

การออกแบบเสียงด้วยซาวด์เอฟเฟคสำหรับกีตาร์ไฟฟ้า
Sound Design with Sound Effects for Electric Guitar

กฤตชัย ทองไทย
Krittachai Thongthai
ณัฐกร สุขบุรี
Natthakon Sukburee
ณิชากร กองแก้ว
Nichakorn Kongkaew

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การออกแบบเสียงด้วยซาวด์เอฟเฟคสำหรับกีตาร์ไฟฟ้า
Sound Design with Sound Effects for Electric Guitar

กฤตชัย ทองไทย
Krittachai Thongthai
ณัฐกร สุขบุรี
Natthakon Sukburee
ณิชากร กองแก้ว
Nichakorn Kongkaew

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

Sound Design with Sound Effects for Electric Guitar

Krittachai Thongthai
Natthakon Sukburee
Nichakorn Kongkaew

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

Thesis Title

การออกแบบเสียงด้วยซาวด์เอฟเฟคสำหรับกีตาร์ไฟฟ้า
Sound Design with Sound Effects for Electric
Guitar

ชื่อนักศึกษา

นายกฤตชัย ทองไทย

นายณัฐกร สุขบุรี

นางสาวณิชากร กองแก้ว

ระดับปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา

2557

(.....
.....)

ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเสียงด้วยซาวด์เอฟเฟคสำหรับกีตาร์ไฟฟ้า		
Thesis Title	Sound Design with Sound Effects for Electric Guitar		
ชื่อนักศึกษา	นายกฤตชัย	ทองไทย	รหัสนักศึกษา 54010037
	นายณัฐกร	สุขบุรี	รหัสนักศึกษา 54010388
	นางสาวณิชชากร	กองแก้ว	รหัสนักศึกษา 54010464
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล		

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างเอฟเฟคกีตาร์ที่มีเสียงที่เป็นเอกลักษณ์เพื่อใช้กับกีตาร์ไฟฟ้า ซึ่งเอฟเฟคกีตาร์ที่สร้างขึ้นมี 2 ชนิด คือ 1. เอฟเฟคโอเวอร์ไดรฟ์/ดีสทอร์ชัน เป็นการสร้างเสียงพรั่วหรือเสียงที่ฟังดูอบอุ่นด้วยวงจรการตัดยอดสัญญาณอย่างง่าย และมีราคาถูกโดยใช้หลักการประมวลผลสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น เช่น การตัดยอดสัญญาณแบบสมมาตร และการตัดยอดสัญญาณแบบไม่สมมาตร ส่วนการปรับแต่งเอกลักษณ์ของเสียงจะใช้ตัวกรองสัญญาณตัวหน้าและตัวกรองสัญญาณตัวหลัง ซึ่งสามารถควบคุมทั้งขนาด และจำนวนฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจากการตัดยอดสัญญาณได้ 2. เอฟเฟคคอรัส เป็นการสร้างเสียงที่กังวานเหมือนกับการร้องประสานเสียง ซึ่งเกิดจากเสียงที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อย คือ เสียงจากกีตาร์ต้นฉบับและเสียงจากกีตาร์ที่ถูกหน่วงเวลาออกไปนำมารวมกัน จึงกล่าวได้ว่าการควบคุมการหน่วงเวลา และปริมาณการผสมกันระหว่างสัญญาณทั้ง 2 ชนิดเป็นการควบคุมเสียงที่เกิดจากเอฟเฟคคอรัส ในการปรับแต่งเอฟเฟคคอรัสจะใช้คุณสมบัติของตัวกรองสัญญาณประเภทต่างๆ เพื่อควบคุมลักษณะของเสียงที่ได้ เช่น การเพิ่มขนาดของสัญญาณให้แรงโดยการเพิ่มแกนขยายในช่วงความถี่ต่ำและความถี่สูง เป็นต้น

Thesis Title	Sound Design with Sound Effects for Electric Guitar		
Student	Mr.Krittachai	Thongthai	Student ID. 54010037
	Mr.Natthakon	Sukburee	Student ID. 54010388
	Miss.Nichakorn	Kongkaew	Student ID. 54010464
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Information Engineering		
Academic Year	2557		
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dolchai Sukcharoernphol		

ABSTRACT

This thesis is regarding the studying, designing and creation of guitar effects that has specific sounds for use with electric guitar. There are two types of the guitar effects that we have created which are the overdrive/distortion effect and the chorus effect. The overdrive/distortion effect creates scream sounds with easily clipping circuit and inexpensive by using non-linear processing such as symmetrical clipping circuit and asymmetrical clipping circuit. Moreover, specific sounds are modified by pre-filter and post-filter. They can control both size and number of harmonics that generate from clipping. For the chorus effect, it creates reverb sounds like burden of a song. It has a few different sounds between the original sound of electric guitar and the delayed sound of electric guitar. So, the control of delay time and the quantity of mixed signals can control the sound of chorus effect. However, Tuning can be used properties of filters to control characteristic of sounds, for example, bass boost and treble boost.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา และควบคุมปฏิญานิพนธ์ โดย ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ รวมถึงการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้การดำเนินงานจัดทำปฏิญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลา 4 ปีการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้ปกครอง ผู้ที่ให้การส่งเสริม สนับสนุน และให้กำลังใจในการจัดทำโครงการและปฏิญานิพนธ์นี้เสมอมา

ขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ที่ให้คำปรึกษาในการต่อวงจรไฟฟ้าของเอฟเฟคกีตาร์ คำแนะนำ ดิฉัน และความช่วยเหลือต่างๆในการจัดทำโครงการและปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาทุกคน รวมถึงผู้ที่มีความสนใจทุกท่าน และโครงการนี้สามารถนำไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

กฤตชัย ทองไทย
ณัฐกร สุขบุรี
ณิชากร กองแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตความสามารถของโครงการ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานในโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	5
2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี	5
2.1.1 ระดับเสียง	5
2.1.2 ความเข้มเสียง	5
2.1.3 สีสันทันของเสียง	7
2.1.4 คุณภาพเสียง	8
2.1.5 ความยาวเสียง	8
2.2 กีตาร์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกัน	8
2.2.1 กีตาร์ไฟฟ้า	8
2.2.2 กลุ่มเอฟเฟค	10
2.2.3 แอมป์ลิฟายเออร์	11
2.3 พื้นฐานความรู้เกี่ยวกับเสียงกีตาร์	12
2.3.1 คลื่นเสียง	13
2.4 Non-linear process for distortion of sound wave	13
2.4.1 การตัดยอดสัญญาณแบบ Hard clipping	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.2 การตัดยอดสัญญาณแบบ Soft clipping	15
2.4.3 ตัวอย่างการตัดยอดสัญญาณแบบ Soft clipping	15
2.5 ทฤษฎีมอสเฟต	17
2.5.1 โครงสร้างของมอสเฟต	17
2.5.2 มอสเฟตชนิด เอ็น-แชนแนล	19
2.5.3 มอสเฟตชนิด พี-แชนแนล	21
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้าง	23
3.1 วงจรดีสทอร์ชัน : Tube Screamer by Ibanez	23
3.1.1 การวิเคราะห์วงจรแหล่งจ่ายไฟ	24
3.1.2 การวิเคราะห์วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า	26
3.1.3 การวิเคราะห์วงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ	28
3.1.4 การวิเคราะห์วงจรควบคุมโทนและระดับของเสียง	36
3.1.5 การวิเคราะห์วงจรบัฟเฟอร์ขาออก	42
3.1.6 การปรับแต่งวงจรดีสทอร์ชัน โดยใช้วงจรตัดยอดคลื่น ของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด	43
3.1.7 การปรับแต่งวงจรดีสทอร์ชัน โดยใช้วงจรตัดยอดคลื่น ของสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต	44
3.1.8 การปรับแต่งวงจรดีสทอร์ชัน โดยใช้เสียงแบบ Flat	44
3.1.9 การปรับแต่งวงจร Distortion โดยการตัดวงจรจำกัดขนาด และใช้เสียงแบบ Flat	45
3.1.10 การปรับแต่งวงจรดีสทอร์ชัน โดยใช้วงจรบูส	45
3.2 เอฟเฟคคอร์รัส : Boss CE-2	46
3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	47
3.2.2 วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า	48
3.2.3 Pre-Emphasis & De-Emphasis Filters	48
3.2.4 Anti-Aliasing Filter & Reconstruction Filter	50
3.2.5 The Bucket Brigade Device Stage	52
3.2.6 Boss CE-2 LFO Low Frequency Oscillator	53

