# รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

## คอมเพรสเซอร์ประเภทการมอดูเลตความกว้างพัลส์
## PWM Compressor

นายอิทธิพร นวอิทธิพร

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

# คอมเพรสเซอร์ประเภทการมอดูเลตความกว้างพัลส์

# PWM Compressor

นายอิทธิพร นวอิทธิพร

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา:** คอมเพรสเซอร์ประเภทการมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์

**ชื่อ-สกุล นักศึกษา:** นายอิทธิพร นวอิทธิพร

**คณะ:** วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา:** วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ หลักสูตรวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

**ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ:** นายโสพส ปุณกะบุตร

**ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน:** นายอรรถพล หงษ์ปรีชา

**ชื่อสถานประกอบการ:** บริษัท คริสปี้ซาวด์ จำกัด

## บทคัดย่อ

Dynamic Range Compression ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมดนตรี เป็นกระบวนการควบคุม dynamic range ของสัญญาณเสียงให้อยู่ในช่วงที่แคบลง มีการนำเทคโนโลยีต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณของ dynamic range compressor เช่น OPTO, FETs and VCAs PWM เป็นอีกเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบ dynamic range compressor ซึ่งมีเอกลักษณ์ที่เฉพาะตัว PWM dynamic range compressor ลดพลังงานเฉลี่ยของสัญญาณเสียงด้วยการควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ โครงงานสหกิจศึกษานี้เป็นการทดลองเตรียมการออกแบบ PWM compressor โปรแกรมจำลองวงจรแบบ real time ชื่อ iCircuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Co-operative Title:** PWM Compressor

**Student Intern Name:** Mister Itthiporn Navaitthiporn

**Faculty:** Engineering **Department:** Music Engineering and multimedia

**Advisor Name:** Mister Solos Punkebutra

**Mentor Name:** Mister Artapon Hongpreecha

**Company :** Crispy Sound Co.,Ltd.

## ABSTRACT

Dynamic range compression is widely used in music production. It is the process of mapping the dynamic range of the audio signal in to a smaller range. There was many technology implemented to made the attenuator of the dynamic range compressor such as OPTO, FETs and VCAs. PWM is an alternative design of the dynamic range compression, which has its own characteristics. PWM dynamic range compressor reduce the average energy of the audio signal by controlling its duty cycles. In this project, we are implementing the PWM compressor in real time circuit simulation software, iCircuit.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท คริสปี้ซาวด์ จำกัด ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์การทำงานที่มีคุณค่ามากมาย สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษาฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและนับสนุนของหลายฝ่าย

ขอขอบคุณ คุณอรรถพล หงษ์ปรีชา กรรมการผู้จัดการ บริษัท คริสปี้ซาวด์ จำกัด ที่อนุมัติให้ข้าพเจ้าเข้าปฏิบัติงานในโครงงานสหกิจศึกษาที่บริษัท และให้คำปรึกษาตลอดการปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณบุคลากรท่านอื่นๆภายในบริษัทที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือตลอดการปฏิบัติงาน และจัดทำรายงาน

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์โสพส ปุณกะบุตร ที่ให้คำปรึกษา แนะนำตลอดการปฏิบัติงานและให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินงาน

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้างทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และเป็นที่ปรึกษา ในการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแล และให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตการทำงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

อิทธิพร นวอิทธิพร
ผู้จัดทำ
1 ธันวาคม 2561



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


เนื้อหา หน้า

บทที่ 1 ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 1

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน ..... 1

1.4 วิธีการดำเนินงาน ..... 1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 1

บทที่ 2 ..... 2

2.1 คอมเพรสเซอร์คืออะไร ..... 2

2.2 ประเภทของคอมเพรสเอร์ ..... 2

2.3 พารามิเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ ..... 2

2.4 การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) ..... 4

2.4 คอมเพรสเซอร์โทโพโลยี (compressor topology) ..... 4

2.5 คอมเพรสเซอร์ดีเทคเตอร์ (Detector) ..... 6

2.6 วงจร envelope follower ..... 6

บทที่ 3 ..... 7

3.1 ศึกษาหลักการและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคอมเพรสเซอร์ ..... 7

3.2 ศึกษาวิธีการออกแบบวงจรคอมเพรสเซอร์ ..... 7

3.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ประกอบการออกแบบวงจร ..... 7

3.4 ออกแบบวงจร ..... 8

3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ ..... 11

บทที่ 4 ..... 13

4.1 วงจรคอมเพรสเซอร์ที่ออกแบบ ..... 13




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตรวจสอบความถูกต้องของวงจร .....14
4.3 ผลตอบสนองของคอมเพรสเซอร์ต่อระดับสัญญาณต่างๆ .....15
บทที่ 5.....17
5.1 เปรียบเทียบคอมเพรสเซอร์ที่ออกแบบกับคอมเพรสเซอร์ประเภทอื่น.....17
5.2 สรุปผลการดำเนินงาน .....18





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบคอมเพรสเซอร์ชนิดต่างๆ 17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของคอมเพรสเซอร์ | 3 |
| รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณอินพุท เพื่อสร้างสัญญาณ PWM | 4 |
| รูปที่ 2.3 การออกแบบคอมเพรสเซอร์แบบ feed-forward | 5 |
| รูปที่ 2.4 การออกแบบคอมเพรสเซอร์แบบ feedback | 5 |
| รูปที่ 3.1 ไอคอนและอินเตอร์เฟสของโปรแกรม | 7 |
| รูปที่ 3.2 Block Diagram แสดงการทำงานของคอมเพรสเอร์ | 8 |
| รูปที่ 3.3 วงจร Compressor Threshold | 8 |
| รูปที่ 3.4 วงจร Peak Detector | 9 |
| รูปที่ 3.4 วงจร Envelope Follower | 9 |
| รูปที่ 3.5 วงจร Envelope Follower | 10 |
| รูปที่ 3.5 p-MOSFETs switch | 10 |
| รูปที่ 3.5 RC lowpass filter | 11 |
| รูปที่ 3.6 วงจรคอมเพรสเซอร์ | 12 |
| รูปที่ 4.2 สัญญาณอินพุท, เอาท์พุท และระดับสัญญาณควบคุม | 14 |
| รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขนาด 10.98 v | 15 |
| รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขนาด 3.47 v | 15 |
| รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขนาอด 1.09 v | 16 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในการปฏิบัติงานด้านการผสมเสียง คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการควบคุมไดนามิกของสัญญาณเสียง ซึ่งคอมเพรสเซอร์นั้นได้ถูกพัฒนามาหลายประเภทตามวิธีที่ใช้ในการควบคุมไดนามิก เรนจ์ ของสัญญาณเสียง เช่น OPTO, FETs และ PWM เป็นต้น ทางนักศึกษาได้รับมอบหมายให้ทำการออกแบบคอมเพรสเซอร์ประเภท PWM เพราะทางบริษัทมีความสนใจในคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ จึงต้องการศึกษาและอาจนำไปผลิตใช้ในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับ PWM Compressor ให้ทั้งสถานประกอบการณ์ และตัวนักศึกษา

