทำให้เกิดการบิดเบือนของสัญญาณได้ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

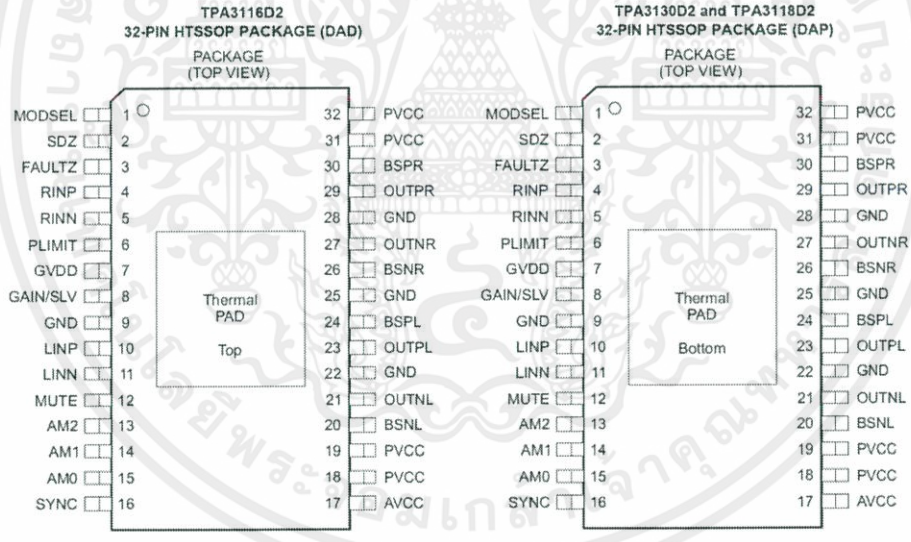


ภาพที่ 2.20 pin configuration ของ OPA1632 fully-differential audio operational amplifier

ที่มา : Texas Instruments, SBOS286C –DECEMBER 2003–REVISED OCTOBER 2015 : 3

2.3.6 วงจรภาคขยายสัญญาณ (power amplifier)

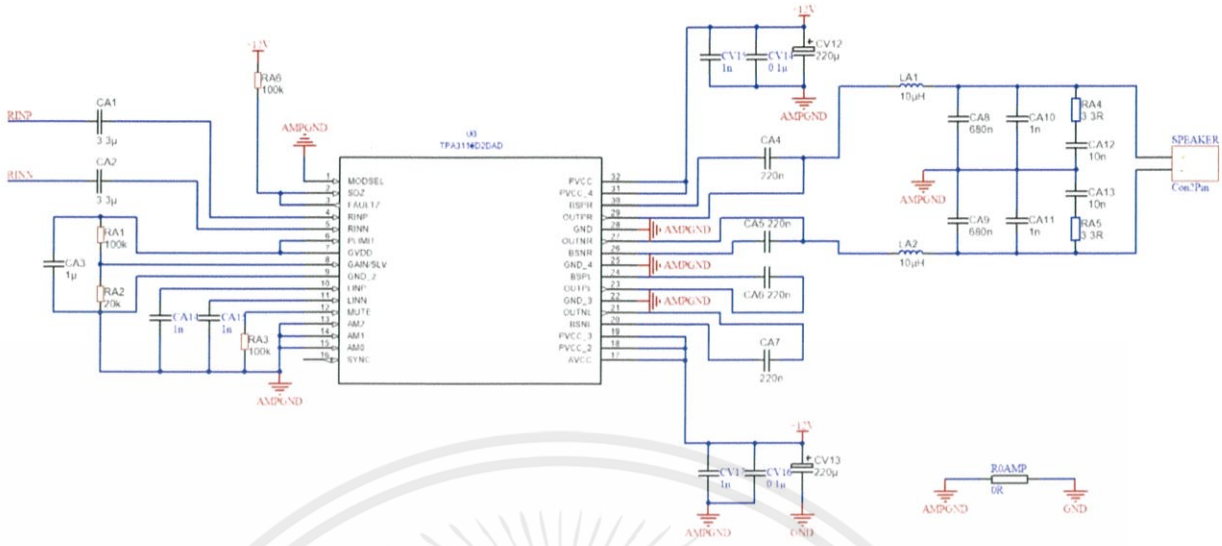
สำหรับวงจรภาคขยายสัญญาณจะมีลักษณะเป็นพาวเวอร์แอมป์คลาส D โดยใช้ TPA3116D2 ขยายสัญญาณแบบช่องสัญญาณเดี่ยว (mono) จากเอาต์พุตของวงจรควบคุมระดับสัญญาณ



ภาพที่ 2.21 แผนภาพ pin configuration ของ TPA3116D2

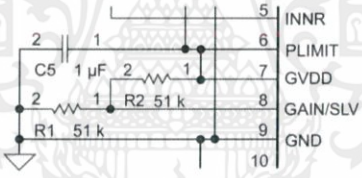
ที่มา : Texas Instruments, SLOS708B –APRIL 2012–REVISED MAY 2012 : 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.22 ผังวงจรภาคขยายสัญญาณ

2.3.6.1 การเลือกอัตราการขยาย (gain setting)



ภาพที่ 2.23 การเชื่อมต่อเพื่อเลือกอัตราการขยาย

ที่มา : Texas Instruments, SLOS708B –APRIL 2012–REVISED MAY 2012 : 15

การเลือกอัตราการขยายสัญญาณของ TPA3116D2 สามารถทำได้โดยใช้การแบ่งแรงดันไฟฟ้า (voltage divider) ที่ขา GAIN/SLV ซึ่งทำได้ทั้งโหมด master และ slave โดยวงจร ADC [10] ภายในใช้สำหรับตรวจจับสถานะอินพุต 8 สถานะ คือ 4 สถานะแรกสำหรับเลือกอัตราการขยายในโหมด master โดยมีอัตราการขยาย 20, 26, 32 และ 36 dB ตามลำดับ และ 4 สถานะต่อมาสำหรับโหมด slave โดยมีอัตราการขยาย 20, 26, 32 และ 36 dB ตามลำดับ การเลือกอัตราการขยายไม่สามารถเปลี่ยนได้ระหว่างอุปกรณ์ทำงาน สำหรับในโครงงานนี้ได้เลือกใช้อัตราการขยายในโหมด master คือ 26 dB โดยมีการเชื่อมต่อดังภาพที่ 2.23 [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 อัตราการขยายสัญญาณในโหมด master และ slave และค่าตัวต้านทานที่แนะนำ

โหมด	อัตราการขยาย [dB]	ค่าตัวต้านทาน เชื่อมกับ GND [kΩ]	ค่าตัวต้านทาน เชื่อมกับ GVDD [kΩ]	ความต้านทาน อินพุต [kΩ]
Master	20	5.6	open	60
Master	26	20	100	30
Master	32	39	100	15
Master	36	47	75	9
Slave	20	51	51	60
Slave	26	75	47	30
Slave	32	100	39	15
Slave	36	100	16	9

2.3.6.2 ความต้านทานอินพุต (input impedance)

อินพุตของ TPA3116D2 นั้นมีลักษณะเป็น fully-differential และความต้านทานอินพุตจะสัมพันธ์กับการเลือกอัตราการขยายตั้งแต่ 9 kΩ ที่อัตราการขยาย 36 dB ถึง 60 kΩ ที่อัตราการขยาย 20 dB ดังตารางที่ 2.3 เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานอินพุตอยู่ที่ ±20% จึงทำให้ความต้านทานอินพุตต่ำสุดจะต้องมากกว่า 7.2 kΩ [10] ส่วนอินพุตของวงจรต้องให้เฉพาะสัญญาณ AC ผ่านได้เท่านั้น (AC-coupled) เพื่อลดแรงดัน dc-offset ที่เอาต์พุตให้เหลือน้อยที่สุด จึงใช้ตัวเก็บประจุมาทำหน้าที่เป็น input ac-coupling ร่วมกับความต้านทานอินพุตในลักษณะวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (high-pass filter)โดยสามารถคำนวณหาค่าความถี่ตัด (cut-off frequency) ได้ดังนี้

$$f = \frac{1}{2\pi Z_i C_i}$$

โดยที่ f = ค่าความถี่ตัด (cut-off frequency [Hz])

Z = ความต้านทานอินพุต (input impedance [kΩ])

C = ค่าความจุอินพุต (input capacitance [μF])

ถ้าต้องการผลตอบสนองความถี่ต่ำที่เรียบ (flat bass response) ลงไปถึง 20 Hz ค่าความถี่ตัดจะต้องเป็นหนึ่งในสิบของค่าดังกล่าวซึ่งก็คือ 2 Hz ในตารางที่ 2.4 แสดงค่าความจุอินพุตที่เหมาะสมสำหรับแต่ละค่าอัตราการขยาย [10] สำหรับในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ค่าความจุอินพุต 3.3 μF สัมพันธ์กับอัตราขยายที่ 26 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าความจุอินพุตที่เหมาะสมสำหรับแต่ละค่าอัตราการขยาย

อัตราขยาย [dB]	ความต้านทานอินพุต [kΩ]	ค่าความจุอินพุต [μF]	ค่าความถี่ตัด [Hz]
20	60	1.5	1.8
26	30	3.3	1.6
32	15	5.6	2.3
36	9	10	1.8

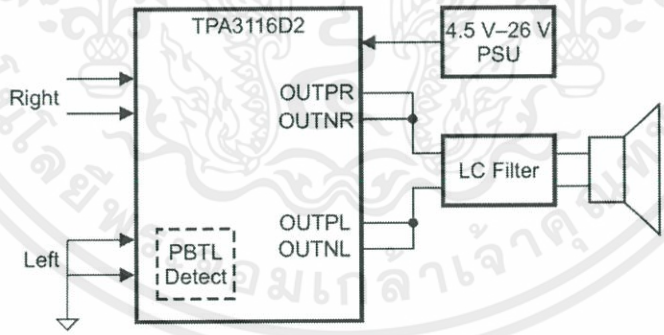
2.3.6.3 โหมดโมโน (mono mode)

TPA3116D2 สามารถต่อในโหมดโมโนได้ซึ่งสามารถให้กำลังขับเอาต์พุตได้ถึง 100 W โดยมีวิธีการดังนี้

- เชื่อมขา INPL และ INNL ลงกราวด์ (โดยไม่ผ่านตัวเก็บประจุ) การเชื่อมต่อนี้จะทำให้อุปกรณ์ตั้งค่าเป็นโหมดโมโนเมื่อเปิดใช้งาน

- เชื่อมขา OUTPR กับ OUTNR เข้าด้วยกันเป็นขั้วบวกของลำโพง และเชื่อม OUTNL กับ OUTPL เข้าด้วยกันเป็นขั้วลบของลำโพง

- เชื่อมสัญญาณเสียงแอนะล็อกเข้าที่ขา INPR และ INNR [10]



ภาพที่ 2.24 การเชื่อมต่อในโหมดโมโน

ที่มา : Texas Instruments, SLOS708B –APRIL 2012–REVISED MAY 2012 : 18

สำหรับในโครงงานนี้จะดัดแปลงการเชื่อมต่อโหมดโมโนดังภาพที่ 2.24 เนื่องจากกำลังขับที่ได้จากการเชื่อมต่อด้วยวิธีการดังกล่าวนั้นมากเกินไปสำหรับลำโพงที่ใช้งาน โดยมีวิธีการดังนี้