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	55
4.1 การจำลองวงจรดีสทอร์ชัน : Tube Screamer	55
4.1.1 การจำลองวงจร Passive Low-pass Filter	56
4.1.2 การจำลองวงจร Active Tone Circuit	56
4.1.3 การจำลองวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด	57
4.1.4 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของวงจรตัดยอดคลื่นของ สัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด	60
4.1.5 การจำลองวงจรตัดยอดคลื่นสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต	63
4.1.6 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของวงจรตัดยอดคลื่น สัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต	64
4.1.7 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของโหมด FM	68
4.1.8 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของโหมด Compcut	69
4.1.9 การจำลองวงจรบูส เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่	71
4.1.10 การต่อวงจรบูส เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่	74
4.2 การจำลองวงจรคอร์ซิส : Boss CE-2	76
4.2.1 การจำลองวงจรส่วน Pre-Emphasis & De- Emphasis	76
4.2.2 การจำลองวงจรส่วน Anti-aliasing Filter และ Reconstruction Filter	77
4.3 การออกแบบโครงสร้างของวงจร และการใช้งานเอฟเฟค Multi Screamer Boost	79
4.3.1 วงจร Multi Screamer Boost	80
4.4 การออกแบบโครงสร้างของวงจร และการใช้งานเอฟเฟค Multi Mode Chorus	85
4.4.1 วงจร Multi Mode Chorus	86
4.4.2 การออกแบบ User Interface ของเอฟเฟค Multi Mode Chorus	88
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	91
5.1 บทสรุปโครงงาน	91
5.2 ปัญหาที่พบ	92

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3 แนวทางในการพัฒนา	92
บรรณานุกรม	93
ภาคผนวก	94

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงโน้ตและความถี่ของสายกีตาร์	หน้า 36
--	------------

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพรวมการทำงานของโครงงาน	2
รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดเสียงที่ให้คลื่นทรงกลมออกมารอบตัวด้วยกำลังคงที่	6
รูปที่ 2.2 เสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน เช่น กีตาร์ไฟฟ้า และไวโอลิน	8
รูปที่ 2.3 กีตาร์ไฟฟ้า	9
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของกีตาร์ไฟฟ้า	9
รูปที่ 2.5 การเคลื่อนตัว (Displacement)	12
รูปที่ 2.6 รูปรกราฟฟิคของคลื่นเสียง	13
รูปที่ 2.7 การตัดยอดคลื่นของสัญญาณ	14
รูปที่ 2.8 กราฟแสดง Hard Clipping	14
รูปที่ 2.9 กราฟแสดง Soft Clipping	15
รูปที่ 2.10 Positive Bias Diode Clipping	15
รูปที่ 2.11 Positive Diode Clipping Circuits	16
รูปที่ 2.12 Negative Bias Diode Clipping	16
รูปที่ 2.13 Negative Diode Clipping Circuits	16
รูปที่ 2.14 Diode Clipping of Different Bias levels	17
รูปที่ 2.15 โครงสร้างพื้นฐานของมอสเฟต	17
รูปที่ 2.16 การเกิดสนามไฟฟ้าบนแผ่นตัวเก็บประจุแบบขนาน	18
รูปที่ 2.17 ผลของการไบอัสศักดาบวกที่ขั้วเกตและทิศทางของสนามไฟฟ้า	18
รูปที่ 2.18 ผลของการไบอัสศักดาบวกที่ขั้วเกตของ MOS capacitor ที่ฐานรองเป็นสารชนิด n	19
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของมอสเฟต N-Channel	20
รูปที่ 2.20 ภาควัดขวางของมอสเฟต N-Channel ก่อนที่จะเกิดชั้นผันแปร	20
รูปที่ 2.21 ภาควัดขวางของมอสเฟต P-channel	21
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ Tube screamer Distortion	23
รูปที่ 3.2 การแบ่งวงจร Tube Screamer by Ibanez ออกเป็นส่วนๆ	23
รูปที่ 3.3 วงจร True bypass VS Buffer bypass	24
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแหล่งจ่ายไฟ	24
รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	25
รูปที่ 3.6 แหล่งจ่ายไฟ 9 V	25
รูปที่ 3.7 วงจรเพื่อการคำนวณแรงดัน	26

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรับัพเฟอร์ขาเข้า	26
รูปที่ 3.9 วงจรับัพเฟอร์ขาเข้า	27
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรมอดูเลเตอร์และตัดยอดคลื่นสัญญาณ	28
รูปที่ 3.11 วงจรมอดูเลเตอร์และตัดยอดคลื่นสัญญาณ	28
รูปที่ 3.12 วงจรมอดูเลเตอร์และตัดยอดคลื่นสัญญาณที่ใช้เพื่อคำนวณสมการฟังก์ชันส่งผ่าน	28
รูปที่ 3.13 รูปวงจรมอดูเลเตอร์ไม่กลับเฟส	29
รูปที่ 3.14 รูปวงจรมอดูเลเตอร์เพื่อคำนวณค่าอัตราขยายของวงจรมอดูเลเตอร์ไม่กลับเฟส	29
รูปที่ 3.15 รูปวงจรมอดูเลเตอร์ของสัญญาณด้วยไดโอด	30
รูปที่ 3.16 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะ D1, D2 Disconnected	31
รูปที่ 3.17 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะ D1 Connected, D2 Disconnected	31
รูปที่ 3.18 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะ D2 Connected, D1 Disconnected	32
รูปที่ 3.19 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะ D2 Connected, D1 Connected	32
รูปที่ 3.20 รูปจากออสซิลโลสโคปแสดงแรงดันต่ำที่สุดที่ไดโอดยังไม่ทำงาน	33
รูปที่ 3.21 รูปจากออสซิลโลสโคปแสดงแรงดันที่ไดโอดเริ่มทำงาน	34
รูปที่ 3.22 รูปวงจรมอดูเลเตอร์ High-Pass Filter	34
รูปที่ 3.23 รูปวงจรมอดูเลเตอร์ Low-Pass Filter	35
รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรมอดูเลเตอร์และระดับของเสียง	36
รูปที่ 3.25 วงจรมอดูเลเตอร์และระดับของเสียง	36
รูปที่ 3.26 วงจรมอดูเลเตอร์และระดับของเสียงที่ใช้เพื่อคำนวณสมการฟังก์ชันส่งผ่าน	37
รูปที่ 3.27 รูปวงจรมอดูเลเตอร์ Passive Low-Pass Filter	37
รูปที่ 3.28 รูปวงจรมอดูเลเตอร์ Active Tone Circuit	38
รูปที่ 3.29 รูปวงจรมอดูเลเตอร์เปรียบเทียบขณะปรับ Tone ต่ำสุด	38
รูปที่ 3.30 รูปเมื่อปรับ Tone ต่ำสุด	39
รูปที่ 3.31 รูปสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ Output ขณะปรับ Tone ต่ำสุด	39
รูปที่ 3.32 รูปวงจรมอดูเลเตอร์เปรียบเทียบ ขณะปรับ Tone สูงสุด	40
รูปที่ 3.33 รูปเมื่อปรับ Tone สูงสุด	40
รูปที่ 3.34 รูปสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ output ขณะปรับ Tone สูงสุด	40
รูปที่ 3.35 รูปสัญญาณ Output ขณะปรับ Tone min/Tone max และ input เท่ากับ 0.4 V ความถี่ 400 Hz	41

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.36 รูปสัญญาณ Output ขณะปรับ Tone min/Tone max และ input เท่ากับ 1 V ความถี่ 400 Hz	41
รูปที่ 3.37 รูปสัญญาณ Output ขณะปรับ Tone min/Tone max และ input เท่ากับ 0.4 V ความถี่ 20 kHz	41
รูปที่ 3.37 รูปสัญญาณ Output ขณะปรับ Tone min/Tone max และ input เท่ากับ 0.4 V ความถี่ 20 kHz	41
รูปที่ 3.38 รูปสัญญาณ Output ขณะปรับ Tone min/Tone max และ input เท่ากับ 1 V ความถี่ 20 kHz	42
รูปที่ 3.39 บล็อกไดอะแกรมของวงจรบัฟเฟอร์ขาออก	42
รูปที่ 3.40 วงจรบัฟเฟอร์ขาออก	42
รูปที่ 3.41 วงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด	43
รูปที่ 3.42 วงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต	44
รูปที่ 3.43 วงจร Boost	45
รูปที่ 3.44 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเอฟเฟคคอร์รัส	46
รูปที่ 3.45 ช่วงเวลาของการหน่วงเวลา	46
รูปที่ 3.46 รูปวงจรแหล่งจ่ายไฟ	47
รูปที่ 3.47 วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า	48
รูปที่ 3.48 วงจร Pre-Emphasis Filter	48
รูปที่ 3.49 วงจร De-Emphasis Filter	49
รูปที่ 3.50 วงจร Anti-Aliasing Filter	51
รูปที่ 3.51 วงจร Reconstruction Filters	51
รูปที่ 3.52 วงจร Bucket Brigade Device	52
รูปที่ 3.53 วงจร Low Frequency Oscillator	53
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบวงจร	55
รูปที่ 4.2 การตอบสนองทางความถี่ของ Passive LPF	56
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ เมื่อปรับตัวต้านทานไปในทางลบ	57
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ เมื่อปรับตัวต้านทานไปในทางบวก	57
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Diode Clipping แบบไม่สมมาตรด้านบวก	58