1.2.2 เพื่อสร้างวงจรต้นแบบที่จะนำไปต่อยอดเพื่อนำไปผลิตขายในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาคอมเพรสเซอร์ประเภท PWM

1.3.2 ออกแบบวงจรอมเพรสเซอร์

1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาหลักการและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคอมเพรสเซอร์

1.4.2 ศึกษาวิธีการออกแบบวงจรคอมเพรสเซอร์

1.4.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ประกอบการออกแบบวงจร

1.4.3.1 โปรแกรม iCircuit

1.4.4 ออกแบบวงจรคอมเพรสเซอร์

1.4.5 ทดสอบประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์

1.4.6 สรุปผลที่ได้ และนำเสนอแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อยอด

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้ทางนักศึกษาคาดว่าจะได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำงานในอุตสาหกรรมบันทึกเสียง และสามารถนำความรู้ที่ได้ศึกษามาดำเนินงานโครงงานได้อย่างประสบผลสำเร็จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 คอมเพรสเซอร์คืออะไร

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) หรือระบบควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ (Automatic Gain Control; AGC) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระดับสัญญาณให้มีความคงที่ ในงานผสมสัญญาณเสียง คอมเพรสเซอร์จะถูกนำไปใช้เพื่อให้เสียงมีระดับความดังคงที่ยิ่งขึ้น

## 2.2 ประเภทของคอมเพรสเอร์

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน สามารถจำแนกเป็นประเภทต่างๆตามเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาตัวลดทอนสัญญาณ ที่ใช้ในการควบคุมระดับสัญญาณเอาท์พุท หรืออัตราขยายของสัญญาณเอาท์พุท ดังนี้

2.2.1 OPTO Compressor ใช้โฟโต้รีซิสเตอร์ (Photoresistors) จับคู่กับแหล่งกำเนิดแสง เรียกว่า Opto-Attenuator เป็นตัวลดทอนสัญญาณ

2.2.2 FETs Compressor ใช้หลักการไบแอสทรานซิสเตอร์ประเภท FETs ให้ทำงานเป็น voltage-controlled resistor (VCR) ที่จะทำหน้าที่ควบคุมกำลังขยายของเอาท์พุทของอุปกรณ์

2.2.3 VCA Compressor ใช้อุปกรณ์ประเภทวงจรรวม (integrated circuit; IC) ควบคุมกำลังขยายของสัญญาณเอาท์พุท

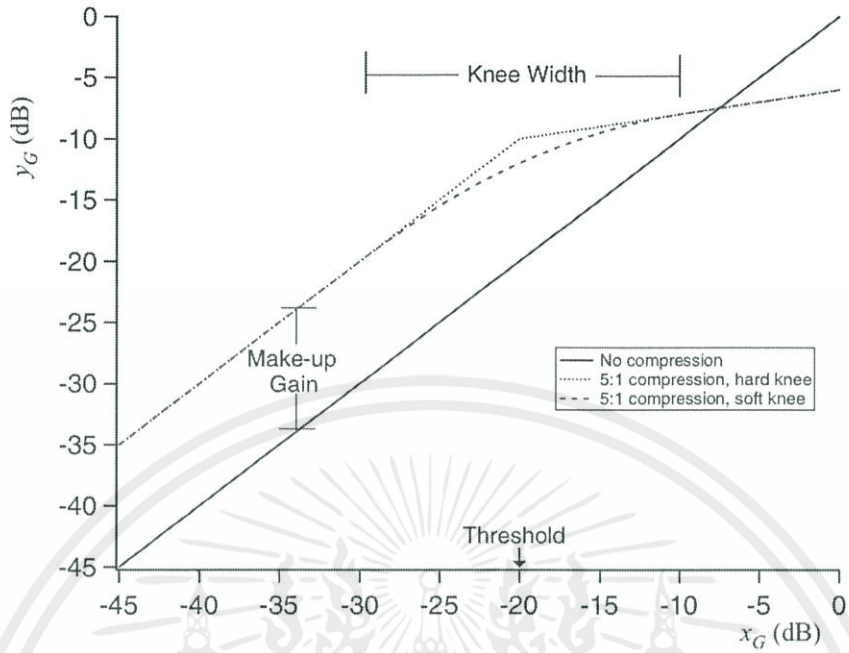
2.2.4 PWM Compressor ใช้การควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ duty cycle ในการลดทอนพลังงานเฉลี่ยของสัญญาณ

## 2.3 พารามิเตอร์ของคอมเพรสเซอร์

ในการใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ได้สอดคล้องกับลักษณะของสัญญาณนั้นๆ ซึ่งประกอบด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.1** ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของคอมเพรสเซอร์
**ที่มา** : https://bit.ly/2HzfASt