- เชื่อมขา INPL และ INNL ลงกราวด์ผ่านตัวเก็บประจุขนาด 1nF

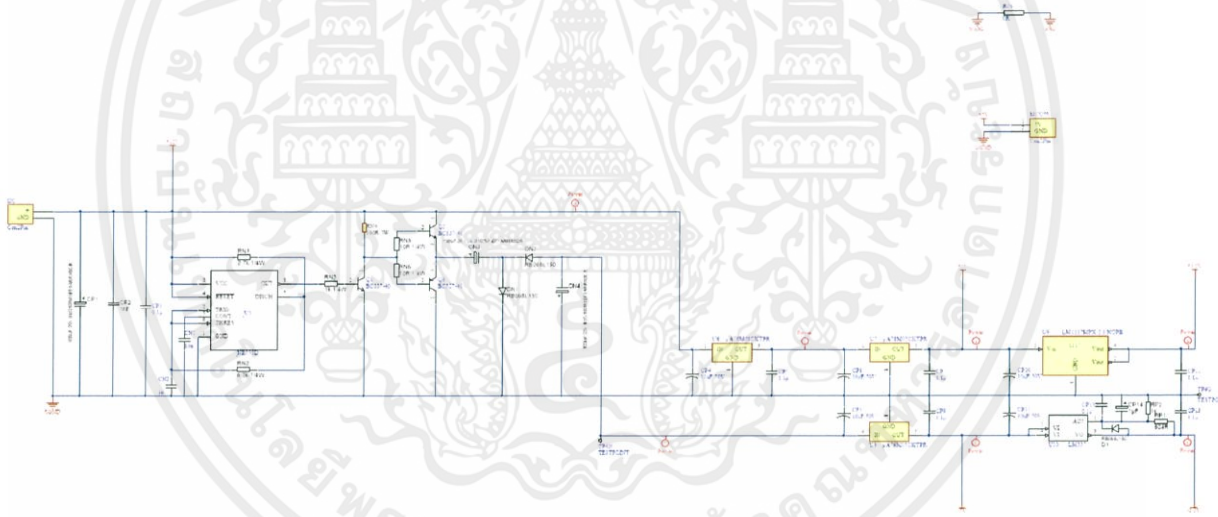
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ขา OUTPR และ OUTNR เป็นขั้วบวกและลบของลำโพงตามลำดับเหมือนการเชื่อมต่อในโหมด สเตอริโอ และจะไม่ใช้ขา OUTNL และ OUTPL

- เชื่อมสัญญาณเสียงแอนะล็อกเข้าที่ขา INPR และ INNR

2.3.7 วงจรภาคจ่ายไฟ (Power Supply)

การออกแบบภาคจ่ายไฟของวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักมีลักษณะเป็นแหล่งจ่ายไฟคู่ (dual supply) จะรับไฟกระแสตรง (Direct Current : DC) 12V จากอะแดปเตอร์ภายนอก ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้ทุกวงจรรวมทั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไฟเลี้ยงไปยังส่วนต่างๆของวงจร ได้แก่ 12VDC จ่ายให้วงจรภาคขยายสัญญาณ (power amplifier), ±5VDC จ่ายให้วงจรส่วนสัญญาณขาเข้า (fully-differential input) และวงจรส่วน differential amplifier, ±3.3VDC จ่ายให้วงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ (digital volume control) และ 5VDC บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



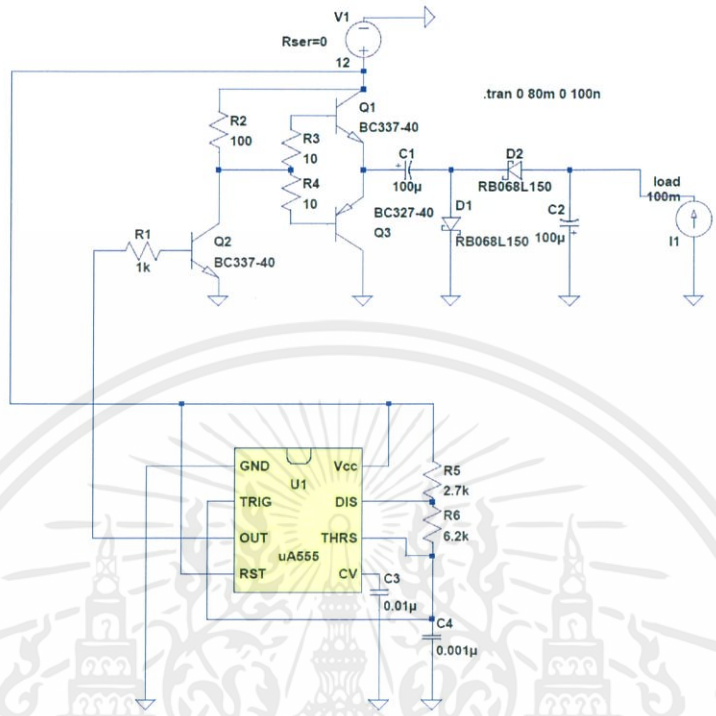
ภาพที่ 2.25 ผังวงจรภาคจ่ายไฟ

2.3.7.1 Charge-pump circuit

วงจร Charge-pump คือ วงจรประเภทแปลงไฟกระแสตรง (DC to DC converter) คือเป็นวงจรที่แปลงค่าความต่างศักย์ของพลังงานไฟฟ้าให้เป็นค่าความต่างศักย์อื่น ซึ่งวงจร Charge-pump เป็นวงจรแปลงไฟกระแสตรงชนิดที่ใช้ตัวเก็บประจุเพื่อกักเก็บพลังงานไว้เพื่อเพิ่ม-ลดแรงดันไฟฟ้า วงจรดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงถึง 90-95% และยังมีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน ในการออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟคู่ (dual supply) จ่ายไฟบวกและลบให้ส่วนสัญญาณ

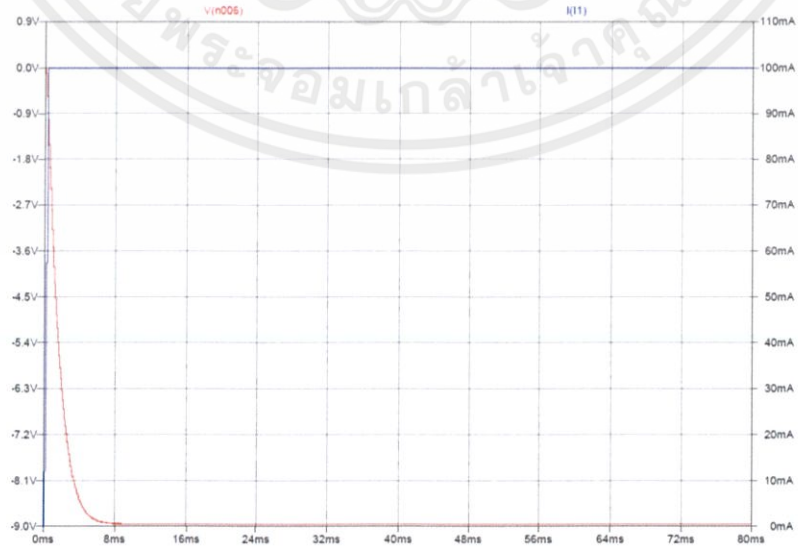
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาเข้า (fully-differential input), ส่วน differential amplifier และส่วนควบคุมระดับสัญญาณ (digital volume control) จึงใช้วงจร Charge-pump ในการสร้างไฟลบซึ่งมีวงจรดังภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 ผังวงจร Charge-pump

ในการออกแบบวงจร Charge-pump จะใช้การจำลองวงจรในภาพที่ 2.26ด้วยโปรแกรม LTspice โดยผลการจำลองวงจร (แสดงดังภาพที่ 2.27) เมื่อจ่ายไฟ +12VDC ให้วงจร วงจรสามารถจ่ายไฟประมาณ -9V โดยมีโหลดกระแส 100mA ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานจ่ายไฟให้วงจรดังที่ได้ออกแบบไว้



ภาพที่ 2.27 แสดงแรงดันไฟขาออกจากวงจร Charge-pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานโครงงาน

3.1 ประชุมและวางแผนการทำงาน

นักศึกษาและบริษัททำการร่วมประชุมหารือเกี่ยวกับรายละเอียดของโครงงาน รับฟังปัญหาที่เกิดขึ้นในรุ่นต้นแบบ และความต้องการของบริษัท รวมถึงขอบเขตการทำงานในโครงงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย

3.1.1 สิ่งที่ทำสำเร็จแล้วใน Smart PA รุ่นต้นแบบ

1. อัลกอริทึมใน DSP unit สำหรับระบบ automatic gain control ถูกจำลองบนโปรแกรม MATLAB Simulink เรียบร้อยแล้ว พร้อมสำหรับนำไปดำเนินการต่อบนซอฟท์แวร์ฝังตัว (embedded software)

2. ทำการทดสอบอัลกอริทึมของระบบดังกล่าวบนภาษาซีโดยใช่งาน CMSIS DSP library สำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32

3. สร้างระบบขนาดเล็กสำหรับทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับ DSP unit บนระบบฝังตัว (embedded system) ประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4DISCO และไมโครโฟนซิลิคอน Wolfson WM7121 สำหรับวัดเสียง background noise

3.2 วิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางแก้ไข

แบ่งหัวข้อปัญหาเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนทางเดินสัญญาณและส่วนประมวลผลสัญญาณ โดยจะทำการศึกษาระบบเก่าทั้งหมดก่อน ซึ่งเน้นไปส่วนของทางเดินสัญญาณ โดยเป็นการออกแบบใหม่แยกออกมาจากส่วนประมวลผลสัญญาณ

3.2.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นใน Smart PA รุ่นต้นแบบ

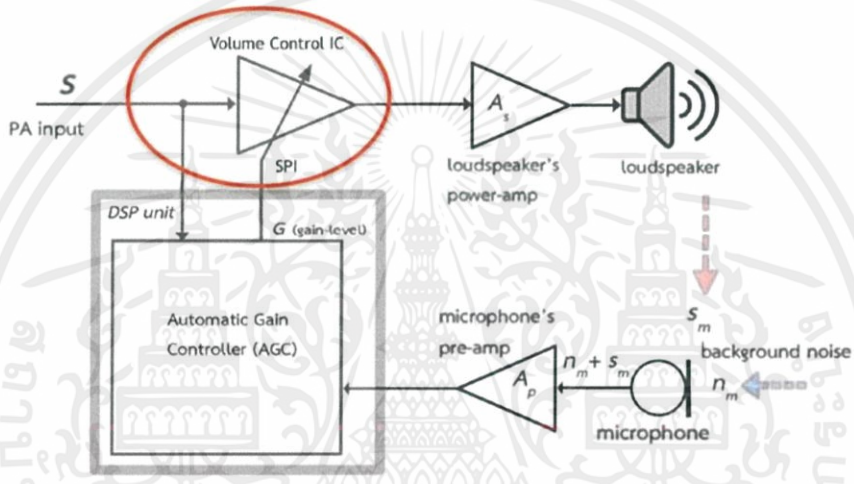
จากการทดสอบระบบเดิมส่วนทางเดินสัญญาณประกาศจาก far-end speaker ไปยัง power amplifier จะมีสัญญาณรบกวนบวกเพิ่มเข้ามาเป็น positive feedback ใน control loop โดยเรียกสัญญาณรบกวนนี้ว่า intrinsic noise [5] ส่งผลให้ระบบเห็น intrinsic noise นี้เป็น background noise แทนจากผลการคัปปลิ้งของเสียงจาก PA speaker ไปยังไมโครโฟนทำให้อัตราการขยายของระบบ PA เพิ่มขึ้นจนส่งผลเสียกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 แนวทางแก้ไข

แนวทางแก้ไขสำหรับปัญหาสัญญาณรบกวนดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1 มีวิธีแก้ไขได้ 2 วิธีได้แก่