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.31	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = min	70
รูปที่ 4.32	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = min	70
รูปที่ 4.33	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = max	70
รูปที่ 4.34	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = max	71
รูปที่ 4.35	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Boost เมื่อปรับ Boost = off	71
รูปที่ 4.36	กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Boost เมื่อปรับ Boost = off	72
รูปที่ 4.37	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Boost เมื่อปรับ Boost = max, Dis = min	72
รูปที่ 4.38	กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Boost เมื่อปรับ Boost = max, Drive = min	73
รูปที่ 4.39	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Boost เมื่อปรับ Boost = max, Drive = max	73
รูปที่ 4.40	กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Boost เมื่อปรับ Boost = max, Drive = max	74
รูปที่ 4.41	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Boost = off	74
รูปที่ 4.42	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Boost = min	75
รูปที่ 4.43	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Boost = max	75
รูปที่ 4.44	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Pre-Emphasis & De-Emphasis	76
รูปที่ 4.45	กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Pre-Emphasis & De-Emphasis	77
รูปที่ 4.46	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรส่วน Anti-aliasing Filter	77
รูปที่ 4.47	กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรส่วน Anti-aliasing Filter	78
รูปที่ 4.48	กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรส่วน Reconstruction Filter	78
รูปที่ 4.49	กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรส่วน Reconstruction Filter	79
รูปที่ 4.50	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน	80
รูปที่ 4.51	วงจร Multi Screamer Boost	80
รูปที่ 4.52	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโหมด Vintage	81
รูปที่ 4.53	วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Vintage = on , Standard = on	81
รูปที่ 4.54	วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Vintage = on , Mosfet = on	81
รูปที่ 4.55	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโหมด FM	82

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.56 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด FM = on	82
รูปที่ 4.57 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโหมด Compcut	82
รูปที่ 4.58 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Compcut = on	83
รูปที่ 4.59 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Boost = off	83
รูปที่ 4.60 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Boost = on	83
รูปที่ 4.61 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi Screamer Boost	84
รูปที่ 4.62 การออกแบบหลายที่บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi Screamer Boost	84
รูปที่ 4.63 วงจร Multi MOD Chorus	86
รูปที่ 4.64 วงจร Multi MOD Chorus ที่เพิ่มสวิตช์สำหรับโหมด Vibrato	86
รูปที่ 4.65 วงจร Multi MOD Chorus ที่เพิ่มสวิตช์สำหรับโหมด Wet Bass Switching	87
รูปที่ 4.66 วงจร Multi MOD Chorus ที่เพิ่มสวิตช์สำหรับโหมด Chorus Intensity Cap Switching87	87
รูปที่ 4.67 วงจร Multi MOD Chorus Effect Level Mods	88
รูปที่ 4.68 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi MOD Chorus	88
รูปที่ 4.69 การออกแบบหลายที่บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi MOD Chorus	89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เมื่อพูดถึงอุปกรณ์ที่ใช้กับกีตาร์ไฟฟ้าแล้ว เราจะนึกถึงเอฟเฟคกีตาร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ดัดแปลงเสียงที่เกิดจากเครื่องดนตรี ซึ่งในที่นี้คือ กีตาร์ไฟฟ้า โดยใช้หลักการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) ทั้งวงจรแอนะล็อกและวงจรประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เอฟเฟคกีตาร์บางชนิดเหมาะสำหรับการแต่งสีให้กับเสียง ขณะที่บางชนิดเหมาะสำหรับการเปลี่ยนแปลงเสียงเพื่อความเข้าใจให้เหมาะสมกับสไตล์ของเพลง และสร้างอัตลักษณ์ให้นักเล่นกีตาร์นำโดยการแต่งเสียงด้วยเอฟเฟคอิเล็กทรอนิกส์

1.1.1 ชนิดของเอฟเฟคกีตาร์

1. ไดนามิก (Dynamics) คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางความดังของคลื่นเสียง เช่น Clean boost/Volume pedal ใช้เพื่อเร่งความดังขณะแสดงหรือโซโล่, เครื่องขยายกำลังสัญญาณไมโครโฟน (Microphone preamplifier) ใช้เพื่อเร่งสัญญาณไมโครโฟนที่ใช้อุปกรณ์ให้แรงขึ้น, คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ใช้บีบอัดสัญญาณเพื่อรักษาความดังให้อยู่ในระดับเดียวกัน และเทรโมโล่ (Tremolo) เป็นการขยี้เสียงให้เสียงเหมือนมีการสั่นโดยปรับความเร็วในการขยี้ได้ เป็นต้น

2. ฐานเวลา (Time-based) คือ การสร้างผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าเวลาของคลื่นเสียงด้วยดีเลย์ (Delay) และเอคโค (Echo) โดยจะผลิตเสียงสะท้อน (Echo effect) ด้วยการป้อนสัญญาณเครื่องดนตรีเข้าไปที่แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) โดยสัญญาณไฟฟ้า (Electrical signal) จะหน่วงเวลาจากต้นฉบับเล็กน้อย ผลที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบเอคโคเดียว เรียกว่า สแลป (Slap) หรือ สแลปแบ็ค (Slapback) ซึ่งก็คือ เอคโคหลายทีนั่นเอง การใช้ดีเลย์ที่รู้จักกันดีคือ การใช้กับกีตาร์ตัวนำ (Lead guitar) หรือเสียงร้องเพื่อความไพเราะของทางเสียง ส่วนของรีเวิร์บ (Reverb) หรือการสร้างเสียงก้องเป็นการจำลองเสียงให้เหมือนการผลิตในห้องสะท้อน (Echo chamber) ด้วยการสร้างเสียงสะท้อนมากมายที่ค่อยๆลดความดังลงเรื่อยๆ หรือสร้างความก้องกังวานในทางเสียง (Decay) ให้ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการเสริมไม่ให้เสียงห้วนฟังดูแห้งจนเกินไป หรือเป็นเทคนิคที่ทำให้เสียงหวานขึ้นนั่นเอง

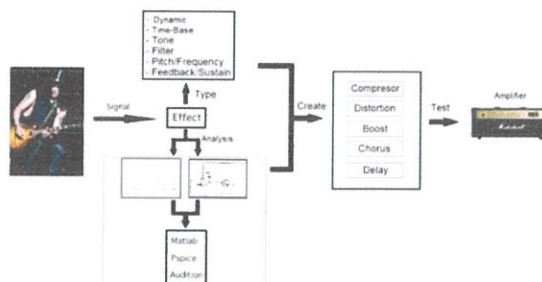
3. น้ำเสียง (Tone) คือ การเปลี่ยนให้น้ำเสียงเพี้ยนไปจากธรรมชาติเดิม เช่น ดิสทอร์ชัน (Distortion) และโอเวอร์ไดรฟ์ (Overdrive) เป็นการบิดเบือนน้ำเสียงด้วยการเพิ่มน้ำเสียงที่เกินจริง (Overtones) เพื่อสร้างสรรค์เสียงที่อบอุ่น (Warm), เสียงสกปรก (Dirty) หรือเสียงเถื่อน (Gritty) ซึ่ง

อาศัยหลักของการเร่งกำลังขับของเครื่องเล่นจนถูกตัดยอดสัญญาณ (Clipping) เหมือนกับการที่แอมป์หลอด (Tube amplifier) บีบสัญญาณไฟฟ้าของเครื่องเล่นที่ออกมาแรงเกินไปจนเกิดเสียงดีสทอร์ชันด้วยคุณสมบัติของหลอดสุญญากาศ (Vacuum tubes or Valves)

4. ฟิลเตอร์ (Filter) คือ การกรองความถี่เสียง เช่น อีควอไลเซอร์ (Equalizer) หรือตัวปรับความเท่าเทียม ซึ่งเป็นชุดของการกรองความถี่ที่จะทำการเพิ่มกำลัง (Boost) หรือตัดกำลัง (Cut) ช่วงความถี่ที่เจาะจง เครื่องเล่นสเตอริโอ (Stereos) มักจะมีอีควอไลเซอร์เพื่อปรับเสียงทุ้ม (Bass) และเสียงแหลม (Treble) ช่วงเสียงจะอาศัยความชำนาญในการใช้อีควอไลเซอร์เพื่อกำจัดเสียงที่ไม่ต้องการโดยทำให้เครื่องเล่น และเสียงร้องโดดเด่นขึ้น อีกทั้งยังยกระดับน้ำเสียงของเครื่องเล่นที่ต้องการนำเสนอ