2.3.1 Threshold เป็นค่าของระดับสัญญาณที่จะทำให้คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน

2.3.2 Ratio เป็นอัตราส่วนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อคอมเพรซเซอร์ทำงาน

2.3.3 Knee เป็นช่วงของ Threshold ทำให้เกิดความราบรื่นขึ้นระหว่างระดับสัญญาณที่คอมเพรสเซอร์ที่งานและหยุดทำงาน

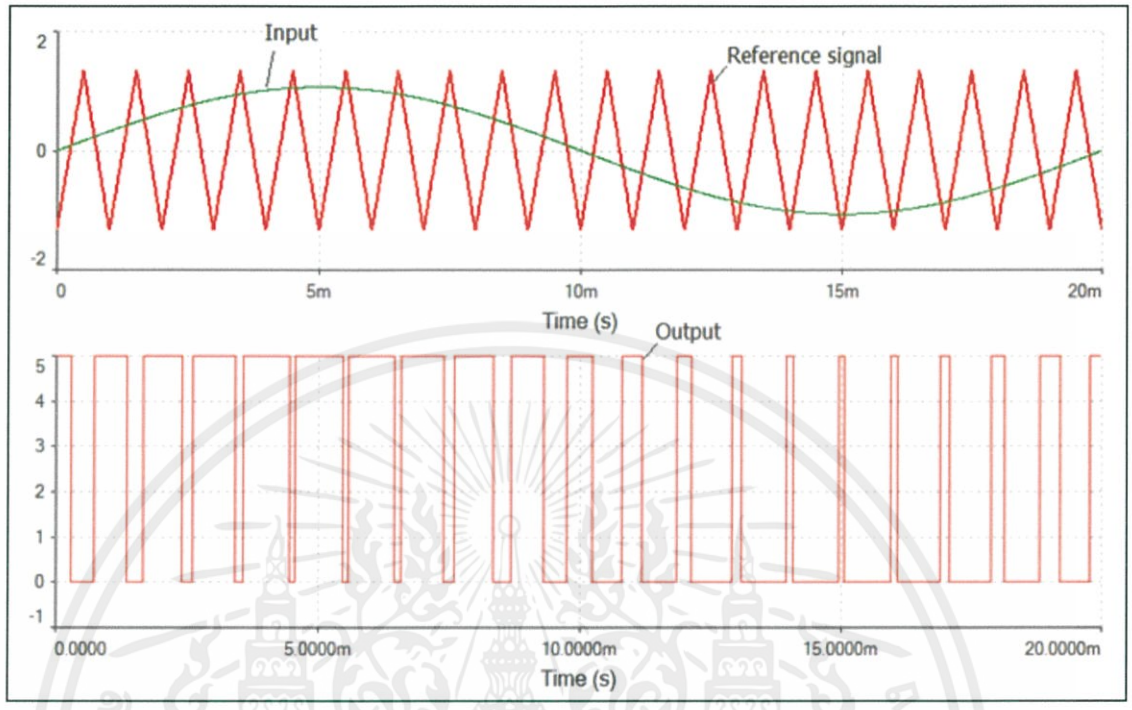
2.3.4 Time Constant (Attack Time, Release Time) คือควาเร็วในการตอบสนองต่อระดับสัญญาณที่เพิ่มขึ้นและ/หรือลดลง เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน ใช้เพื่อทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานสอดคล้องกับเอนวิโลปของสัญญาณ

2.3.5 Make-Up Gain ใช้ในการชดเชยสัญญาณที่ถูกลดกำลังลง เพื่อให้พีคของสัญญาณอยู่ในระดับเท่าเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation)




**รูปที่ 2.2** การเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณอินพุท เพื่อสร้างสัญญาณ PWM
**ที่มา** : https://bit.ly/2RQoPlY

การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (PWM) เป็นกระบวนการมอดูเลตที่มีขนาดความกว้างพัลส์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณขาเข้า สามารถสร้างได้โดยการนำสัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณที่นำมาใช้ควบคุมความกว้างของพัลส์มาเปรียบเทียบกัน

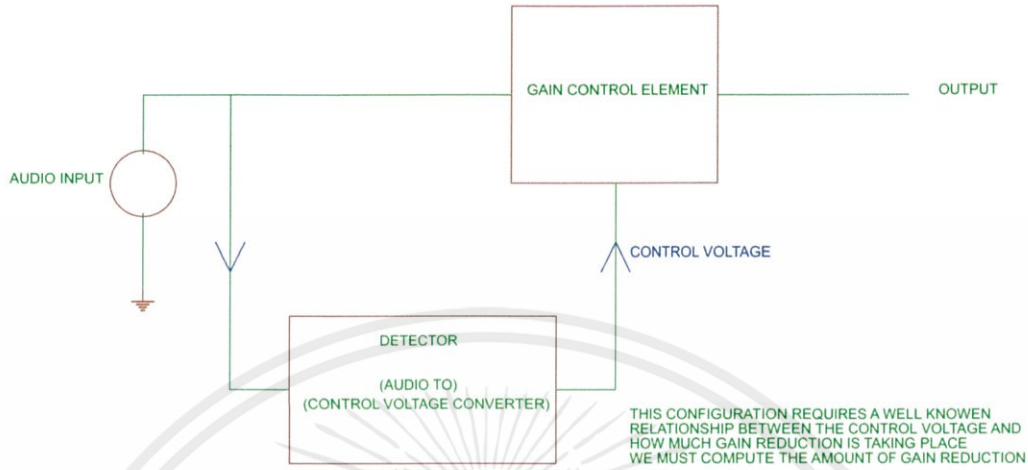
## 2.4 คอมเพรสเซอร์โทโพโลยี (compressor topology)

การออกแบบวงจรคอมเพรสเซอร์ สามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธีการ คือ feed forward และ feedback ซึ่งเป็นการแบ่งจากลำดับในการแยกสัญญาณไปควบคุมอัตราขยายของสัญญาณเอาท์พุท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

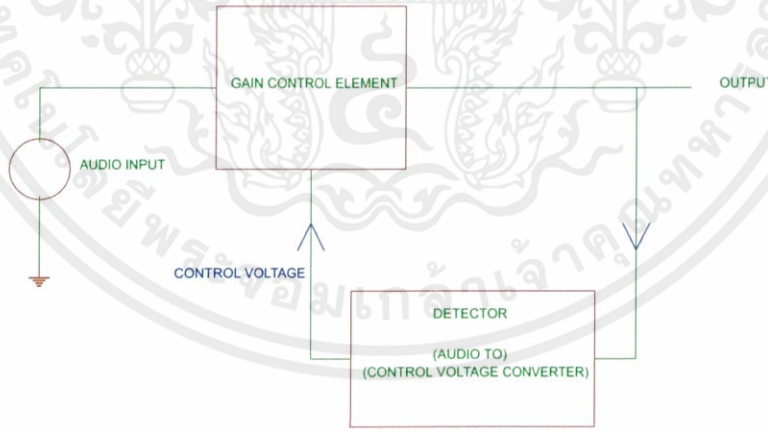
2.4.1 Feed-Forward Topology




**รูปที่ 2.3** การออกแบบคอมเพรสเซอร์แบบ feed-forward
**ที่มา** : https://bit.ly/2TiJ48g

สัญญาณที่ส่งให้ detector เพื่อแปลงเป็น control voltage ควบคุมอัตราขยายของส่วนขยายสัญญาณเอาท์พุท เป็นสัญญาณอินพุท ทำให้เราสามารถกำหนดค่า threshold, ratio, attack time และ release time ได้อย่างแม่นยำ ทำให้มีความสะดวกในการออกแบบ

2.4.2 Feedback Topology




**รูปที่ 2.4** การออกแบบคอมเพรสเซอร์แบบ feedback
**ที่มา** : https://bit.ly/2TiJ48g

สัญญาณที่ส่งให้ detector เพื่อแปลงเป็น control voltage ควบคุมอัตตราขยายของส่วนขยายสัญญาณเอาท์พุท เป็นสัญญาณเอาท์พุทหลังส่วนขยายสัญญาณ วงจรลักษณะนี้เป็นวงจร self