1. แยกส่วนทางเดินสัญญาณประกาศจาก far-end speaker ไปยัง power amplifier ออกจากส่วนประมวลผลสัญญาณ ซึ่งจะเป็นการตัดการส่งออกสัญญาณเสียงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้สัญญาณประกาศขาเข้า (input PA signal) ที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกส่งไปออกยัง PA speaker ของระบบ Smart PA โดยตรงผ่าน volume control IC แทน ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการส่งข้อมูลอัตราการขยายผ่าน serial peripheral interface : SPI



ภาพที่ 3.1 การแยกส่วนทางเดินสัญญาณประกาศออกจากส่วนประมวลผลสัญญาณ

2. ใช้ Audio Codec คุณภาพสูงแทนการแปลงสัญญาณแอนะล็อก (analog-to-digital converter : ADC) และการแปลงสัญญาณดิจิตอล (digital-to-analog converter : DAC) ที่มีอยู่บนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้การสุ่มตัวอย่าง (sampling) และการสร้างสัญญาณกลับ (reconstruct) มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

สำหรับในโครงงานนี้ได้เลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาตามข้อหนึ่งเนื่องจากอุปกรณ์สามารถหาได้ง่าย วงจรไม่ซับซ้อนจนเกินไป และสะดวกต่อการผลิตจำนวนมาก

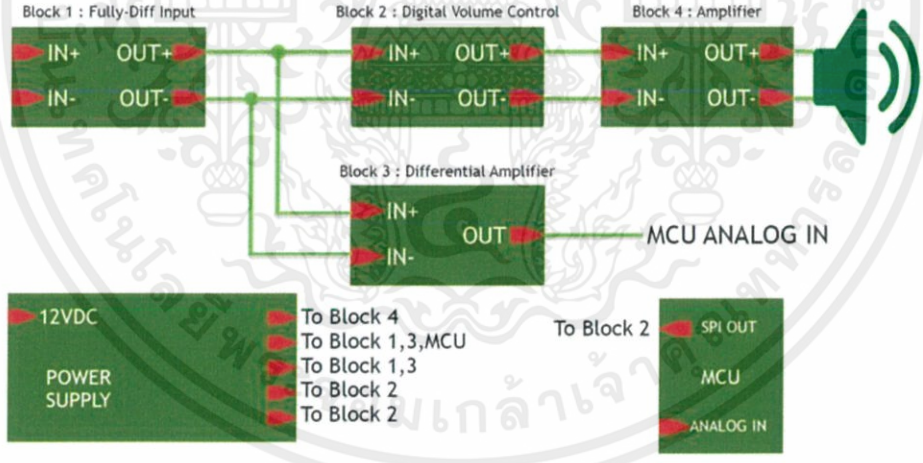
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ศึกษาทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

เริ่มจากเรียนรู้การทำงานในภาพรวมของระบบเดิมพร้อมหาข้อมูลทฤษฎีเพิ่มเติมของงานทั้ง 2 ส่วนเพื่อช่วยให้เกิดความเข้าใจโดยจะเน้นไปที่ส่วนทางเดินสัญญาณ และทำการเปรียบเทียบข้อมูลคุณลักษณะรวมทั้งความสามารถของวงจรรวมรุ่นต่างๆก่อน เพื่อหาตัวที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบวงจรในส่วนอื่น

3.4 ออกแบบวงจรต้นแบบและทดลองสร้าง

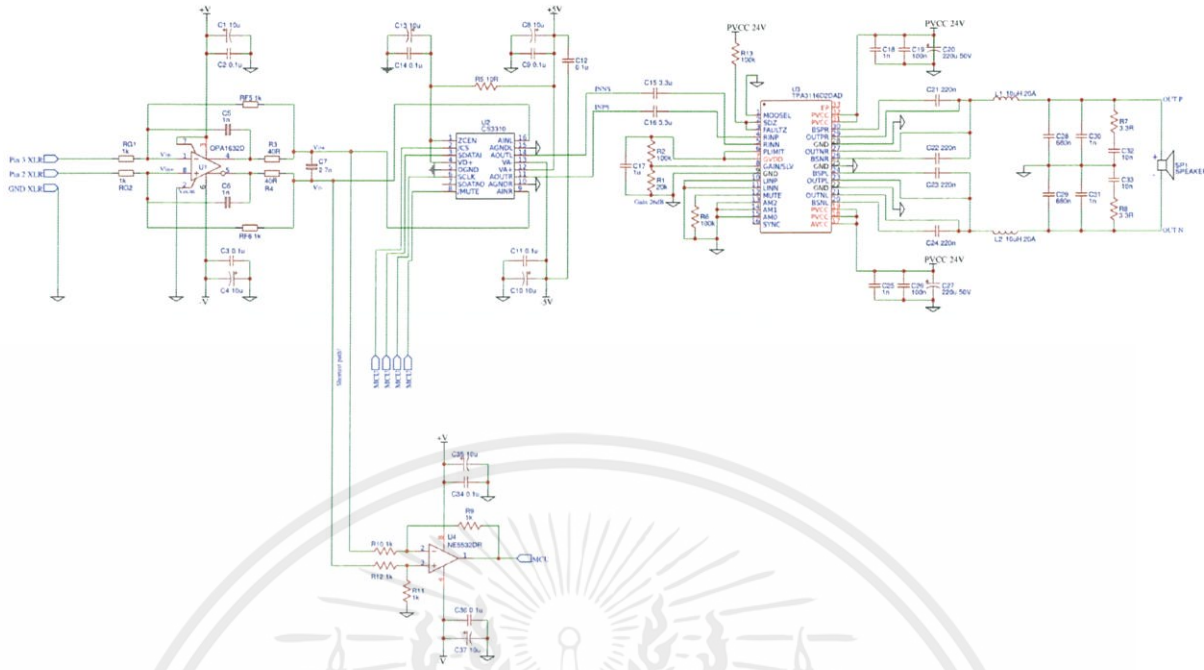
หลังจากที่ได้เลือกอุปกรณ์ที่จะใช้เป็นหลักในการออกแบบวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักโดยคำนึงถึงความคุ้มค่าและคุณสมบัติที่เหมาะสมแล้ว ต่อมาเป็นขั้นตอนการออกแบบวงจรจากแผนภาพบล็อคที่ได้ร่างไว้โดยมีองค์ประกอบดังภาพที่ 3.2 คือ fully-differential input รับสัญญาณเสียงบาลานซ์โมโนจากขั้วต่อชนิด XLR ซึ่งติดตั้งอยู่ทางด้านหลังของลำโพง Smart PA ถัดมาคือวงจร differential amplifier และควบคุมอัตราขยายด้วยวงจร digital volume control ก่อนจะขยายสัญญาณด้วยภาคขยายสัญญาณ (power amplifier) ออก PA loudspeaker โดยวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักต้องการไฟเลี้ยงกระแสตรง 12V และยังทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีกด้วย



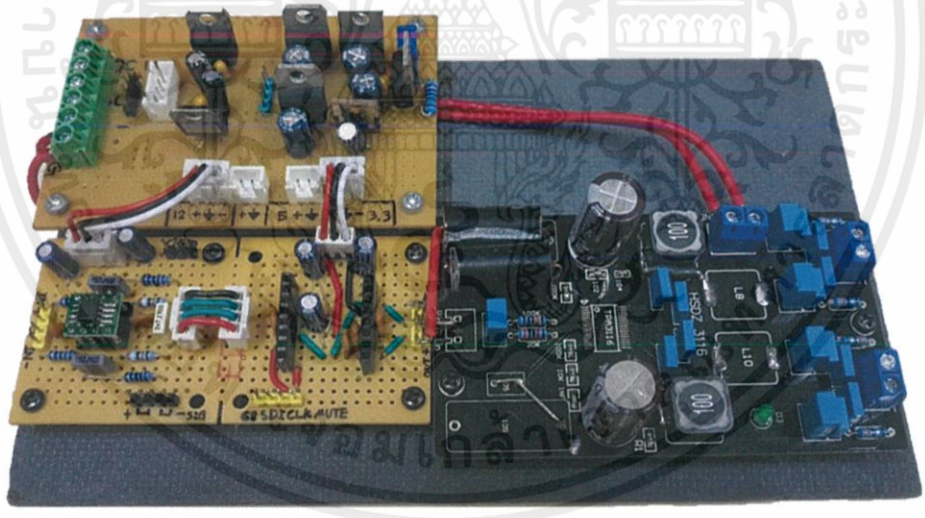
ภาพที่ 3.2 แผนภาพบล็อคของทางเดินสัญญาณหลัก

ในขั้นต่อมาคือการออกแบบแผนผังวงจร (schematic) ของวงจรส่วนทางเดินสัญญาณโดยเป็นการร่างเพื่อใช้อ้างอิงในการทดลองสร้างต้นแบบแรก จากนั้นจึงจัดหาอุปกรณ์ต่างๆตามที่ออกแบบไว้และสร้างต้นแบบตามแผนผังวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

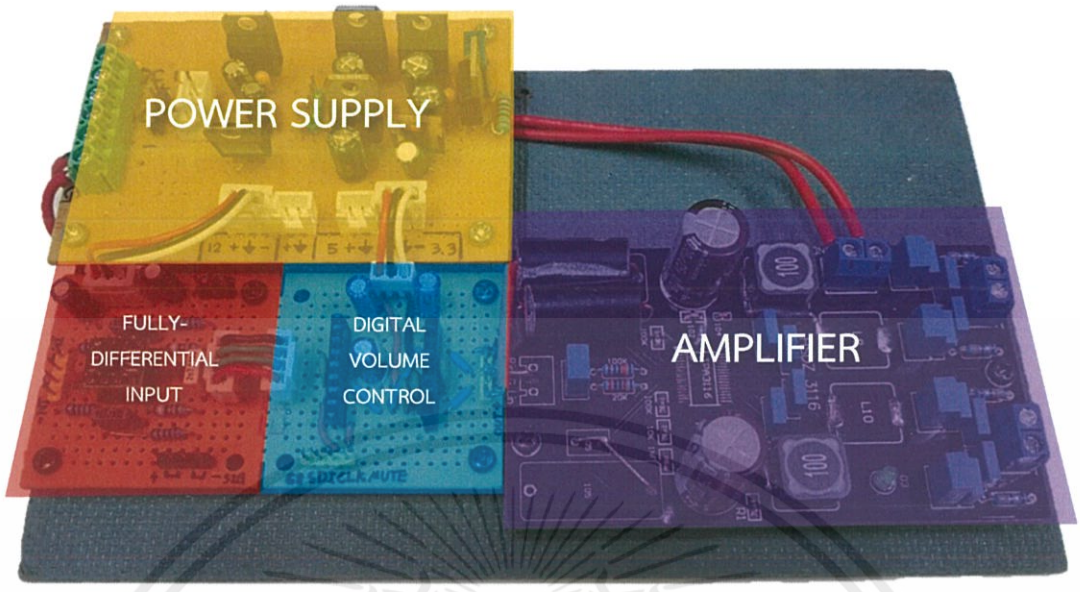


ภาพที่ 3.3 ผังวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักสำหรับทดลองสร้างต้นแบบแรก



ภาพที่ 3.4 ต้นแบบแรกของวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักสำหรับทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการจัดวางส่วนต่างๆของวงจรต้นแบบแรก