5. ระดับเสียง (Pitch) และความถี่ (Frequency) คือ การแต่งความถี่ที่กำหนด เช่น คอรัส (Chorus) เป็นการล้อเลียนการกักรูปคลื่น (Phase locking) ซึ่งเป็นผลของเสียงจากการร้องประสานเสียง และวงดนตรีเครื่องสาย (String orchestras) ตามธรรมชาติ เมื่อเสียงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในสีสันของเสียง (Timbre) และระดับเสียง เอฟเฟคคอรัสจะแบ่งสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งจากเครื่องเล่นไปแอมพลิฟายเออร์โดยเพิ่มความถี่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (Slight frequency variations) หรือวิบราโต้ (Vibrato) สัญญาณส่วนที่เหลือจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในการปรับค่าการใช้งานเอฟเฟคคอรัสสามารถผลิตเสียงเว้งว้าง (Spacey) จึงเหมาะกับการใช้เพิ่มมิติบางอย่างให้กับเสียง นอกจากนั้นยังมีเอฟเฟคในกลุ่มนี้ที่นิยมใช้กันอีก เช่น Flanger, Phase shifter, Pitch shifter, Harmonizer, Ring modulator, Vibrato และ Harmonic Exciter เป็นต้น

6. การบิดสัญญาณกลับ และการยืดทางเสียง (Feedback/Sustain) ในการบิดสัญญาณเสียงกลับ (Audio feedback) จะเกิดผลเหมือนเราเอาไมโครโฟนไปรับเสียงของมันเองที่เกิดจากการขยายผ่านแอมพลิฟายเออร์ ทำให้เกิดสัญญาณขยายวน (Feedback loop) ซึ่งเป็นเทคนิคที่เริ่มต้นมาจากการเล่นกีตาร์ไฟฟ้าที่หันกีตาร์เข้าหาตู้แอมป์ให้เกิดเสียงหอนเพื่อลากหางเสียงให้ยาว ซึ่งควบคุมการหอน และน้ำเสียงได้ค่อนข้างลำบาก ในการพัฒนาหรือสร้างเอฟเฟคแบบต่าง ๆ นั้นควรจะศึกษาเรื่องคุณลักษณะของคลื่นเสียง และธรรมชาติของเสียง โดยเราจะต้องย้อนกลับไปวิเคราะห์โครงสร้างของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเอฟเฟคแต่ละประเภทว่าสามารถดัดแปลงเสียงกีตาร์ให้เกิดความหลากหลายขึ้นมาได้อย่างไร



รูปที่ 1.1 ภาพรวมการทำงานของโครงงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. วิเคราะห์วงจรของเอฟเฟคกีตาร์ว่าสามารถสร้างเสียงแต่ละประเภทได้อย่างไร
2. อธิบายหลักการทำงานของเอฟเฟคกีตาร์แต่ละประเภทได้ด้วยสมการคณิตศาสตร์
3. สร้างเอฟเฟคกีตาร์ด้วยวงจรอย่างง่ายที่สามารถให้บุคคลทั่วไปใช้งานได้

1.3 ขอบเขตความสามารถของโครงการ

1. ศึกษาคุณลักษณะของเสียงที่เกิดจากเอฟเฟคกีตาร์แต่ละประเภท
2. ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของวงจรเอฟเฟคกีตาร์ประเภทต่างๆ
3. สร้างเอฟเฟคกีตาร์ (Guitar Effect) โดยการดัดแปลงจากเอฟเฟคกีตาร์ที่ศึกษาเป็นตัวอย่าง
4. เสียงกีตาร์ที่ผ่านเอฟเฟคกีตาร์ (Guitar Effect) แต่ละแบบจะมีลักษณะของเสียงแตกต่างกันไป จากเสียงกีตาร์เดิมโดยออกแบบตัวปรับแต่งเสียงให้เหมาะสมกับการใช้งาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจถึงหลักการทำงานของเอฟเฟคกีตาร์แต่ละประเภทที่ทำการศึกษาได้
2. สามารถเข้าใจลักษณะของเสียงกีตาร์ที่สร้างจากวงจรเอฟเฟคกีตาร์แต่ละส่วน
3. สามารถใช้เอฟเฟคกีตาร์แต่ละประเภทที่สร้างขึ้น โดยเข้าใจการปรับค่าต่างๆของเอฟเฟคกีตาร์แต่ละตัว

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานในโครงการ

1. ฮาร์ดแวร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์	จำนวน	1	เครื่อง
- กีตาร์ไฟฟ้า	จำนวน	1	ตัว
- เอฟเฟคกีตาร์ ที่เป็นตัวทดลองเสียง	จำนวน	1	เครื่อง
- กีตาร์แอมป์ไฟเบอร์	จำนวน	1	ตัว
- ออสซิลโลสโคป	จำนวน	1	เครื่อง
- บอร์ดทดลอง	จำนวน	2	บอร์ด
- แหล่งจ่ายไฟ	จำนวน	1	เครื่อง
- เครื่องกำเนิดสัญญาณ	จำนวน	1	เครื่อง
- มัลติมิเตอร์	จำนวน	1	เครื่อง
- วงจรเอฟเฟคตัวอย่าง	จำนวน	2	วงจร

2. ซอฟต์แวร์

- โปรแกรม Pspice เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองออกแบบวงจรและจำลองรูปแบบสัญญาณ
- โปรแกรม MATLAB
- โปรแกรม Protius เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองวงจรไฟฟ้า

บทที่ 2

ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี

เสียงเป็นคลื่นกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ ในที่นี้ก็คือการสั่นของสายกีตาร์เมื่อสายกีตาร์สั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการอัดตัว และขยายตัวของคลื่นเสียง ต่อจากนั้นจะถูกส่งผ่านไปยังตัวกลาง เช่น อากาศไปยังหู เป็นต้น เสียงสามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็งได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ เสียงที่เราได้ยินนั้นมาจากการสั่นของวัตถุที่สะเทือนมายังหูของเรา การที่เราได้ยินเสียงดัง เบา สูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่แหล่งกำเนิดเสียงนั้นๆ ซึ่งแต่ละเสียงจะมีองค์ประกอบดังนี้

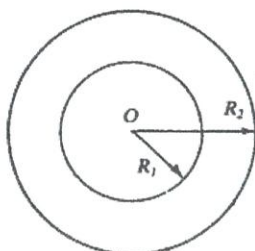
2.1.1 ระดับเสียง (Pitch)

ระดับเสียง หมายถึง เสียงสูง หรือเสียงต่ำ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบเสียงสูงต่ำได้จากการฟัง ถ้าระดับเสียงต่างกันมากๆ จะสามารถแยกเสียงได้ง่าย แต่ถ้าระดับเสียงใกล้เคียงกันก็จะแยกเสียงได้ยากมากขึ้น ระดับเสียงเกิดจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นสะเทือนเร็วกว่าทำให้เกิดเสียงระดับสูงกว่า ส่วนวัตถุที่สั่นสะเทือนช้ากว่าทำให้เกิดระดับเสียงต่ำกว่า กล่าวได้ว่า ความเร็วในการสั่นของวัตถุจะเป็นตัวกำหนดระดับเสียงนั่นเอง ความถี่ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับเสียงได้มาจากการวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz) ของโน้ตแต่ละตัว วัตถุที่สั่นสะเทือนมากกว่าจะมีความถี่มากกว่าทำให้เกิดเสียงสูงมากกว่า ถ้าความถี่มากขึ้นเท่าตัว ระดับเสียงจะสูงขึ้น 1 ช่วงคู่แปด หรือ 1 อ็อกเทฟ เช่น โน้ตที่มีความถี่ 220 เฮิรตซ์ จะมีระดับเสียงสูงกว่าโน้ตที่มีความถี่ 110 เฮิรตซ์ อยู่ 1 ช่วงคู่แปด และเช่นเดียวกันในกรณีที่มีความถี่น้อยลง 1 เท่าตัว ระดับเสียงจะต่ำลง 1 ช่วงคู่แปด เช่น โน้ตที่มีความถี่ 440 เฮิรตซ์ จะมีระดับเสียงต่ำกว่าโน้ตที่มีความถี่ 880 เฮิรตซ์ เป็นระยะ 1 ช่วงคู่แปด

2.1.2 ความเข้มเสียง (Intensity of a sound wave)