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

correcting circuit เราจะได้ระดับสัญญาณเอาท์พุทที่คงที่กว่า แต่ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ของการลดทอนสัญญาณได้อย่างชัดเจน ทำให้ไม่สามารถระบุค่า attack time, release time และ ratio ได้แม่นยำ และค่า threshold จะมีผลต่อ feedback loop gain ทำให้พารามิเตอร์อื่นๆเปลี่ยนไปด้วย

## 2.5 คอมเพรสเซอร์ดีเทคเตอร์ (Detector)

วงจร detector เป็นวงจรที่แปลงสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณควบคุม (control voltage) เพื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานของวงจรส่วนอื่นๆ เช่น อัตราขยายของวงจรขยาย เป็นต้น มีสองวิธีการที่เป็นที่นิยม คือ

2.6.1 Peak Detector แปลงระดับสัญญาณสูงสุด (Peak) เป็นระดับสัญญาณควบคุม คือ วงจร rectifier สามารถใช้ได้ทั้ง full wave rectifier และ half wave rectifier

2.6.2 RMS Detector ใช้ระดับสัญญาณเฉลี่ย RMS (root mean square) เป็นสัญญาณควบคุม

## 2.6 วงจร envelope follower

หากนำสัญญาณควบคุมที่ได้จากวงจร detector ไปใช้ควบคุมส่วนขยายสัญญาณทันที จะทำให้สัญญาณเสียงจากเอาท์พุทที่ได้เกิดการ distortion ขึ้น ซึ่งไม่เป็นผลดีในการประมวนผลสัญญาณเสียง จึงมีการใช้วงจร envelope follower เข้ามาปรับแต่งสัญญาณควบคุมเพื่อลด distortion ที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดพารามิเตอร์ attack time, release time หรือ timing constant ของคอมเพรสเซอร์ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.6.1 passive envelope follower เป็นวงจร second order bandpass filter สามารถออกแบบได้ง่าย แต่ในการใช้งานจะทำให้พารามิเตอร์ attack time และ release time มีผลต่อกันและกัน ไม่สามารถปรับแยกกันได้ จึงไม่เหมาะสมกับสัญญาณเสียงบางประเภท

2.6.2 active envelope follower เป็นการนำอุปกรณ์ประเภท op-amp ร่วมกับ RC filter สร้าง bandpass filter ทำให้สามารถปรับพารามิเตอร์ attack time และ release time เป็นอิสระต่อกัน ทำให้คอมเพรสเซอร์สามารถใช้งานกับสัญญาณเสียงที่มี envelope ที่หลากหลายยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

## 3.1 ศึกษาหลักการและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคอมเพรสเซอร์

ศึกษารายละเอียดต่างๆของ ทั้งที่มา ความสำคัญ การนำไปใช้ และความแตกต่างของคอมเพรสเซอร์แต่ละชนิด โดยการสอบถามจากผู้ดูแลในบริษัท ร่วมกับการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่สามารถหาได้

## 3.2 ศึกษาวิธีการออกแบบวงจรคอมเพรสเซอร์

ศึกษาองค์ประกอบต่างๆของคอมเพรสเซอร์ ดังนี้ Threshold, Peak Detector, RMS Detector, Passive envelope follower, Active envelope follower และ Attenuator type และศึกษาหลักการในการออกแบบ ได้แก่ Feed Forward Design และ Feed Backward Design

## 3.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ประกอบการออกแบบวงจร

3.3.1 โปรแกรม iCircuit

โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรม realtime circuit simulation ที่ใช้งานง่าย สำหรับผู้ที่ใช้ MAC OS มีฟังก์ชั่นเพียงพอสำหรับการออกแบบวงจรพื้นฐาน ด้วยอินเตอร์เฟสที่เรียบง่าย และใช้งานง่าย

**รูปที่ 3.1** ไอคอนและอินเตอร์เฟสของโปรแกรม

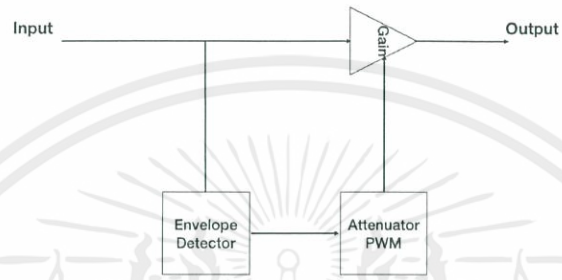


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 ออกแบบวงจร

ทำการออกแบบวงจร และทดลองด้วยโปรแกรม iCircuit โดยได้กำหนดหลักการออกแบบและองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

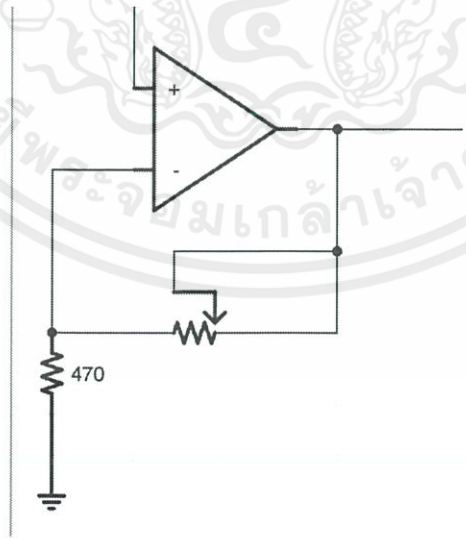
### 3.4.1 Feed Forward Topology




**รูปที่ 3.2** Block Diagram แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์

จากรูป 3.2 เมื่อมีสัญญาณอินพุทเข้ามา สัญญาณจะถูกป้อนให้กับ เอาท์พุทเกน และ envelope detector ในส่วนของ envelop detector จะทำการสร้างสัญญาณเสมือนเอนวิโลปของสัญญาณอิทพุทที่มีระดับสัญญาณเกิน Threshold ที่กำหนดไว้ เป็นสัญญาณควบคุมไปให้ PWM Attenuator ทำการลดกำลังขยายของเอาท์พุทเกนไปเป็นเอาท์พุทของระบบ