3.5 การทดสอบวงจรต้นแบบ

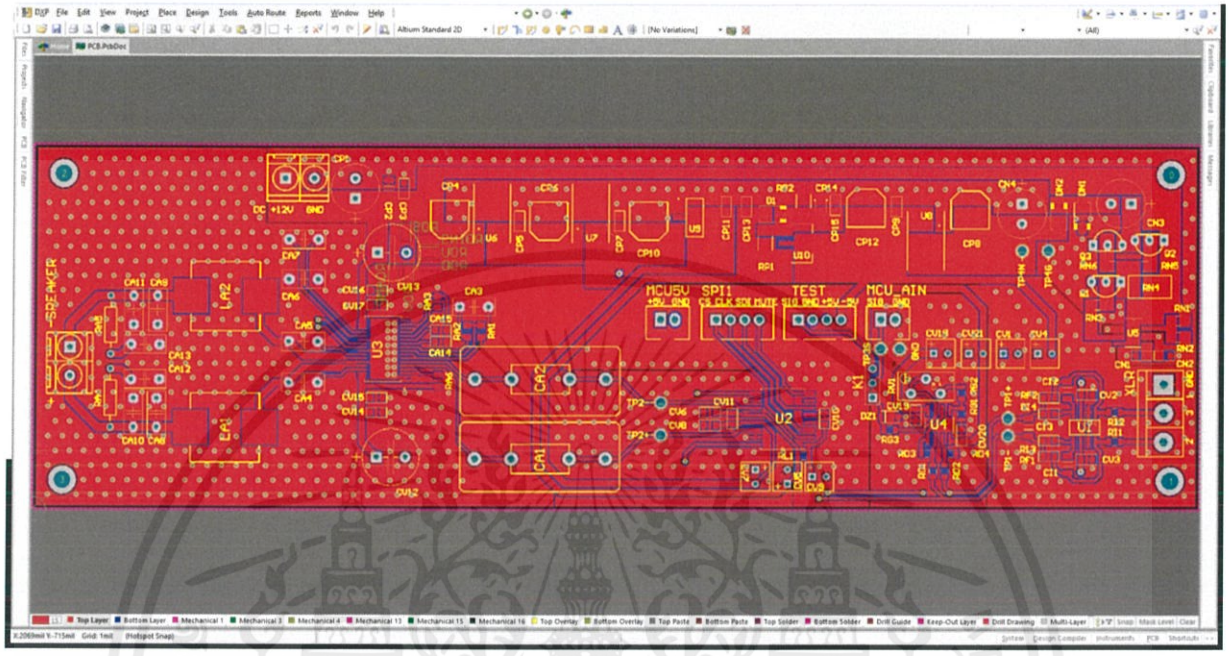
ทำการทดสอบวงจรโดยป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ (sine wave) ความถี่ต่างๆ เข้าทางวงจร fully-differential input โดยทดสอบทั้งสัญญาณอันบาลานซ์ (unbalanced signal) และสัญญาณบาลานซ์ (balanced signal) โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ 2 เครื่อง และควบคุมอัตราการขยายของวงจรควบคุมระดับสัญญาณ (digital volume control) โดยการสื่อสาร SPI จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งตั้งค่าให้เพิ่ม-ลดอัตราขยาย จากนั้นวัดสัญญาณจากภาคต่างๆของวงจรเพื่อทดสอบว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ และทำการทดสอบด้วยสัญญาณเสียงประกาศและเพลง โดยต่อลำโพงจริงที่ภาคขยายสัญญาณ

ผลทดสอบพบว่าวงจรสามารถใช้งานได้ทุกส่วนและสามารถปรับอัตราขยายสัญญาณได้ตามค่าที่ตั้งไว้ และเมื่อลองทดสอบกับเสียงโดยผ่านภาคขยายสัญญาณพบว่า เสียงได้ได้นั้นดังเกินไปจึงต้องแก้ไขออกแบบการเชื่อมต่อภาคขยายสัญญาณใหม่โดยดัดแปลงการเชื่อมต่อโหมดโมโนดังหัวข้อที่ 2.3.6.3 เพื่อลดกำลังขับให้เหมาะสมกับลำโพงที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ออกแบบต้นแบบผลิตภัณฑ์จริง

นำผังวงจรที่ได้ทดสอบข้างต้นมาออกแบบใหม่และปรับปรุงแก้ไขโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการใช้งานจริง โดยทำการออกแบบผังวงจรและพีซีบีบนโปรแกรม Altium Design 15



ภาพที่ 3.6 การออกแบบพีซีบีบนโปรแกรม Altium Design 15

3.7 การผลิตชิ้นงาน

หลังจากออกแบบพีซีบีเสร็จ ได้ทำการส่งไฟล์ Gerber ไปที่บริษัทรับทำแผ่นพีซีบีเพื่อสั่งผลิตแผ่นต้นแบบและประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆที่ได้ทำการเลือกมาอย่างเหมาะสม สำหรับคุณสมบัติของพีซีบีที่สั่งผลิตเป็นดังนี้

1. จำนวนเลเยอร์ - 2 layers แบบ plated through holes : PTH ซึ่งเกี่ยวข้องกับพีซีบีมากกว่า 1 ด้าน (เลเยอร์) ขึ้นไป โดยลายทองแดงด้านบนและล่างจะเชื่อมถึงกัน

ภาพที่ 3.7 ความแตกต่างระหว่างพีซีบีแบบ Plated กับ Non-Plated Through Holes

ที่มา : บริษัท อินโนเทค พีซีบี เอ็นเตอร์ไพรซ์ จำกัด, คำถามเกี่ยวกับพีซีบี. [Online]. Available: http://www.innotechpcb.com/index.php/2013-05-31-09-46-23/faqs-pcb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุพีซีบี - อีพ็อกซี่ (FR-4) เป็นแผ่นพลาสติกชนิดหนึ่ง มีสีขาวขุ่นดังภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8 พีซีบีชนิดอีพ็อกซี่ (FR-4)

ที่มา : บริษัท อินโนเทค พีซีบี เอ็นเตอร์ไพรซ์ จำกัด, คำถามเกี่ยวกับพีซีบี. [Online]. Available: http://www.innotechpcb.com/index.php/2013-05-31-09-46-23/faqs-pcb

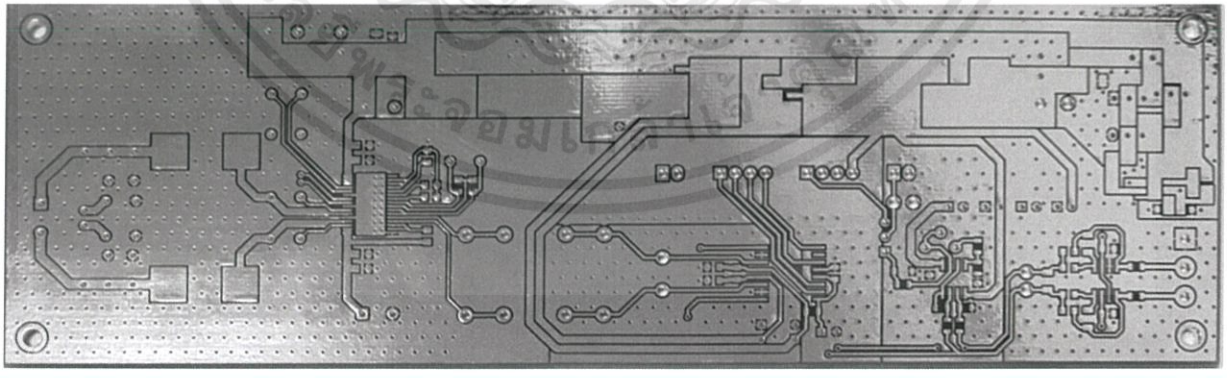
3. ความหนาของบอร์ด - 1.6 mm

4. ความหนาลายทองแดง - 1 oz

5. ขนาดพีซีบี - 2.5 x 8 sq in

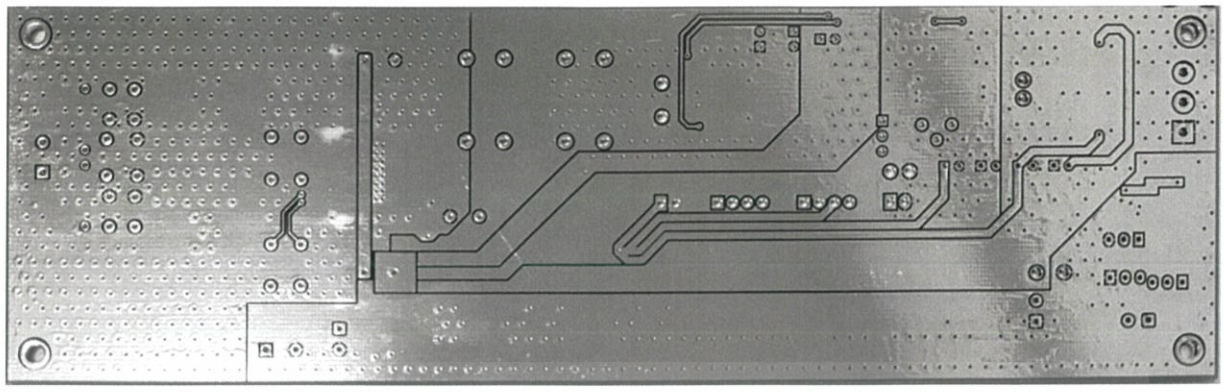
7. ไม่สกรีนสีเนื่องจากเป็นตัวต้นแบบและช่วยลดต้นทุนการผลิต

8. ลักษณะพื้นผิว (Surface Finishing) - Lead-free HAL



ภาพที่ 3.9 พีซีบีต้นแบบก่อนลงอุปกรณ์ (ด้านหน้า)

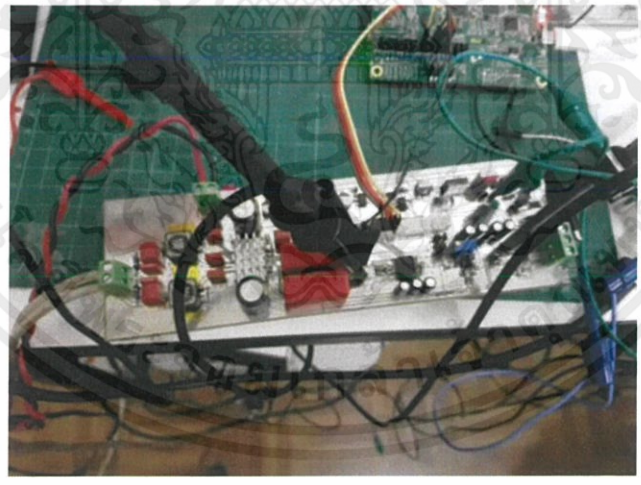
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 พีซีบีต้นแบบก่อนลงอุปกรณ์ (ด้านหลัง)

3.8 การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

การทำการทดสอบวงจรต้นแบบรุ่นสำเร็จใช้วิธีการเหมือนกับต้นแบบแรกโดยป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ (sine wave) ความถี่ต่างๆ เข้าทางอินพุตวงจร โดยทดสอบทั้งสัญญาณอันบาลานซ์ (unbalanced signal) และสัญญาณบาลานซ์ (balanced signal) จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ 2 เครื่อง และควบคุมอัตราการขยายของวงจรควบคุมระดับสัญญาณ (digital volume control) โดยการสื่อสาร SPI จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นวัดสัญญาณจากภาคต่างๆของวงจรเพื่อทดสอบว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่



ภาพที่ 3.11 การทดสอบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 แก้ไขข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบพบว่าวงจรส่วนควบคุมระดับสัญญาณ (digital volume control) ไม่ทำงาน ซึ่งเป็นผลมาจาก ตัว CS3310 จะเข้าสู่โหมด mute เมื่อไฟเลี้ยงที่จ่ายให้ลดลงต่ำกว่า ±3.5V ดังข้อความนี้