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุต้นกำเนิดเสียง ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงสั่นแรงจะทำให้มีแอมพลิจูด (Amplitude) มาก และถ้าสั่นเบาจะทำให้แอมพลิจูดน้อย เมื่อมีโมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบๆ แหล่งกำเนิดเสียงจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานเสียงไปสู่ผู้ฟัง ผู้ฟังจะได้ยินเสียงดังหรือเบาขึ้นกับพลังงานเสียงที่ถ่ายโอนผ่านโมเลกุลอากาศว่ามีพลังงานถ่ายโอนมามากหรือน้อย นอกจากนี้ยังมีเรื่องระยะทางในการถ่ายโอนพลังงานเสียง และกำลังเสียงซึ่งจะมีผลต่อการได้ยินเสียงดังหรือเบาอีกด้วย สรุปได้ว่า ความเข้มเสียง คือ กำลังเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวทรงกลม หรือเสียงดัง-เบา

นั่นเอง สิ่งที่มีผลต่อความเข้มเสียง คือ ความเข้มเสียงแปรผันตรงกับกำลังเสียงของแหล่งกำเนิด (กำลังเสียงแหล่งกำเนิดมากทำให้ความเข้มเสียงมาก) ความเข้มเสียงแปรผกผันกับขนาดพื้นที่ผิวทรงกลมรับเสียง (พื้นที่รับเสียงมากทำให้ความเข้มเสียงน้อย) ความเข้มเสียงแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง (ยิ่งไกลทำให้ความเข้มเสียงยิ่งลดลง)



รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดเสียงที่ให้คลื่นทรงกลมออกมารอบตัวด้วยกำลังคงที่

เราสามารถคำนวณหาความเข้มเสียงได้จากสมการ

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2} \text{ w/m}^2 \quad (\text{วัตต์ต่อตารางเมตร}) \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ กำลังของแหล่งกำเนิดเสียงใดๆ (จะมีค่าคงที่เสมอสำหรับตัวหนึ่ง)

A คือ พื้นที่ที่รับเสียง

R คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟัง

I คือ ความเข้มเสียงตรงตำแหน่งที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นระยะทาง R

จะเห็นว่าความเข้มเสียงแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง ดังนั้นจึงได้สมการ

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \frac{P_1}{P_2} \quad (2.2)$$

เนื่องจากความเข้มเสียงที่มนุษย์ได้ยินอยู่ในช่วงกว้างมาก เพื่อความสะดวกจึงจัดลำดับใหม่เป็นระดับความเข้มเสียง จึงเปรียบเทียบความเข้มเสียงกับความเข้ม $(I_0) 10^{-12}$ วัตต์/เมตร² และพิจารณาเป็นค่า \log

จากสมการ

$$\alpha = \log \frac{I}{I_0} \quad \text{dB (เดซิเบล)} \quad (2.3)$$

และ

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{dB (เดซิเบล)} \quad (2.4)$$

เมื่อ A เป็นตำแหน่งที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นระยะ R_1 ได้ยินเสียงที่มีระดับความเข้มเสียง I_1
และ B เป็นตำแหน่งที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นระยะ R_2 ได้ยินเสียงที่มีระดับความเข้มเสียง I_2

จะได้สมการว่า

$$\beta_1 - \beta_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_2} = 20 \log \frac{R_2}{R_1} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad \text{dB (เดซิเบล)} \quad (2.5)$$

โดยปกติมนุษย์สามารถรับฟังเสียงได้ในช่วงระดับความเข้มเสียงจาก 0–120 เดซิเบล

2.1.3 สีสันของเสียง (Timbre or Tone Color)

สีสันของเสียง หมายถึง คุณลักษณะของเสียงที่กำเนิดจากแหล่งเสียงที่แตกต่างกัน แหล่งกำเนิดเสียงดังกล่าว เป็นได้ทั้งที่เป็นเสียงร้องของมนุษย์และเครื่องดนตรีชนิดต่างๆ ความแตกต่างของเสียงร้องมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หรือระหว่างเพศเดียวกันล้วนแล้วแต่มีพื้นฐานของความแตกต่างทางด้านสรีระ เช่น หลอดเสียงและกล่องเสียง เป็นต้น ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องดนตรีนั้นความหลากหลายด้านสีสันของเสียงประกอบด้วยปัจจัยที่แตกต่างกันหลายประการ เช่น วิธีการบรรเลง วัสดุที่ใช้ทำเครื่องดนตรี รวมทั้งรูปทรง และขนาด เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลโดยตรงต่อสีสันของเสียงเครื่องดนตรี ทำให้เกิดคุณลักษณะของเสียงที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1. วิธีการบรรเลงโดยวิธีดีด สี ตี และเป่า เป็นปัจจัยที่ทำให้เครื่องดนตรีมีคุณลักษณะของเสียงที่ต่างกัน
2. วัสดุที่ใช้ทำเครื่องดนตรีของแต่ละวัฒนธรรมจะใช้วัสดุที่แตกต่างกันไปตามสภาพ แวดล้อมของสังคม และยุคสมัยนับเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดความแตกต่างในด้านสีสันของเสียง
3. เครื่องดนตรีที่มีขนาด และรูปทรงที่แตกต่างกัน จะเป็นปัจจัยที่ทำให้เสียงมีความแตกต่างในลักษณะที่มีความสัมพันธ์กัน



รูปที่ 2.2 เสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน เช่น กีตาร์ไฟฟ้า และไวโอลิน

2.1.4 คุณภาพเสียง (Tone Quality)

คุณภาพของเสียง หมายถึง คุณลักษณะของเสียงที่เราได้ยิน เมื่อเราฟังเพลงจากวงดนตรีวงหนึ่งเครื่องดนตรีทุกชนิดจะเล่นเพลงเดียวกัน แต่เราสามารถแยกได้ว่าเสียงที่ได้ยินมาจากดนตรีประเภทใด เช่น มาจากไวโอลิน หรือเปียโน เป็นต้น การที่เราสามารถแยกลักษณะของเสียงได้นั้นเพราะคลื่นเสียงทั้งสองมีคุณภาพของเสียงต่างกัน คุณภาพของเสียงนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนโอเวอร์โทน (Overtone) ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้นๆ และแสดงออกมาเด่นจึงไปเพราะต่างกัน นอกจากนี้คุณภาพของเสียงยังขึ้นกับความเข้มของเสียงอีกด้วย

2.1.5 ความยาวเสียง (Duration)

เสียงที่ใช้ประกอบเป็นเสียงดนตรีต้องมีความแตกต่างกันในลักษณะของความสั้นหรือความยาวของเสียง (Duration) ซึ่งมีผลต่ออารมณ์เพลงเช่นกัน หากเสียงสั้นๆ ก็มีผลต่อการเคลื่อนไหวของแนวทำนองทำให้มีการเคลื่อนไหวรวดเร็ว ดังนั้นเพลงที่มีอารมณ์ร่าเริงสนุกสนาน นอกจากจะใช้จังหวะค่อนข้างเร็วแล้วยังอาจจะส่งเสริมได้ด้วยการใช้โน้ตที่มีเสียงสั้นๆ ประกอบในแนวทำนองเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวรวดเร็ว มีชีวิตชีวายิ่งขึ้น สำหรับเสียงยาวๆ ย่อมเคลื่อนไหวช้ามาก

2.2 กีตาร์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกัน

2.2.1 กีตาร์ไฟฟ้า

คือ กีตาร์ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า ปิคอัพ (Pick Up) ทำหน้าที่แปลงการสั่นของสายกีตาร์ให้กลายเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งผ่านสายสัญญาณ (Cable) ไปยังเครื่องขยายสัญญาณ

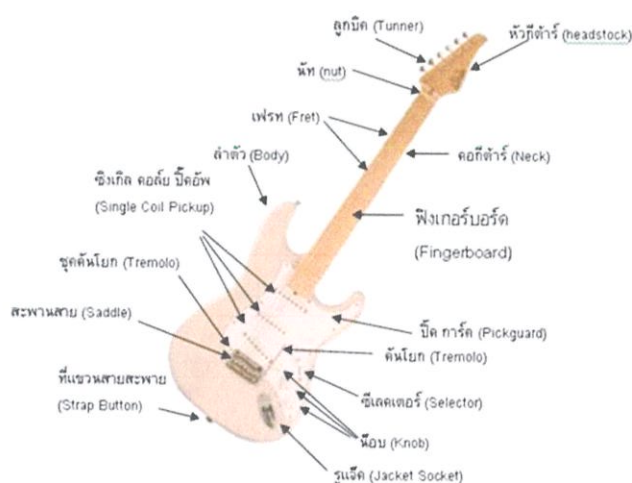
และออกสู่ลำโพงในที่สุด กีตาร์ไฟฟ้ามีความแตกต่างจากกีตาร์โปร่ง (Acoustic guitar) และกีตาร์โปร่งไฟฟ้า (Acoustic electric guitar) ตรงที่ลำตัวของกีตาร์ไฟฟ้าโดยส่วนมากจะไม่มีโพรงเสียง หรืออาจเรียกว่า ลำตัวตัน (Solid Body) ซึ่งกีตาร์ไฟฟ้าอาจรวมถึงกีตาร์ที่โพรงเสียงบางประเภทที่มีการติดตั้งpick off มักนิยมใช้เล่นในแนวดนตรีประเภทแจ๊ส หรือบลูส์