### 3.4.2 Threshold



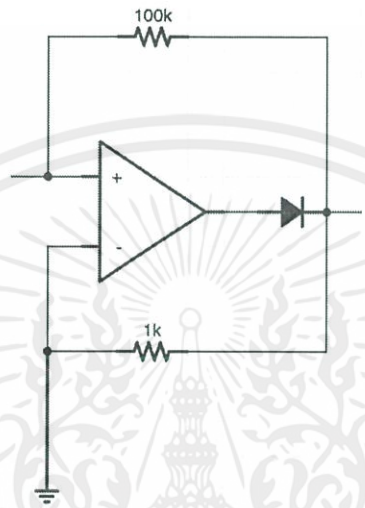

**รูปที่ 3.3** วงจร Compressor Threshold



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Threshold ขยายสัญญาณอินพุทที่จะนำไปใช้ในวงจร peak detector เมื่อขยายสัญญาณเพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันที่ส่งไปให้ peak detector มากขึ้น ทำให้พารามิเตอร์ Threshold มีค่าต่ำลง วงจรที่ใช้คือ non-inverting amplifier อัตราขยายตามอัตราส่วนระหว่าง feedback resistor และ inverting input resistor

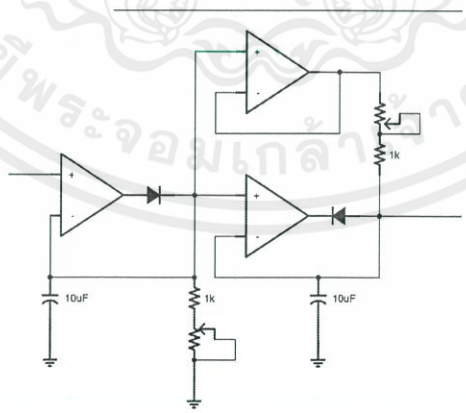
3.4.3 Peak Detector




**รูปที่ 3.4** วงจร Peak Detector

ใช้วงจร active rectifier แปลงสัญญาณที่ได้จาก threshold เป็นสัญญาณควบคุม ที่ตอบสนองต่อระดับ peak ของสัญญาณที่ได้จาก threshold

3.4.3 Active Envelope Follower



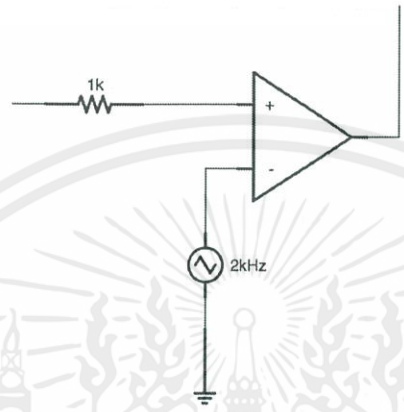

**รูปที่ 3.4** วงจร Envelope Follower



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการปรับแต่ง envelope ของสัญญาณควบคุมที่ได้จากวงจร peak detector เพื่อลดการเกิด distortion ที่เกิดจากการตอบสนองของ peak detector มีการเพิ่มพารามิเตอร์ attack time และ release time สำหรับการปรับใช้ ให้ envelope ของสัญญาณควบคุม สอดคล้องกับ envelope ของสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามา

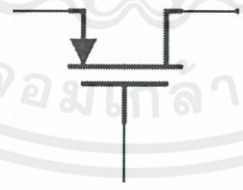
3.4.4 Pulse Width Modulator




**รูปที่ 3.5** วงจร Envelope Follower

สร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างสัญญาณพัลส์ด้วยการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยม ขนาด 3 โวลต์ ความถี่ 2 kHz (ใช่ความถี่ที่ต่ำกว่าที่ใช้จริงเนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ ไม่สามารถจำลองการทำงานและวัดผลได้อย่างเต็มประสิทธิภาพหากใช้ความถี่ที่ใช้จริง) กับสัญญาณควบคุมที่ได้จาก envelope detector ซึ่งอยู่ในช่วง 0-3 โวลต์

3.4.4 PWM Attenuator



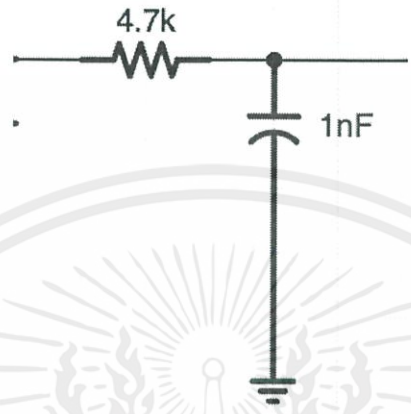
**รูปที่ 3.5** p-MOSFETs switch

ใช้ p-MOSFETs เป็นสวิตช์ในการมอดูเลตสัญญาณพัลส์กับสัญญาณอินพุทเพื่อลดพลังงานเฉลี่ยของสัญญาณลง เมื่อสัญญาณมีระดับสูงกว่า threshold



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 Pulse Width Demodulator




**รูปที่ 3.5** RC lowpass filter

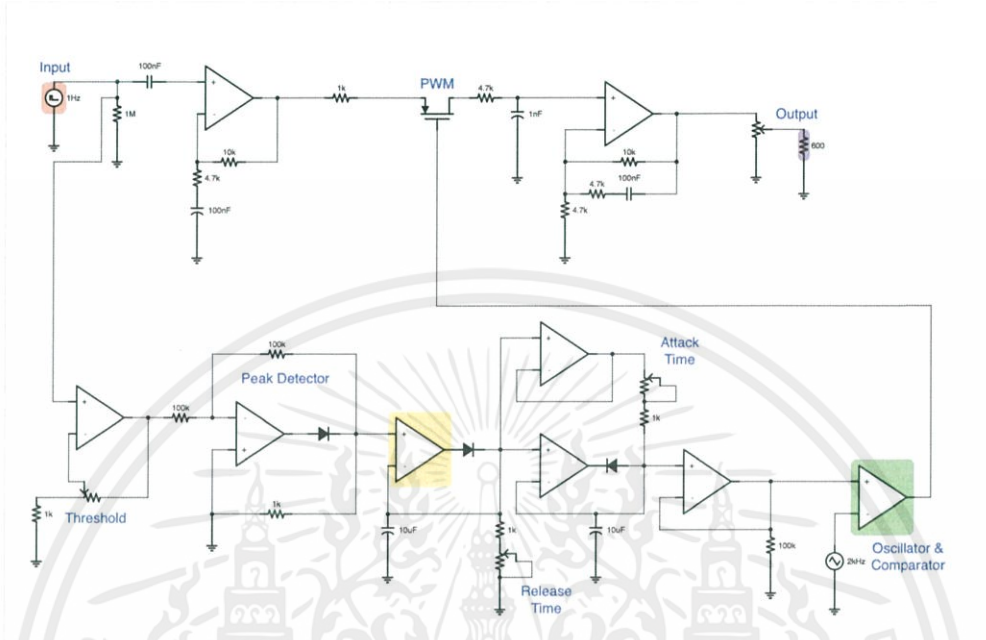
กรองสัญญาณพัลส์ออกจากสัญญาณเสียงด้วย first order lowpass filter เพื่อให้เหลือเพียงสัญญาณเสียงที่ถูกลดพลังงานเฉลี่ยลง เพื่อส่งสัญญาณต่อไปให้วงจรขยายในส่วนเอาท์พุท เพื่อชดเชยระดับ peak ของสัญญาณให้มีขนาดเท่าสัญญาณอินพุท