"the device will enter a hardware mute state if the power supply voltage drops below approximately ±3.5 volts. A power-up sequence will be initiated if the power supply voltage returns to greater than ±3.5 volts." [8]

สำหรับการแก้ไขวงจรเบื้องต้นทำได้โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

1. การแก้ไขไฟเลี้ยงด้านบวก 3.3VDC ที่ส่งมาจากวงจรภาคจ่ายไฟ (Power Supply) สามารถเพิ่มเป็นประมาณ 3.6V โดยใส่ไดโอดที่ขา adjust ของ LM1117 low-dropout linear regulator และเชื่อมลงกราวด์ทำหน้าที่เสมือนแหล่งจ่าย ทำให้ออปแอมป์ภายในของ LM1117 ปรับแรงดันที่เอาต์พุตตามแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) รวมกับแรงดันชดเชย (V_{offset})

2. การแก้ไขไฟเลี้ยงด้านลบ -3.3VDC ที่ส่งมาจากวงจรภาคจ่ายไฟ (Power Supply) สามารถเปลี่ยนค่าได้โดยเปลี่ยนค่า RP1 และ RP2 ตามสมการดังนี้

$$V_{out} = -1.25V\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

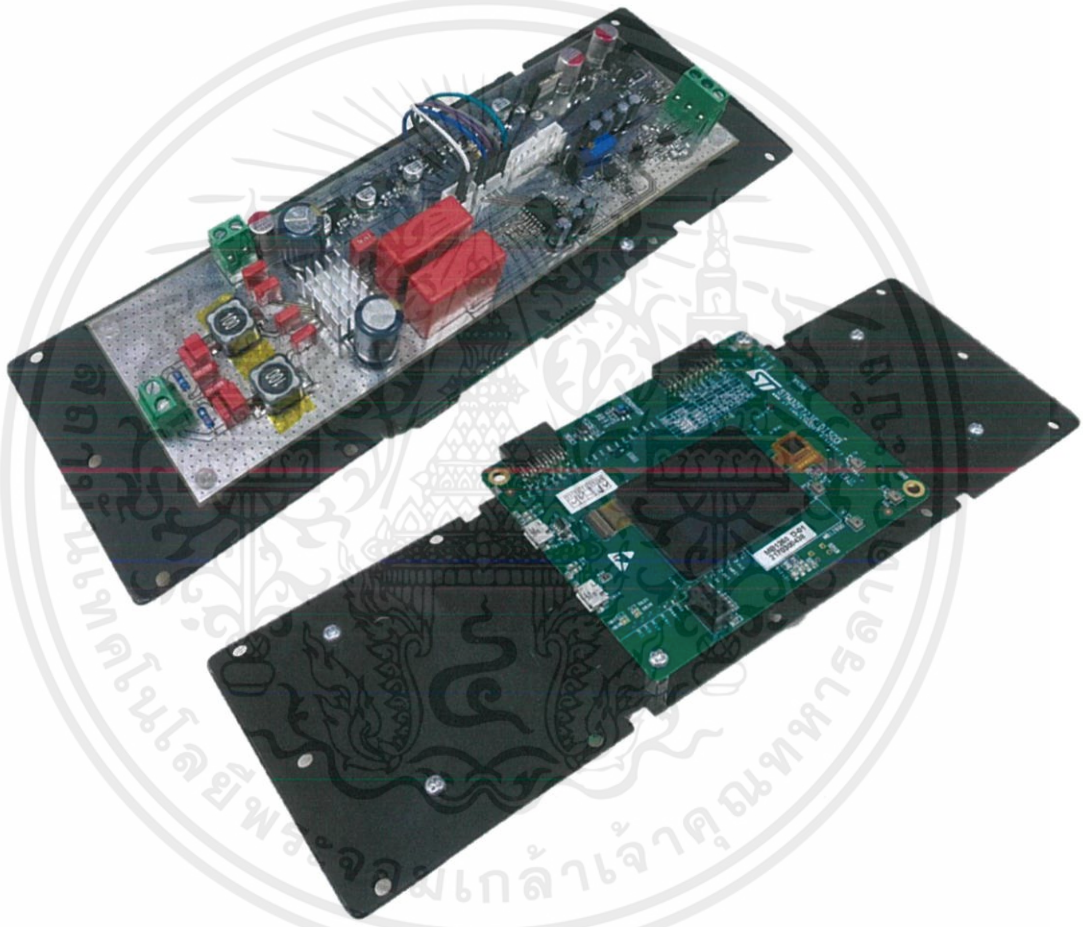
นอกจากนี้ส่วนวงจร differential amplifier ยังไม่สามารถทำงานได้เต็มรูปแบบเนื่องจากปัญหาการอ้างอิงระดับสัญญาณผิดพลาดซึ่งต้องพัฒนาแก้ไขเพิ่มเติมในต้นแบบรุ่นถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลโครงงานสหกิจศึกษา

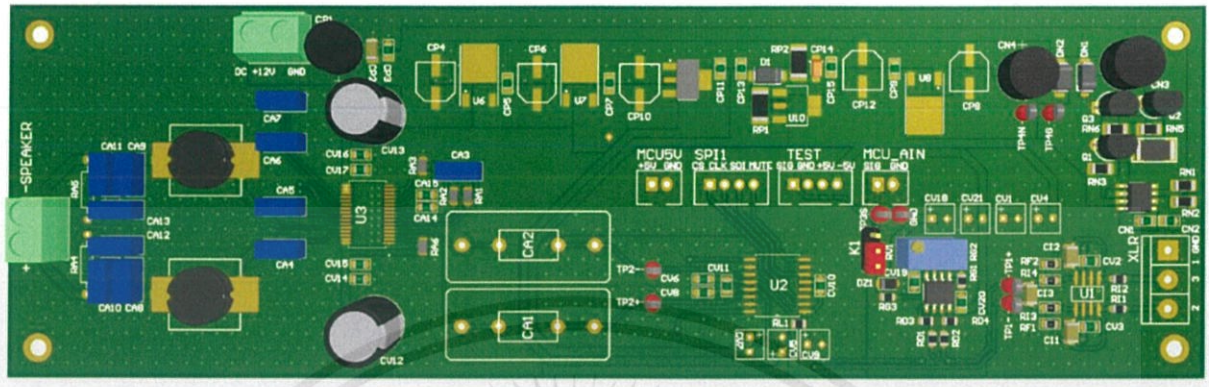
เมื่อสิ้นสุดโครงการสหกิจศึกษาผู้จัดทำได้ผลิตโมดูลวงจรต้นแบบของส่วนทางเดินสัญญาณตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ (แสดงวงจรจริงไว้ในภาพที่ 4.1) ซึ่งจะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาส่วนหนึ่งที่พบในระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะรุ่นต้นแบบได้



ภาพที่ 4.1 โมดูลวงจรต้นแบบของส่วนทางเดินสัญญาณประกอบสำเร็จพร้อมติดตั้งลงในลำโพง

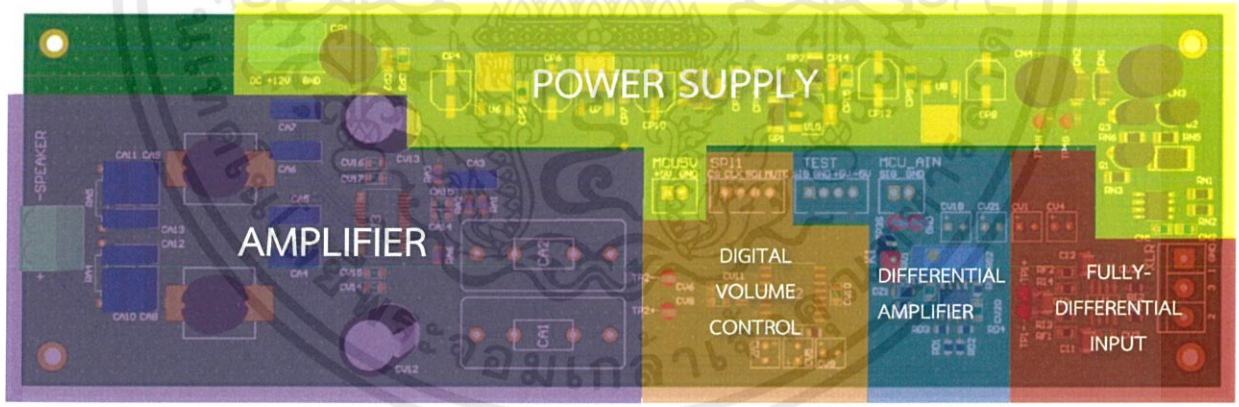
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 4.2 แสดงพีซีบีสำเร็จในรูปแบบสามมิติจากโปรแกรม Altium Design 15 พร้อมกับตำแหน่งอุปกรณ์เสมือนจริงพร้อมส่งผลิต



ภาพที่ 4.2 วงจรในรูปแบบสามมิติจากโปรแกรม Altium Design 15

วงจรต้นแบบสำเร็จประกอบด้วย 5 ส่วนหลักคือ fully differential input, differential amplifier, digital volume control, amplifier และ power supply แสดงตำแหน่งการจัดวางส่วนต่างๆในวงจรดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งการจัดวางส่วนต่างๆของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

สำหรับโครงงานที่นักศึกษาได้จัดทำขึ้นมานี้เน้นไปในส่วนทางเดินสัญญาณของระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะ (Smart Public Announcement System) ซึ่งพบแนวทางแก้ไขปัญหา positive feedback noise ใน control loop ที่เกิดขึ้นในระบบกระจายเสียงสาธารณะอัจฉริยะรุ่นต้นแบบ โดยใช้วิธีแยกส่วนทางเดินสัญญาณประกาศจาก far-end speaker ไปยัง power amplifier ออกจากส่วนประมวลผลสัญญาณ ซึ่งจะเป็นการตัดการส่งออกสัญญาณเสียงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้สัญญาณประกาศขาเข้า (input PA signal) ส่งไปออกยัง PA speaker โดยตรงผ่าน volume control IC โดยนักศึกษาได้ออกแบบและสร้างต้นแบบวงจรส่วนทางเดินสัญญาณหลักขึ้นมาโดยคำนึงถึงการใช้งานจริง เพื่อให้บริษัทสามารถนำไปพัฒนาร่วมกับส่วนอื่นๆของระบบได้ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำโครงงานชิ้นนี้ ผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจในตัวโครงงาน เพื่อเป็นประโยชน์แก่ตัวท่านเอง ดังนี้

1. ควรศึกษาความรู้พื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาก่อน

2. ควรศึกษาการใช้อุปกรณ์การวัดทางอิเล็กทรอนิกส์มาอย่างละเอียด เพื่อให้การวัดมีประสิทธิภาพสูงสุด และเพื่อความปลอดภัยต่อทั้งอุปกรณ์และตัวบุคคลเอง

3. ควรศึกษาหลักการออกแบบบอร์ดพีซีบีมาล่วงหน้าเพื่อให้สะดวกแก่การปฏิบัติงาน

4. ควรออกแบบการจัดวางส่วนต่างๆของวงจรบนพีซีบีอย่างคุ้มค่าโดยให้เหลือพื้นที่สิ้นเปลืองน้อยที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการออกแบบการติดตั้งและช่วยลดต้นทุนในการผลิตรวมถึงเพิ่มพื้นที่ว่างในตัวอุปกรณ์เผื่อไว้สำหรับการพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ในอนาคต