รูปที่ 2.3 กีตาร์ไฟฟ้า

ปัจจุบันนิยมนำสัญญาณเสียงที่ได้จากกีตาร์ไฟฟ้ามาตัดแปลงผ่านอุปกรณ์ตัดแปลงสัญญาณ หรือเอฟเฟกต์กีตาร์ก่อนเข้าสู่เครื่องขยายสัญญาณ เพื่อให้ได้ลักษณะเสียงที่มีความแตกต่างหลากหลายมากขึ้น จากกีตาร์ตัวเดียว กีตาร์ไฟฟ้าเป็นที่นิยมแพร่หลาย และใช้เล่นในเกือบทุกประเภทดนตรี เนื่องจากความสะดวกในการใช้งานและการปรับแต่งเสียง กีตาร์ไฟฟ้าผลิตออกมาในหลายระดับคุณภาพ และราคา บริษัทที่ผลิตกีตาร์ไฟฟ้ามีหลายบริษัท เช่น Gibson, Fender, PRS, Framus, Ibanez เป็นต้น

2.2.1.1 ส่วนประกอบของกีตาร์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของกีตาร์ไฟฟ้า

1. ส่วนหัวกีตาร์ (PegHead) ประกอบด้วย ลูกบิด (Tuner) ซึ่งมีทั้งแบบล็อกได้ และล็อกไม่ได้
2. ส่วนคอกีตาร์ (Neck) ประกอบด้วย เฟรท (Fret) คือ ส่วนที่บ่งบอกช่องของคอกีตาร์, ฟิงเกอร์บอร์ด (Fingerboard) เป็นส่วนที่มีไว้เพื่อฝังเฟรท และลายบนคอกีตาร์ (Inlay) ส่วนล่างของฟิงเกอร์บอร์ด บอร์ดจะมีเหล็กตามคอ (Trussrod) เอาไว้ เพื่อปรับความโค้งของคอให้พอดีกับแรงดึงสาย และคอบางรุ่นจะมีขอบ (Binding) ซึ่งขอบมีผลต่อกีตาร์เล็กน้อย คือ ทำให้ขอบของคอขึ้นและเพิ่มความสวยงาม
3. ปิคอัพ คือ ตัวรับเสียงจากสายกีตาร์ไฟฟ้า ทำงานโดยการเหนี่ยวนำของสายกีตาร์กับเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อสายกีตาร์แกว่งไปมาจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก หรือฟลักซ์แม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลง และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นคลื่นเสียงจากขดลวดที่พันอยู่บนแม่เหล็ก ปิคอัพมี 2 แบบคือ แบบคอยล์เดี่ยว (Single-coil) และแบบคอยล์คู่ (Hum bucker)
4. สะพานสาย (Saddle) หมายถึง ที่รองสายกีตาร์
5. สวิตช์สำหรับเลือกปิคอัพ (Selector switch)
6. ลำตัว (Body) ปัจจุบันมีหลายทรงมาก แต่ทรงที่นิยมที่สุด คือ ทรง Lespaul และ Stratocaster ทรงของกีตาร์ส่งผลให้เสียงมีลักษณะหนาและแหลม โดยสิ่งที่ทำให้เสียงแตกต่างกัน คือ ไม้, รูปร่าง, และวิธีการประกอบลำตัว ส่วนปิคการ์ด (Pickguard) คือ แผ่นป้องกันรอยขีดข่วนต่างๆจากการใช้ปิคไปโดนตัวกีตาร์นั่นเอง นอกจากนี้กีตาร์บางตัวมีการเพิ่มความสวยงามด้วยการเดินขอบ
7. ชุดคันโยก (Tremolo bar) คือ ส่วนที่สามารถโยกสายกีตาร์ไฟฟ้าได้ ปัจจุบันนิยมใช้ฟลอยโรสหรือคันโยกอิสระ ในการโยกขึ้น-ลงอย่างอิสระ ทำให้นักกีตาร์สามารถสร้างสรรค์สำเนียงในแบบใหม่ๆ ได้มากมายสำหรับคันโยกแบบนี้ก็มีอุปกรณ์อีกตัวเพิ่มมา คือ นัทแบบล็อกสายได้ ซึ่งนัทจะช่วยป้องกันสายคลายตัว เมื่อใช้คันโยกจึงทำให้เสียงไม่เพี้ยน

2.2.2 กลุ่มเอฟเฟค

เอฟเฟค คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ดัดแปลงสิ่งที่เกิดจากเครื่องดนตรี หรือแหล่งกำเนิดเสียงอื่นๆ เอฟเฟคบางชนิดเหมาะกับการแต่งสีสันทันให้กับเสียง ขณะที่ชนิดอื่นเปลี่ยนแปลงเสียงเพื่อความเร้าใจ เอฟเฟคมักจะใช้ระหว่างการแสดงสด โดยใช้กับกีตาร์ไฟฟ้า, คีย์บอร์ด (Keyboard), เบส (Bass) หรือการบันทึกเสียงในสตูดิโอ นอกจากนี้เอฟเฟคยังสามารถใช้กับเครื่องดนตรีอะคูสติค (Acoustic Instruments) และกลองชุด ตัวอย่างเอฟเฟคที่นิยมใช้ เช่น แป้นวาว (Wah-Wah Pedals) กล้องเสียงแตก (Fuzzboxes) และกลุ่มรีเวิร์บ (Reverb Units) เป็นต้น

กลุ่มเอฟเฟคที่แพร่หลายมากที่สุด คือ แบบชุดเหยียบ (Stompbox) และแบบใส่แร็ค (Rackmount) เอฟเฟคแบบบิลท์อิน (Built-in) จะติดตั้งอยู่ในตู้แอมป์หรือมิกเซอร์ เพื่อความสะดวกและประหยัด ในปัจจุบันการแบ่งประเภท และการเรียกชื่อชนิดของเอฟเฟคอาจมีความเห็นไม่สอดคล้องกันในแต่ละค่ายของผู้ผลิตคิดค้นอุปกรณ์เหล่านี้

2.2.3 แอมพลิฟายเออร์

แอมพลิฟายเออร์ หรือแอมป์ (Amp.) คือ อุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนหรือเพิ่มความกว้างของคลื่นเสียง เป็นการเพิ่มความดังของสัญญาณให้มากขึ้น ความสัมพันธ์ของภาคสัญญาณขาเข้า (Input signal) ไปยังสัญญาณขาออก (Output signal) ของแอมป์ จึงเป็นหน้าที่ในการจัดการความถี่ขาเข้า (Input frequency) ซึ่งก็คือ หน้าที่ในการเปลี่ยนผ่านของแอมป์ ส่วนความกว้าง หรืออัตราขยายของหน้าที่นี้ เรียกว่า เกน (Gain) โดยทั่วไปอาจหมายถึง เครื่องขยายอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic amplifier) ที่สัญญาณขาเข้ามักจะเป็นแรงดันหรือกระแส (Voltage or Current) ในการใช้งานด้านเสียง แอมป์จะเป็นตัวขับลำโพงที่ใช้ในระบบขยายพลังเสียงเพื่อทำให้เสียงพูด หรือเล่นดนตรีที่อัดไว้ดังขึ้น

2.2.3.1 ชนิดของแอมพลิฟายเออร์

1. ตามแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ได้ออกแบบให้ขยาย เช่น แอมป์กีตาร์สำหรับกีตาร์ไฟฟ้า
2. ตามอุปกรณ์ที่ใช้ขับ เช่น แอมป์หูฟังตามย่านความถี่ของสัญญาณ เช่น Audio, IF, RF และ VHF
3. ตามการป้อนกลับสัญญาณ คือ Inverting amplifiers และ Non-inverting amplifiers
4. ตามชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคขยาย เช่น แอมป์หลอด, แอมป์เฟ็ท

2.2.3.2 เกน

ค่าเกนของแอมป์ คือ อัตราส่วน (Ratio) ของกำลัง หรือความกว้างสัญญาณขาออกต่อขาเข้า มักใช้ค่าเดซิเบลเป็นหน่วยวัด ซึ่งค่าเดซิเบลเป็นการวัดแบบลอการิทึม (Logarithmically) โดยเกี่ยวข้องกับอัตรากำลัง (Power ratio) ในอัตราขยายของเครื่องขยายเสียงส่วนใหญ่ถูกกำหนดด้วยแรงดันไฟฟ้า ซึ่งค่าความต้านทานขาเข้า (Input impedance) ของแอมป์มักถูกกำหนดให้สูงกว่าความต้านทานของแหล่งสัญญาณเข้า (Source impedance) และความต้านทานภาระ (Load impedance) ต้องสูงกว่าความต้านทานขาออกของแอมป์