## 3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์

ทดลองป้อนสัญญาณอินพุทแบบต่างๆในกับวงจรที่ทำการ simulation ในโปรแกรม iCircuit เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำงาน และประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรที่ออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.6** วงจรคอมเพรสเซอร์

จากรูปที่ 3.6 ทำการกำหนดและวัดสัญญาณอินพุทที่ signal generator สีแดง และวัดสัญญาณเอาท์พุทจากตัวต้านทานขนาด 600 โอห์ม (input impedance ของ line input mixer และ audio interface คือ 600 โอห์ม) ทำการตรวจสอบสัญญาณควบคุมที่ได้จาก peak detector ที่ non-inverting input ของ opamp สีเหลือง และตรวจสอบสัญญาณควบคุมที่ได้จาก envelope follower ที่ non-inverting input ของ opamp สีเขียว แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของโปรแกรม สัญญาณที่ใช้ทดสอบจึงเป็นเพียงสัญญาณอิมพัลส์แอมพลิจูดขนาดต่างๆ เพื่อทำการอนุมานค่าที่ได้เท่านั้น

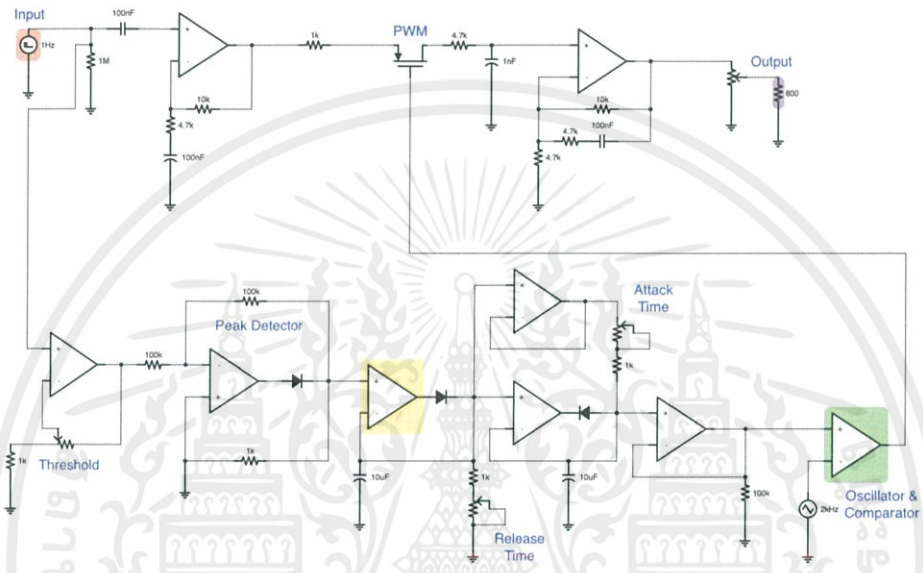


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการวิจัย

## 4.1 วงจรคอมเพรสเซอร์ที่ออกแบบ



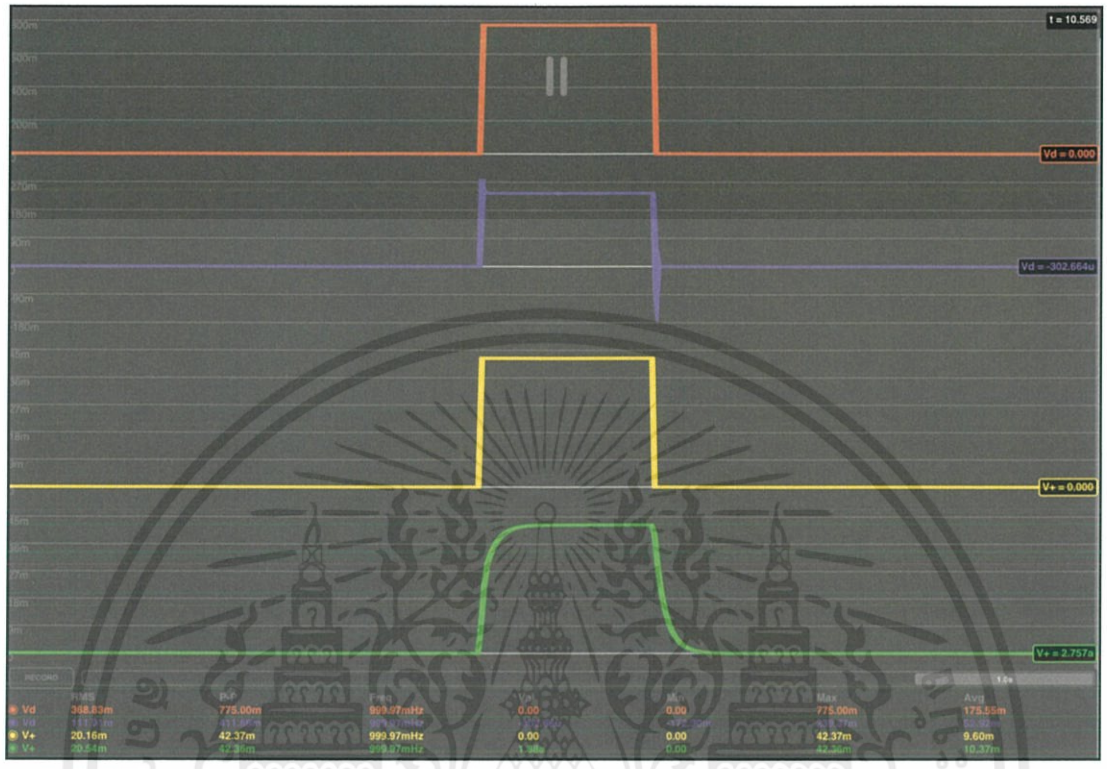

**รูปที่ 4.1** วงจรคอมเพรสเซอร์

ออกแบบและตรวจสอบวงจรด้วยโปรแกรม iCircuit โดยวงจรนี้เป็น feed forward design ใช้ detector ประเภท peak detector และส่วนของ envelope follower เป็น active envelop follower ใช้ oscillator สร้างสัญญาณสามเหลี่ยมเพื่อนำไปเทียบกับสัญญาณที่ได้จาก detector สร้างสัญญาณ pulse width modulation และใช้ pFETs เป็นสวิตช์ ลดทอนพลังงานเฉลี่ยนของสัญญาณเมื่อคอมเพรซเซอร์ทำงาน แล้วใช้ low pass filter นำความถี่ PWM ออกและชดเชยระดับสัญญาณที่ลดลงเป็นเอาท์พุท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ตรวจสอบความถูกต้องของวงจร