5. วงจรต้นแบบในโครงงานชิ้นนี้ยังต้องพัฒนาแก้ไขเป็นต้นแบบรุ่นถัดไปเพื่อให้ระบบทั้งหมดทำงานได้สมบูรณ์แบบดังที่ผู้จัดทำตั้งเป้าหมายไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, PROJECT REPORT 1 - PROBLEM IN ORDINARY PA SYSTEM

[2] นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, PROJECT REPORT 2 - SMART PA SYSTEM

[3] นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, PROJECT REPORT 3 - NOISE & SPEECH CHARACTERISTIC

[4] นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2560, PROJECT REPORT 4 - DIGITAL SIGNAL PROCESSING (DSP) UNIT

[5] นายนัทธพงศ์ วัฒนศิริ, 2561, รายงานสรุปผลการประชุมโปรเจค Smart PA ครั้งที่ 1 วันพฤหัสบดีที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2561

[6] Texas Instruments, "LM1971 - Texas Instruments", SNAS104B –FEBRUARY 1995–REVISED APRIL 2013. [Online]. Available: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1971.pdf

[7] Texas Instruments, "Stereo Audio Volume Control datasheet (Rev. D) - Texas Instruments", SBOS218D –DECEMBER 2001–REVISED MAY 2016. [Online]. Available: www.ti.com/lit/ds/symlink/pga2311.pdf

[8] Cirrus Logic, "CS3310 - Cirrus Logic", DS82F1. [Online]. Available: https://statics.cirrus.com/pubs/proDatasheet/CS3310_F1.pdf

[9] Chaiyaporn Silawatchananai, "การใช้งานพอร์ตสื่อสาร SPI",2557. [Online]. Available: http://aimagin.com/blog/spi/?lang=th

[10] Texas Instruments, "15W,30W,50W Filter-Free Class-D Stereo Amplifier Family with AM Avoidance", SLOS708B –APRIL 2012–REVISED MAY 2012. [Online]. Available: http://html.alldatasheet.com/html-pdf/457335/TI1/TPA3130D2DAP/59/1/TPA3130D2DAP.html

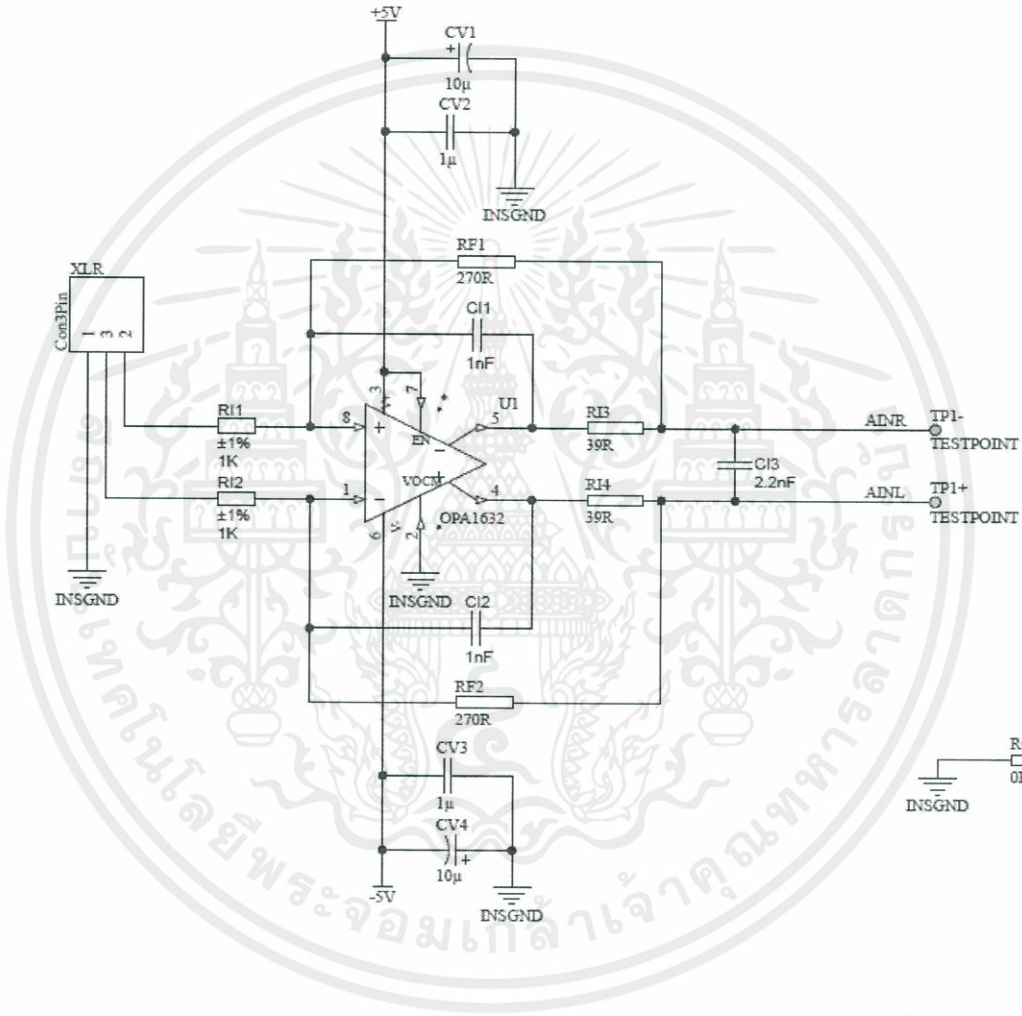
[11] Texas Instruments, "OPA1632 High-Performance, Fully-Differential Audio Operational Amplifier", SBOS286C –DECEMBER 2003–REVISED OCTOBER 2015. [Online]. Available: www.ti.com/lit/ds/sbos286c/sbos286c.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

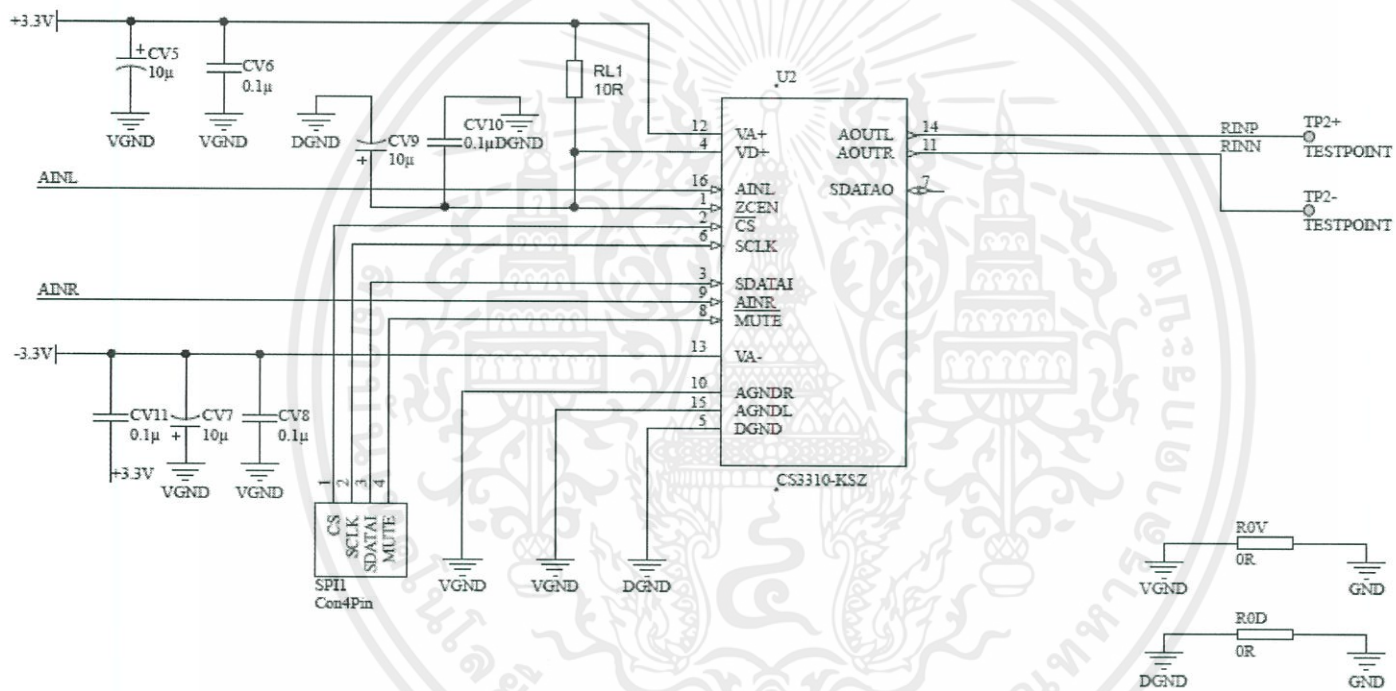
ภาคผนวก ก.

ผังวงจร (schematic) ของส่วนทางเดินสัญญาณหลัก

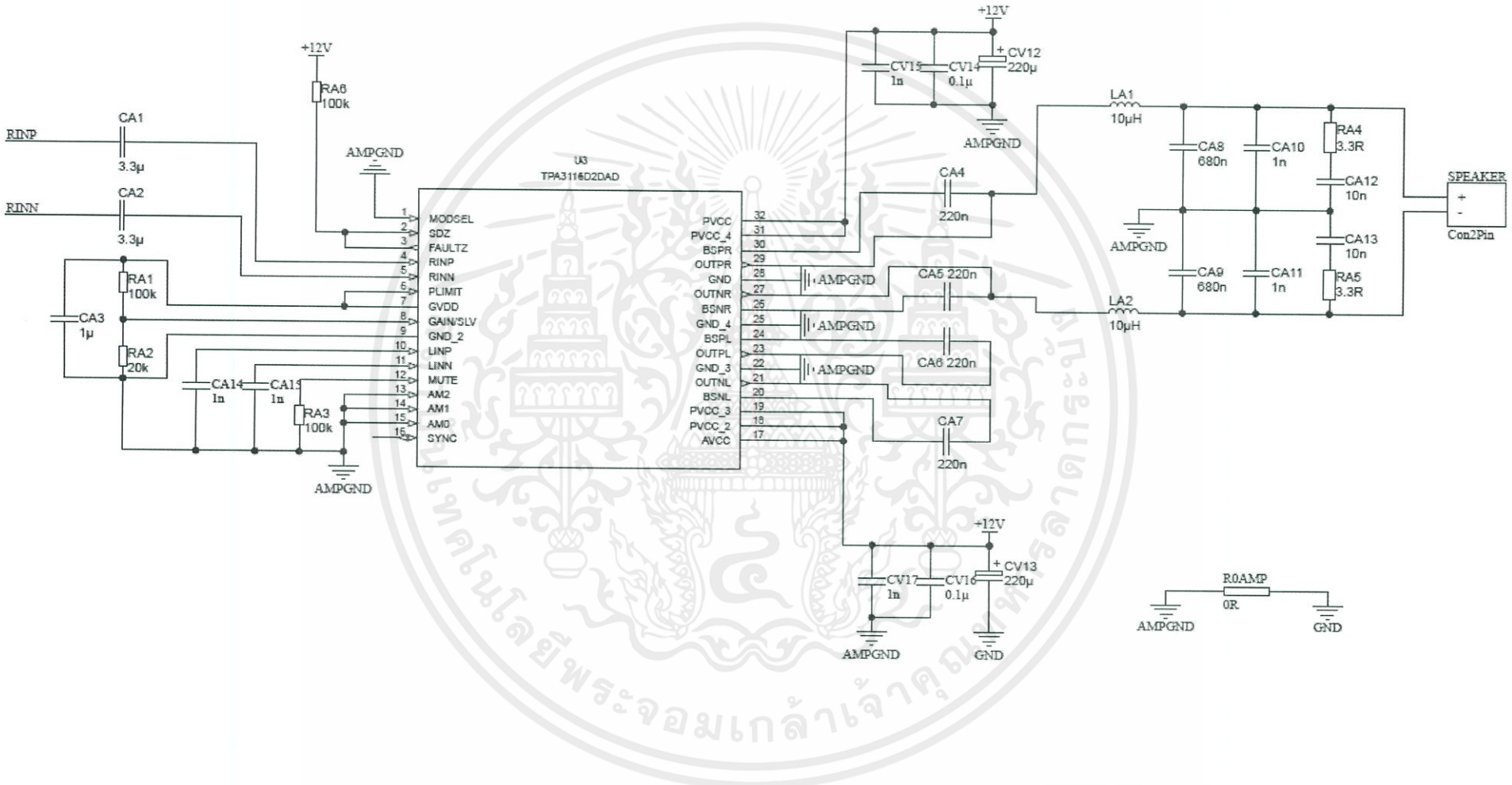
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