2.2.3.3 ช่วงความถี่แบนด์วิดท์

ช่วงความถี่แบนด์วิดท์ คือ ช่วงของความถี่สำหรับแอมป์ที่ทำให้เกิดความพึงพอใจในสมรรถนะ ซึ่งความพึงพอใจอาจแตกต่างกันไปตามการประยุกต์ใช้งานอย่างไรก็ตาม มาตรฐานโดยทั่วไป คือ จุดครึ่งกำลัง (Half power points) หมายถึง ความถี่ขณะที่กำลังขยายลดลงจากค่าสูงสุดครึ่งหนึ่งบนการผลิตคู่กับส่วนโค้งของความถี่ (Frequency Curve) ดังนั้นจึงสามารถกำหนดเป็นค่าความแตกต่างระหว่างด้านบนและด้านล่างของจุดครึ่งกำลัง หรืออาจรู้จักกันว่าเป็นช่วงความถี่ -3 เดซิเบล

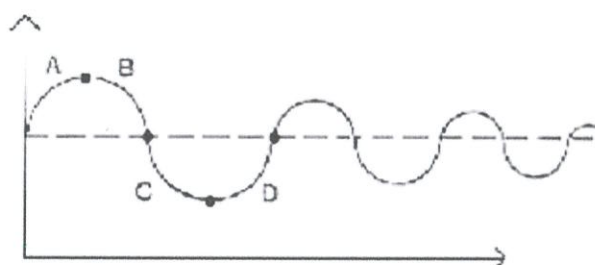
2.2.3.4 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ หรือช่วงความถี่ อาจเรียกว่า การตอบสนองความถี่ (Frequency responses) ในบางครั้งอาจมีการอ้างถึงความหนาทนทานในการตอบสนองอื่นๆ เช่น -1 เดซิเบล,

-6 เดซิเบล หรือ บวกลบ (Plus or minus) 1 เดซิเบล เป็นต้น ซึ่งเป็นการกะคร่าวๆจากการที่แต่ละคนสามารถตรวจพบได้ต่างกัน หรือได้ยินไม่เท่ากันนั่นเอง

2.3 พื้นฐานความรู้เกี่ยวกับเสียงกีตาร์

เสียงนั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อโมเลกุลของอากาศถูกรบกวนด้วยระบบการเคลื่อนไหวบางอย่าง ซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เช่น สายกีตาร์ถูกดีดโดยใช้ปิ๊ก หรือนิ้วดีด ทำให้เส้นเสียงสั่น หรือการใช้ลมผ่านที่เส้นเสียงทำให้เกิดเสียง ซึ่งทั้งสองลักษณะจะเกิดเสียงได้ต่อเมื่อมีการสั่นสะเทือนด้วยอัตราที่เร็ว และแรงพอจนทำให้เกิดเสียงให้เราได้ยิน แต่ถ้ามันไม่เร็วและแรงพอเราจะไม่ได้ยินเสียงเลย ถ้าเกิดการสั่นสะเทือนนั้นอย่างน้อย 20 ครั้งต่อวินาที และโมเลกุลของอากาศมีการเคลื่อนไหวพอ เราจะได้ยินเสียงเพื่อความเข้าใจกระบวนการนี้ให้ดีขึ้น เราจะศึกษาการสั่นของสายกีตาร์ สายกีตาร์ทั้งสายจะเคลื่อนตัวกลับไปกลับมาในอัตราที่แน่นอน ซึ่งอัตรานี้เรียกว่า ความถี่ของการสั่นสะเทือน (Frequency of vibration) เพราะว่าการเคลื่อนไหวกลับไปกลับมาเรียกว่า รอบ (Cycle) ซึ่งเราใช้วัดความถี่ มีหน่วยวัดคือ รอบต่อวินาที (Cycles Per Second) หรือมีตัวย่อว่า CPS การวัดแบบนี้เรียกว่า เฮิรตซ์ บ่อยครั้งความถี่ของจุดกำเนิดเสียงสั่นเร็วมากเป็นพันรอบต่อวินาที เราเรียกว่า กิโลเฮิรตซ์ (Kilohertz) ระยะของการเคลื่อนตัวของสายกีตาร์เรียกว่า การเคลื่อนตัว (Displacement) ขึ้นอยู่กับลักษณะการดีดสาย ถ้าการดีดทำให้มีการเคลื่อนตัวที่กว้างเสียงที่ได้จะดังกว่าการดีดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวแคบๆ และการเคลื่อนตัวของสายกีตาร์จะเปลี่ยนไปขณะที่สายกีตาร์สั่น



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนตัว (Displacement)

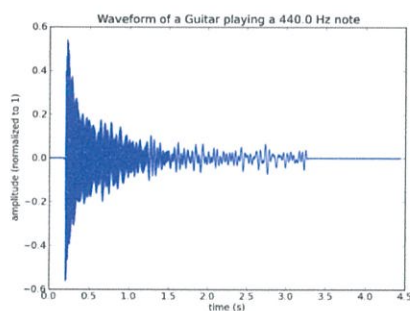
จากรูปที่ 2.5 จุด A แทนตำแหน่งที่สายกีตาร์เคลื่อนตัวกลับไปหลังจากใช้นิ้วดีดสาย จุด B แสดงการเคลื่อนตัวกลับมาที่จุดหยุดนิ่งของสาย จุด C แสดงตำแหน่งที่สายเคลื่อนตัวกลับมา และจุด D แสดงการเคลื่อนตัวของสายกลับมาที่จุดหยุดนิ่งของสายอีกครั้ง ซึ่งลักษณะการเกิดในรูปแบบนี้จะเกิดซ้ำๆ ต่อเนื่องจนกว่าความแรงของโมเลกุลในอากาศค่อยๆ ลดลงจนทำให้สายกีตาร์หยุดนิ่ง

ในขณะที่สายกีตาร์สั่นทำให้โมเลกุลของอากาศรอบๆสายเกิดการสั่นด้วย ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะถูกผ่านไปใอากาศทำให้เกิดเป็นลักษณะคลื่นที่เราเรียกว่า คลื่นเสียง (Sound wave) เมื่อการสั่นสะเทือนเข้ามาที่หูแสดงว่าแก้วหูสั่น และได้ยินเสียงในลักษณะเดียวกัน ถ้าการสั่นของอากาศกระทบกับไมโครโฟนจะทำให้ไมโครโฟนสั่น และส่งสัญญาณไฟฟ้าออกมาเป็นเสียง

การเคลื่อนไหวกลับไปมาของสายกีตาร์นั้นเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ รวมทั้งรูปแบบของการสร้างเสียง ดังนั้นเครื่องดนตรีประเภทสายทั้งหมด จะมีลักษณะการเกิดเสียงเหมือนกัน ในความเป็นจริงการสั่นสะเทือนนั้นไม่ได้ที่ความถี่เท่ากันตลอดทั้งสายของกีตาร์ แต่จะเกิดที่ $1/2, 1/3, 1/4, 1/5 \dots$ และต่อไป ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นจะมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดเสียงที่เราจำกันในลักษณะของโอเวอร์โทน ซึ่งความถี่ที่เกิดทีหลังจะมากกว่าความถี่ตอนเริ่มต้นสั่นสะเทือน (Fundamental frequency) ซึ่งมันสั่นไม่แรงพอ จึงทำให้หูของเราไม่ได้ยินย่านความถี่ของความถี่ใดความถี่หนึ่งโดยเฉพาะ ถ้าหูของเราได้ยินแต่ความถี่ชัดเจนคงวุ่นวาย เพราะแต่ละครั้งที่สายกีตาร์สั่นเดี่ยวถูกดีดเราจะได้ยินเสียงตัวโน้ตหลายๆ ตัว

2.3.1 คลื่นเสียง (Waveform)

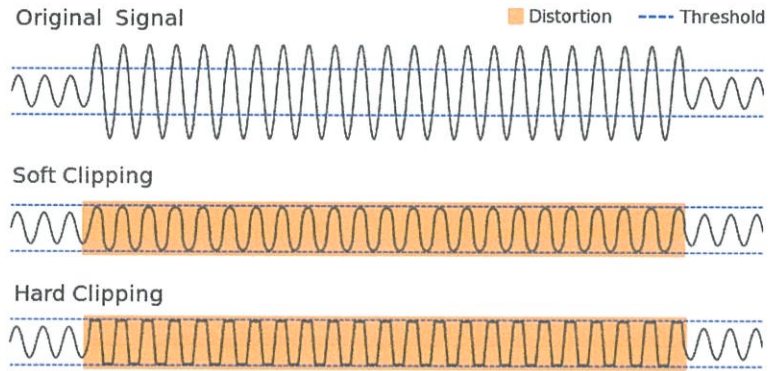
คลื่นเสียงสามารถแสดงออกในหลายๆ ลักษณะที่แตกต่างกัน อาจเป็นในรูปแบบของคณิตศาสตร์ ลำดับของตัวเลข หรือเป็นลักษณะรูปภาพฟิสิกของคลื่นเสียง (Waveform) ซึ่งจะแสดงขนาดหรือแอมพลิจูด (Amplitude) หรือความดังของการสั่นสะเทือนตามระยะเวลา