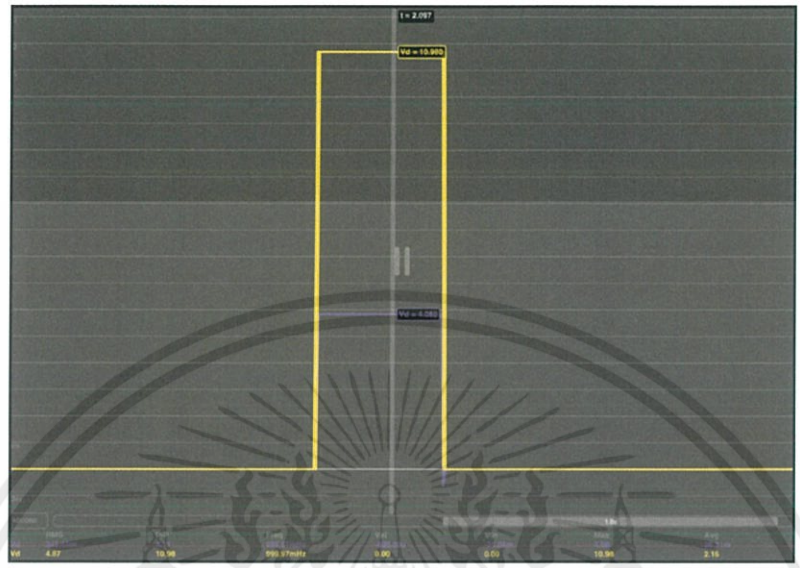

**รูปที่ 4.2** สัญญาณอินพุท, เอาท์พุท และระดับสัญญาณควบคุม

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณอินพุท (สีแดง) ขนาด 775 มิลลิโวลต์ สัญญาณเอาท์พุท (สีนำเงิน) ที่ถูกลดลงเหลือขนาด 411.66 มิลลิโวลต์ สัญญาณที่ detector ตรวจจับได้ (สีเหลือง) และ envelope ของสัญญาณที่เปลี่ยนไป (สีเขียว) หลังจากที่ผ่านวงจร envelope follower ไปเป็นสัญญาณที่ใช้เทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม เพื่อสร้างสัญญาณมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ แสดงให้เห็นการทำงานของวงจรคอมเพรสเซอร์ และวงจร envelope detector



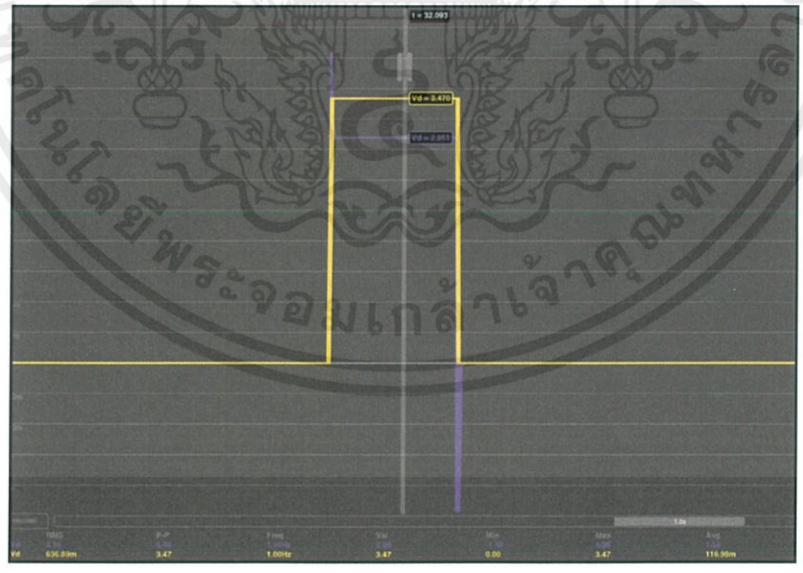
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 ผลตอบสนองของคอมเพรสเซอร์ต่อระดับสัญญาณต่างๆ



**รูปที่ 4.3** ผลตอบสนองต่อสัญญาณขนาด 10.98 v

วงจรคอมเพรสเซอร์ตอบสนองต่อสัญญาณอินพุทขนาด 10.98 โวลต์ ด้วยการลดขนาดสัญญาณอินพุทเหลือ 4.11 โวลต์

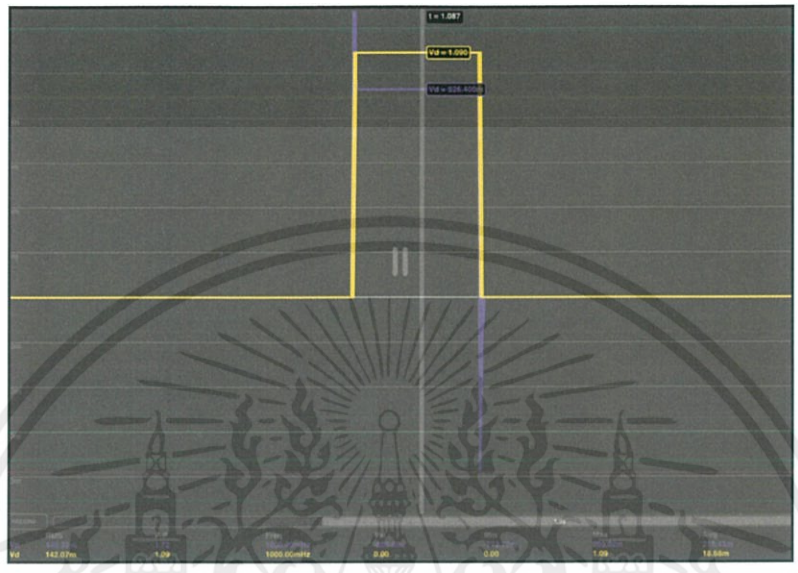


**รูปที่ 4.4** ผลตอบสนองต่อสัญญาณขนาด 3.47 v



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรคอมเพรสเซอร์ตอบสนองต่อสัญญาณอินพุทขนาด 3.47 โวลต์ ด้วยการลดขนาดสัญญาณอินพุทเหลือ 2.95 โวลต์ มีการเกิด spike ขนาด 4.08 โวลต์ ที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณ และเกิด dip -1.4 โวลต์ เมื่อสัญญาณสิ้นสุดลง เป็นผลมาจากการเปลี่ยนอัตราขยายอย่างฉับพลัน