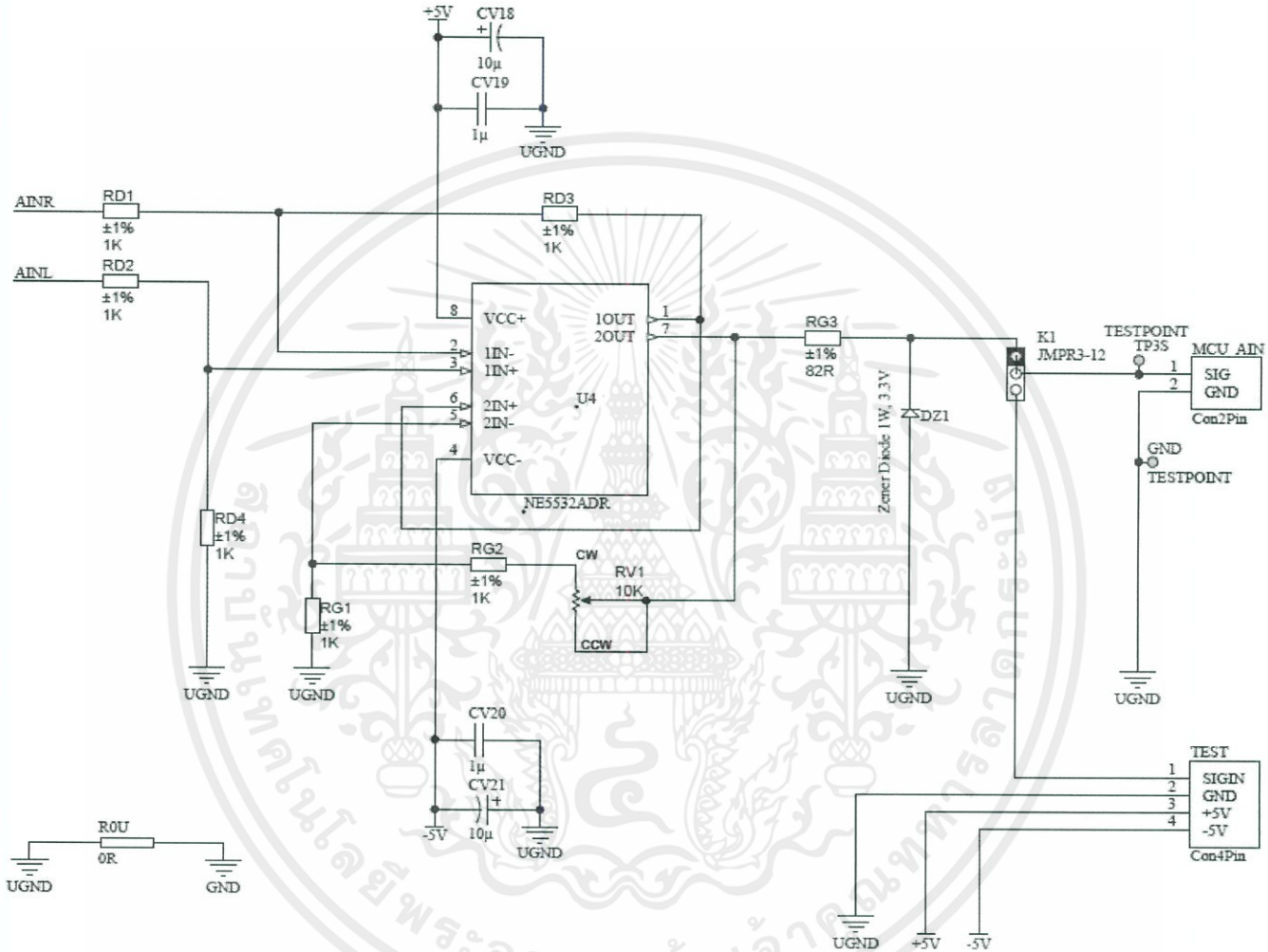
Title: OPA1632.SchDoc		
Date: 30-Jan-19	Time: 1:33:33 AM	
Sheet: 1 of 5	Drawn By: Puttipong Tokanitchat & Kuldhida Thasnasuwam	
Size: A4	File: C:\Users\ASUS\Desktop\Smart_PA - Altium\OPA1632.SchDoc	



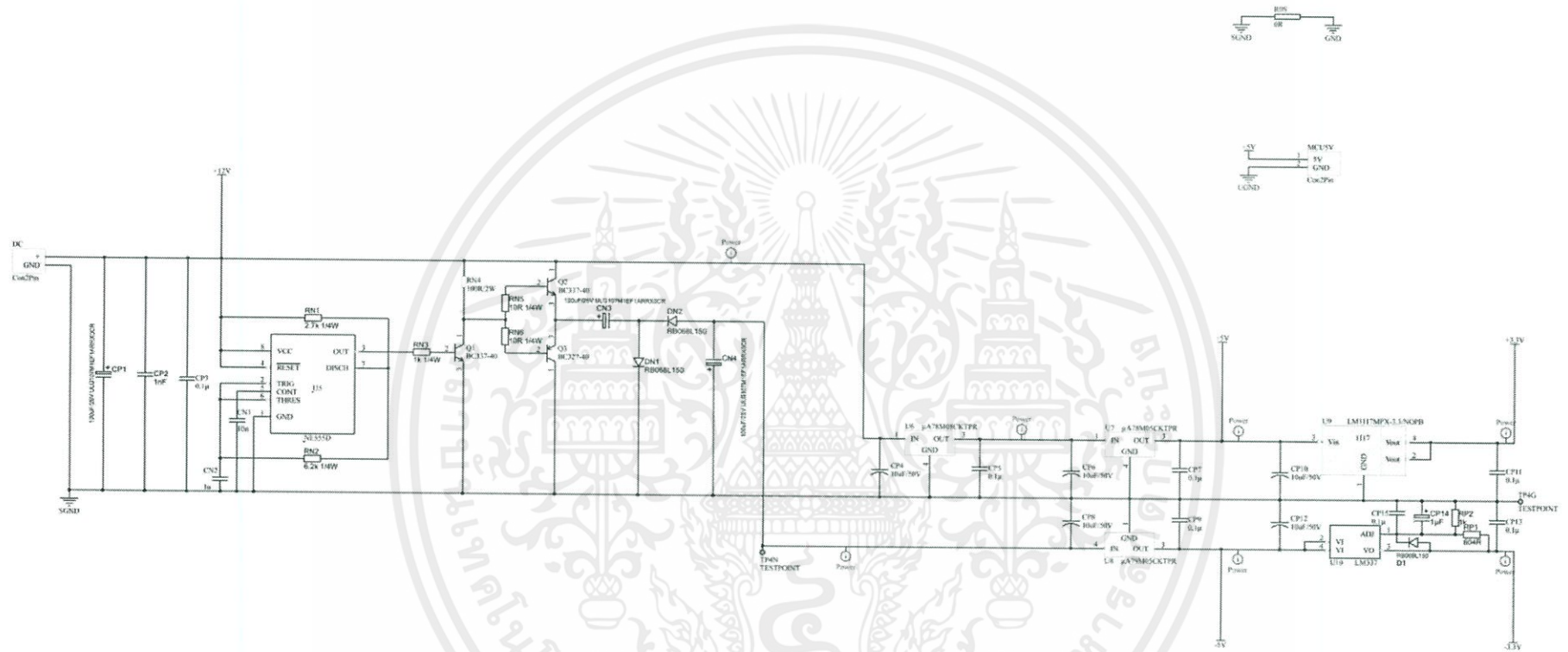
Title: CS3310.SchDoc	
Date: 30-Jan-19	Time: 1:36:51 AM
Sheet: 2 of 5	Drawn By: Puttipong Tokanitchat & Kuldhida Thasnasuwam
Size: A4	File: C:\Users\ASUS\Desktop\Smart_PA - Altium\CS3310.SchDoc



Title: TPA3116D2.SchDoc		
Date: 30-Jan-19	Time: 1:37:26 AM	
Sheet: 4 of 5	Drawn By: Puttipong Tokanitchat & Kuldhida Thasnasuwam	
Size: A4	File: C:\Users\ASUS\Desktop\Smart_PA - Altium\TPA3116D2.SchDoc	



Title: NE5532.SchDoc		
Date: 30-Jan-19	Time: 2:04:54 AM	
Sheet: 3 of 5	Drawn By: Puttipong Tokanitchat & Kuldhida Thasnasuwarn	
Size: A4	File: C:\Users\ASUS\Desktop\Smart_PA - Altium\NE5532.SchDoc	



Title:	PowerSupply.SchDoc
Date:	30-Jan-19
Time:	2:05:44 AM
Sheet:	5 of 5
Drawn By:	Putipong Yokamlohat & Kulshida Thanhaowarn
Size:	A2
File:	C:\Users\ASUS\Desktop\Smart_PA - Kitsum\PowerSupply.SchDoc

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข.

รายการอุปกรณ์ (bill of materials) ของส่วนทางเดินสัญญาณหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Component list

Bill of Materials for Smart Public Announcement System

Project: Smart_PA.PrjPcb
Variant: None

Creation Date: 26/11/2018 14:56:40
Print Date: 03/12/2018 01:45:05

Comment	Package	Footprint	Designator	Description	Manufacturer	Manufacturer P/N	Supplier	Supplier P/N	Quantity
1nF	RADIAL	CAPM50P720300X650_VERT	CA10, CA11	Film and Foil Capacitor, FKS2, 100VDC, ±5%, 5mm	WIMA	FKS2D011001A00JSSD	Natthapong Sales and Service Company Limited	090296532210	2
1nF	0805	0805C-TBD	CA14, CA15, CN2, CV15, CV17	Ceramic Chip Cap, X7R, 50Vdc ±10%	KEMET	C0805C102K5RACTU	Electronics Source	0306-0084-3	5
1nF	1206	CAPC3216X180N	CI1, CI2, CP2	Chip Monolithic Ceramic Cap, 630VDC, ±5% C0G(NPO)	MURATA	GRM31B5C2J102JW01L	Electronics Source	0160-0374-1	3
0.1uF	0805	0805C-TBD	CP3, CP5, CP7, CP9, CP11, CP13, CP15, CV6, CV8, CV10, CV11, CV14, CV16	Multilayer Ceramic Chip Cap, 50Vdc ±10%, X7R	SAMSUNG	CL21B104KBCNNNC	Electronics Source	0082-0192-3	13
1uF	RADIAL	CAPM50P720300X650_VERT	CA3	Metallized Film Capacitor, MKS2, 63VDC, ±5%, 5mm	WIMA	MKS2C041001F00JSSD	Natthapong Sales and Service Company Limited	090296202510	1
1uF	1206	CAPMP3216X180N	CP14	Tantalum Chip Capacitors 1uF/16Vdc, ±20%	ROHM	TCA1C105M8R	Electronics Source	0176-0141-1	1
1uF	0805	0805C-TBD	CV2, CV3, CV19, CV20	Ceramic Chip Cap 1uF/16Vdc, ±10%, X7R, Temperature Stable	AVX	0805YC105KAT2A-CT	Electronics Source	0092-0318-6	4
10uF	SMD	CAP_Elec_SMD_6.3 mm	CP4, CP6, CP8, CP10, CP12	E-Cap WT Series, -55°C to +105°C, ±20%,1000hrs., Chip Type, 50Volt, 6.3x5.4mm DxH	NICHICON	UWT1H100MCL1GB	Electronics Source	0289-0198-0	5
10uF	RADIAL	ETPW-2E	CV1, CV4, CV5, CV7, CV9, CV18, CV21	E-Cap WH Series, 50Volt, -40°C to 105°C, ±20%,2000hrs., Miniature Sized	AISHI	WH1HM100D11OT	Electronics Source	0825-0042-5	7
220uF	RADIAL	CAPE5.0mm	CV12, CV13	E-Cap FC Series, 63Volt, -55°C to +105°C, ±20%, 3000hrs., Low Impedance	PANASONIC	EEU-FC1J221S	Electronics Source	0102-0154-1	2
2.2nF	1206	CAPC3216X180N	CI3	Chip Monolithic Ceramic Cap 2.2nF/630VDC, ±10%, X7R	MURATA	GRM31AR72J222KW01D	Electronics Source	0160-0350-7	1
10nF	RADIAL	CAPM50P720300X650_VERT	CA12, CA13	Metallized Film Capacitor, MKS2, 100VDC, ±5%, 5mm	WIMA	MKS2D021001A00JSSD	Natthapong Sales and Service Company Limited	090296203310	2
10nF	0805	0805C-TBD	CN1	Multilayer Ceramic Chip Cap 50Vdc, ±10%	SAMSUNG	CL21B103KBCNNNC	Electronics Source	0082-0202-1	1
220nF	RADIAL	CAPM50P720300X650_VERT	CA4, CA5, CA6, CA7	Metallized Film Capacitor, MKS2, 63VDC, ±5%, 5mm	WIMA	MKS2C032201B00JSSD	Natthapong Sales and Service Company Limited	090296202422	4
680nF	RADIAL	CAPM50P720300X650_VERT	CA8, CA9	Metallized Film Capacitor, MKS2, 63VDC, ±5%, 5mm	WIMA	MKS2C036801E00JSSD	Natthapong Sales and Service Company Limited	09029620268	2

3.3uF	RADIAL	CAP-Pinch900mil	CA1, CA2	Metallized Polyester (PET) Capacitor, MKS4, 250VDC, ±10%, 22.5mm	WIMA	MKS4F043305I00KSSD	Natthapong Sales and Service Company Limited	090296214533	2
100uF	RADIAL	CAPE3.5mm	CN3, CN4, CP1	Conductive Polymer Capacitors 25Vdc, ±20%, High Ripple Current, Super Low ESR	SAMXON	ULG107M1EF1ARRX0CR	Electronics Source	0566-0272-9	3
150V/2A	DO-214AC (SMA)	DO-214AC	D1, DN1, DN2	Schottky Barrier Diodes, Small Power Mold Type (PMDS)	ROHM	RB068L150TE25	Electronics Source	0176-0727-1	3
Zener Diode 1W, 3.3V	SOD123FL	SOD123FL	DZ1	Zener Diode 1W, 3.3V(Nom), Iz = 40mA, Small Power Mold Type (PMDU)	ROHM	KDZVTR3.3B	Electronics Source	0176-0542-4	1
Con2Pin	-	Terminal2Pin Pinch5mm	DC, SPEAKER	PCB Terminal Block 2Pins, Pitch 5.0mm,300V/10A, 24-12AWG, Green Color	DEGSON	DG128-02P-14-00A (H)	Electronics Source	0330-0036-1	2
Con3Pin	-	Terminal3Pin pinch5mm	XLR	PCB Terminal Block 3Pins, Pitch 5.0mm,300V/10A, 24-12AWG, Green Color	DEGSON	DG128-03P-14-00A(H)	Electronics Source	0330-0037-4	1
Con2Pin	-	Con2Pin Pinch2.5mm	MCU5V, MCU_AIN	WAFER Connector 2 Pins, Pitch 2.50mm, Straight Type, Single Row, Top Entry Type	JST	B2B-XH-A	Electronics Source	0967-0001-1	2
Con4Pin	-	Con4Pin Pinch2.5mm	SPI1, TEST	WAFER Connector 4 Pins, Pitch 2.50mm, Straight Type, Single Row, Top Entry type	GTK	100104ST/RH	Electronics Source	0007-0421-0	2
TESTPOINT	-	TESTPOINT	GND, TP1+, TP1-, TP2+, TP2-, TP3S, TP4G, TP4N	Test point Scope Grabber	-	-	-	-	8
JMPR3-12	-	JMPR3-CLOSED-12	K1	Pin Header Connector 3 Pins, Pitch 2.54mm, Single Row, Straight Type	GTK	PHSS03G10/RH	Electronics Source	0007-0497-6	1
JMPR3-12	-	JMPR3-CLOSED-12	K1	Mini Jumper Pitch 2.54mm, Gold Flash Closed Cover	GTK	MJ2MH/RH	Electronics Source	0007-0343-9	1
0R	0805	0805R-GENERIC	R0AMP, R0D, R0INS, R0S, R0U, R0V	Thick Film Chip Resistors 1/8W,0.0Ω ±5%, Jumper type	ROHM	MCR10ERTJ000	Electronics Source	0176-0892-9	6
10R	0805	RESC2012X70N	RL1	Thick Film Chip Resistors 1/8W, 10Ω, ±1%	ROHM	0805W8F100JT5E	Electronics Source	0150-1759-7	1
10R	1206	RESC3216X70N	RN5, RN6	Thick Film Chip Resistors	-	-	EPS	-	2
39R	0805	0805R-39	RI3, RI4	Thick Film Chip Resistors 1/10W,39Ω ±5%	RMC	-	Natthapong Sales and Service Company Limited	065352002390	2
82R	0805	RESC2012X70N	RG3	Anti-Surge Thick Film Chip Resistors 1/2W,82Ω, ±5%	PANASONIC	ERJ-P06J820V	Electronics Source	0102-0251-5	1
270R	0805	0805R-270	RF1, RF2	Thick Film Chip Resistors 1/10W,270Ω, 1%	-	-	Elec2You	-	2
100R	2512	CR_2512	RN4	High Power Chip Resistors 100Ω,1W	-	-	EPS	-	1
604R	1210	RESC5025X70N	RP1	Thick Film Chip Resistors 1/2W,604Ω, ±1%	YAGEO	RC1210FR-07604RL	Electronics Source	0151-0386-1	1
1k	0805	RESC2012X70N	RD1, RD2, RD3, RD4, RG1, RG2, RI1, RI2	Thick Film Chip Resistors 1/8W, 1kΩ, ±5%	ROYALOHM	0805W8J0102T5E	Electronics Source	0150-1736-0	8
1k	1206	RESC3216X70N	RN3	Thick Film Chip Resistors	-	-	EPS	-	1
1k	1210	RESC5025X70N	RP2	Thick Film Chip Resistors 1/2W, 1KΩ, ± 5%	ROYALOHM	1210U2J0102T5E	Electronics Source	0150-3822-1	1

2.7k	1206	RESC3216X70N	RN1	Thick Film Chip Resistors 1/4W,2.7KΩ, ±5%	ROHM	MCR18EZHJ272	Electronics Source	0176-1103-8	1
6.2k	1206	RESC3216X70N	RN2	Thick Film Chip Resistor 1/4W,6.2KΩ, ±5%	ROYALOHM	1206W4J0622T5E	Electronics Source	0150-3235-4	1
20k	0805	0805	RA2	Thick Film Chip Resistors 1/8W,20KΩ, ±1%	ROHM	MCR10ERTF2002	Electronics Source	0176-0560-6	1
100k	0805	0805	RA1, RA3, RA6	Thick Film Chip Resistors	-	-	EPS	-	3
3.3R	AXIAL-0.4	AXIAL-0.4	RA4, RA5	Resistor 1/4W,3.3Ω, ±1%	ROYALOHM	-	Natthapong Sales and Service Company Limited	068355141330	2
25 Turn	Through Hole	TrimPot_THT_2.54mm pitch	RV1	Trimpot 25 Turns,10kΩ, ±10%, 0.5W	BOURNS	3296W-1-103LF	Electronics Source	0141-0245-9	1
10uH	SMD	L_SMD_12x12x10	LA1, LA2	Shielded Wire-wound SMD Inductor with a Ferrite Core, 12x12x8mm	-	-	-	-	2
BC337-40	TO-92	TO-92	Q1, Q2	Transistor NPN 45V/0.8A	FAIRCHILD/ON SEMI	BC33740TA	Electronics Source	0123-0333-2	2
BC327-40	TO-92	TO-92	Q3	Transistor PNP 45V/0.8A	FAIRCHILD/ON SEMI	BC32740TA	Electronics Source	0123-0332-9	1
OPA1632D	SOIC-8	SO08	U1	High-Performance, Fully-Differential Audio Operational Amplifier, 180MHz	Texas Instruments	OPA1632D	RS Components	619-9875	1
CS3310-KSZ	SOIC-16	SOIC127P1032X265 -16N	U2	Stereo Digital Volume Control	Cirrus Logic	CS3310-KSZ	-	-	1
TPA3116D2DAD	DAD (32-pin HTSSOP Pad-up)	DAD32	U3	2-Channel Class-D Amplifier	Texas Instruments	TPA3116D2DAD	RS Components	812-4224	1
NE5532ADR	SOIC-8	SOIC127P600X175-8N	U4	Dual Low Noise Op-Amp, 10MHz	Texas Instruments	NE5532ADR	RS Components	660-9688 (In a Pack of 10)	1
NE555D	SOIC-8	SOIC127P600X175-8N	U5	Precision Timers	Texas Instruments	NE555DR	Electronics Source	0086-0072-0	1
MC7808CDTT5G	DPAK (TO-252)	KTP02	U6	Linear Voltage Regulator, 2.2A, 8 V	ON Semiconductor	MC7808CDTT5G	RS Components	785-2375 (On a Tape of 5)	1
BA17805FP-E2	DPAK (TO-252)	KTP02	U7	IC Linear Voltage Regulator 5V/1A, 3-Terminal, Input Voltage 35V Max., 78-Series	ROHM	BA17805FP-E2	Electronics Source	0176-0506-1	1
MC79M05BDTG	DPAK (TO-252)	KTP02	U8	Negative Voltage Regulator, 500mA, -5 V	ON Semiconductor	MC79M05BDTG	RS Components	785-7143 (In a Pack of 5)	1
LM1117MPX-3.3/NOPB	SOT-223-3	SOT-223	U9	Voltage Regulator LDO 3.3V/800mA	Texas Instruments	LM1117MPX-3.3/NOPB	Electronics Source	0078-0169-8	1
LM337IMP/NOPB	SOT-223-3	SOT230P700X180-4N	U10	Negative Voltage Regulator, 1.5A, Adjustable, -1.2 to -37 V	Texas Instruments	LM337IMP/NOPB	RS Components	761-4612 (In a Pack of 5)	1
									129

Approved	Notes	