**รูปที่ 4.5** ผลตอบสนองต่อสัญญาณขนาอด 1.09 v

วงจรคอมเพรสเซอร์ตอบสนองต่อสัญญาณอินพุทขนาด 1.09 โวลต์ ด้วยการลดขนาดสัญญาณอินพุทเหลือ 926 มิลลิโวลต์ มีการเกิด spike ขนาด 950 มิลลิโวลต์ ที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณ และเกิด dip -772 มิลลิโวลต์ เมื่อสัญญาณสิ้นสุดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 เปรียบเทียบคอมเพรสเซอร์ที่ออกแบบกับคอมเพรสเซอร์ประเภทอื่น

| Types | Max Gain Reduction (dB) | Attack Time (ms) | Release Time (s) |
|---|---|---|---|
| Optical | 25 | 30 | 2 |
| FETs | 40 | 0.8 | 1.1 |
| VCA | 100 | 5 | - |
| PWM | 20 | 6 | 1 |

**ตารางที่ 5.1** ตารางเปรียบเทียบคอมเพรสเซอร์ชนิดต่างๆ

Optical compressor สามารถลดทอนสัญญาณสูงสุด (Max Gain Reduction) ได้ 25 dB มี attack time เร็วที่สุดเพียง 30 มิลลิวินาที ช้าที่สุดในทุกประเภท และมี release time 2 วินาที อาจไม่เหมาะสมสำหรับสัญญาณเสียงบางประเภท

FETs compressor มีค่าลดทอนสัญญาณสูงสุด (Max Gain Reduction) ที่ 40 dB มากกว่า Optical compressor และมี attack time เร็วที่สุดเมื่อเทียบกับคอมเพรสเซอร์ทุกประเภทที่กล่าวมาที่ 0.8 มิลลิวินาที แต่มี release time ที่สั้นเพียง 1.1 วินาที

VCA compressor สามารถลดทอนสัญญาณได้มากที่สุดในคอมเพรสเซอร์ทุกประเภทที่ศึกษาที่ 100 dB และมี attack time ที่ค่อนข้างเร็ว คือ 5 มิลลิวินาที และไม่มีข้อจำกัดในการตั้งค่า release time แต่จากที่ศึกษาเชิงทฤษฎี พบว่า VCA compressor มี Total Harmonics Distortion ที่สูงมาก และเกิด artifact dIstortion เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณควบคุม (control voltage) อย่างฉับพลัน และ PWM compressor ไม่เกิด distortion เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณควบคุมอย่างฉับพลัน

PWM compressor ที่ออกแบบมีความสามารถในการลดทอนสัญญาณ (Max Gain Reduction) น้อยที่สุดในคอมเพรสเซอร์ทุกชนิด โดยประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณของ PWM compressor ขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการตอบสนองของสวิตช์ และความถี่ที่ใช้ในการมอดูเลตความกว้างสัญญาณพัลส์ แต่ Gain Reduction 20 dB เพียงพอในการใช้งานด้านเสียง

PWM compressor ที่ออกแบบสามารถปรับค่า attack time ได้เร็วที่สุด 6 มิลลิวินาที มีความเร็วไกล้เคียงกับ VCA compressor ทีมี่ attack time เร็วสุด 5 มิลลิวินาที และมี release time มากที่สุด 1 วินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรวมแล้วพารามิเตอร์ต่างๆของ PWM compressor มีความใกล้เคียงกับคอมเพรสเซอร์ประเภทอื่นๆ สามารถนำมาเป็นตัวเลือกในการใช้งานคอมเพรสเซอร์ในการผสมเสียง ที่ต้องการความหลากหลายของอุปกรณ์ได้

## 5.2 สรุปผลการดำเนินงาน

ได้ทำการศึกษาและออกแบบ dynamic range compressor ประเภท PWM ด้วยโปรแกรม iCircuit และสรุปเป็นวงจรต้นแบบ นำเสนอเป็นองค์ความรู้แก่บริษัท

วงจร PWM compressor ที่ออกแบบ มีประสิทธิภาพเพียงพอและสามารถนำมาใช้อธิบายเป็นองค์ความรู้ได้อย่างเหมาะสม แต่ยังต้องมีการนำไปทดลองบนอุปกรณ์จริง และพัฒนาในส่วนของ envelope detector ให้สามารถตอบสนองต่อการใช้งานที่หลากหลายกว่านี้ และพัฒนาให้คอมเพรสเซอร์ สามารถปรับพารามิเตอร์ ratio ได้ หากมีความต้องการนำไปผลิตขายจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม


[1] Ethan Winer. "**The audio expert : everything you need to know about audio**". Oxford. Elsevier Inc.

[2] Bob Metzler. "**Audio Measurement Handbook**". Second Edition. Oregon. Audio Precision Inc.

[3] Douglas Self, Richard Brice, Ben Duncan, John Linsley Hood, Ian Sinclair, Andrew Singmin, Don Davis, Eugene Patronis, John Watkinson. "**Audio Engineering : Know It All**". Oxford. Elsevier Inc.

[4] Dave Hill. "**Why A PWM Compressor**". [online] Available: https://bit.ly/2MCcbRx

[5] Dave Hill. "**Analog Compressor And Some of The Bits that make them What They Are**". [online] Available: https://bit.ly/2TiJ48g

[6] Michael Massberg. "**Investigation in Dynamic Range Compression**". [online] Available: https://bit.ly/2DDgcCA

[7] Moore, Austin, Till, Rupert and Wakefield, Jonathan P. "**An Investigation into the Sonic Signature of Three Classic Dynamic Range Compressors**". [online] Available: https://bit.ly/2CQj2T1

[8] Dimitrios Giannoulis, Michael Massberg and Joshua D. Reiss. "**Digital Dynamic Range Compressor Design - A Tutorial and Analysis**". [online] Available: https://bit.ly/2HzfASt

[9] Fred Floru. "**Attack and Release Time Constants in RMS-Based Compressors and Limiters**". [online] Available: https://bit.ly/2UkkLHq

[10] Predrag Pejović. "**Peak Detector and/or Envelope Detector**". [online] Available: https://bit.ly/2RieREP




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้