รูปที่ 2.6 รูปกราฟฟิสิกของคลื่นเสียง

2.4 กระบวนการแบบไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับคลื่นเสียงแบบดิสทอร์ชัน

เมื่อพูดถึงดิสทอร์ชันในเสียงดนตรี จะพูดถึงสัญญาณที่เป็นสัญญาณไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่เกิดดิสทอร์ชันส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการตัดยอดคลื่นของสัญญาณ ซึ่งการตัดยอดคลื่นของสัญญาณเป็นกระบวนการแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ทำให้ความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยความถี่อาจจะเป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณก็ได้



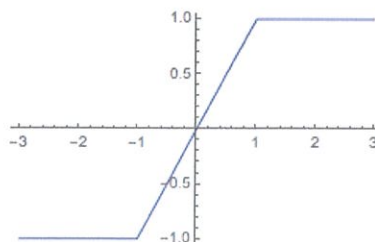
รูปที่ 2.7 การตัดยอดคลื่นของสัญญาณ

การการตัดยอดคลื่นของสัญญาณเป็นการทำให้รูปแบบสัญญาณมีการบิดเบือนไปจากเดิม เกิดขึ้นเมื่อเครื่องขยายสัญญาณมีการขยายสัญญาณที่มีกำลังเกินกว่าที่แหล่งจ่ายไฟของเครื่องสร้างได้ สัญญาณจะถูกขยายจนถึงค่าความจุสูงสุดของแต่ละเครื่องขยาย จนไม่สามารถขยายต่อไปได้อีก สัญญาณจะถูกตัดยอดคลื่นที่ค่าความจุสูงสุดของเครื่องขยาย เป็นผลให้จากสัญญาณไซน์บิดเบือนไปเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมได้ การตัดยอดคลื่นของสัญญาณ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.4.1 การตัดยอดสัญญาณแบบ Hard clipping

Hard clipping เป็นการตัดยอดของสัญญาณอย่างฉับพลัน โดยผลลัพธ์ที่ได้เป็นการเพิ่มแอมพลิจูดให้กับความถี่ฮาร์โมนิกอันดับคี่ ซึ่งเสียงที่มีการบิดเบือนอย่างรุนแรง โดยเขียนในรูปสมการได้ อย่างง่ายๆ คือ

$$f(x) = \begin{cases} -1 & , x \leq -1 \\ x & , -1 < x < 1 \\ 1 & , x \geq 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

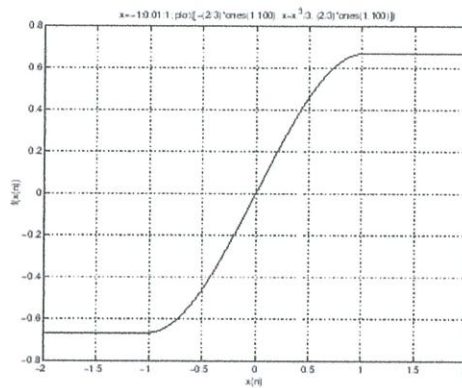


รูปที่ 2.8 กราฟแสดง Hard clipping

2.4.2 การตัดยอดสัญญาณแบบ Soft clipping

Soft clipping เป็นการตัดยอดของสัญญาณที่มีลักษณะคล้ายกับ Hard clipping แต่จะค่อยๆตัดยอดของสัญญาณ และเน้นความถี่ฮาร์มอนิกอันดับคี่ให้มีกำลังมากขึ้น โดยระดับในการตัดยอดของสัญญาณ สามารถเขียนในสมการไม่เป็นเชิงเส้นได้หลายรูปแบบ ดังตัวอย่าง

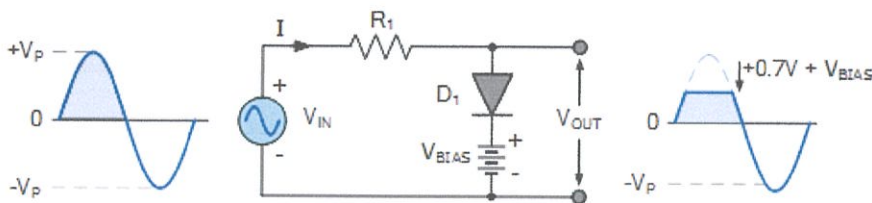
$$f(x) = \begin{cases} -\frac{2}{3}, & x \leq -1 \\ x - \frac{x^3}{3}, & -1 \leq x \leq 1 \\ \frac{2}{3}, & x \geq 1 \end{cases} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.9 กราฟแสดง Soft clipping

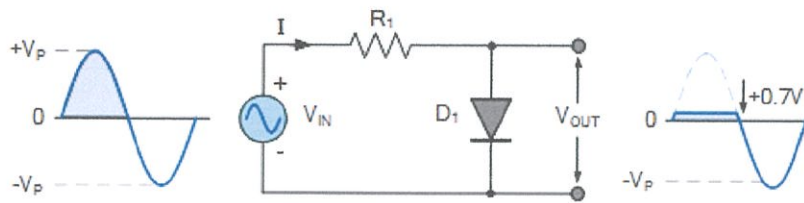
2.4.3 ตัวอย่างการตัดยอดสัญญาณแบบ Soft clipping

การตัดยอดของสัญญาณด้วยวงจร Clipping diode เพื่อให้ได้แรงดันของสัญญาณที่แตกต่างกัน จะมีการเพิ่มแรงดันไบอัสให้กับไดโอดในด้านคาโทดก่อนที่ไดโอดจะเริ่มทำงาน โดยแรงดันที่เพิ่มนั้นจะต้องมีค่ามากกว่าแหล่งจ่ายแรงดันให้ไดโอด ($V_{bias} + 0.7$ โวลต์) จะเป็นการตัดยอดของสัญญาณในด้านบวก ดังรูปที่ 2.10



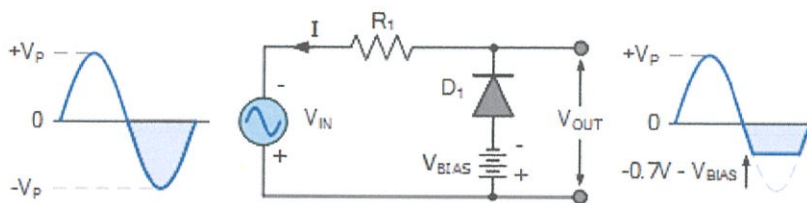
รูปที่ 2.10 วงจรการตัดยอดสัญญาณแบบ Positive Bias Diode Clipping

แตกต่างจากการไม่ป้อนแรงดันไบอัสให้กับไดโอด ดังรูปที่ 2.11



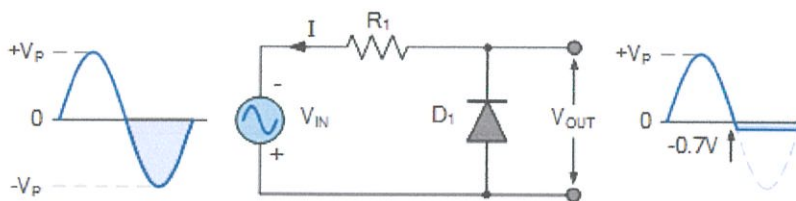
รูปที่ 2.11 วงจรการตัดยอดสัญญาณแบบ Positive Diode Clipping Circuits

ในทางกลับกันถ้ากลับด้านไดโอด และแหล่งจ่ายแรงดันให้ไดโอด ไดโอดจะตัดยอดของสัญญาณในด้านลบ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรการตัดยอดสัญญาณแบบ Negative Bias Diode Clipping

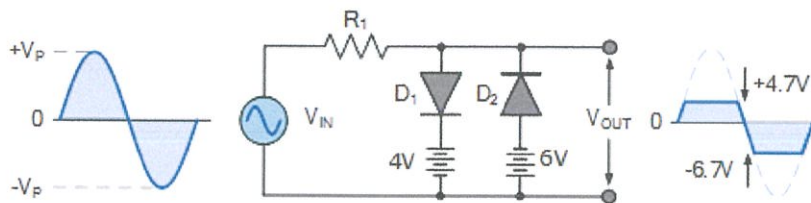
หากไม่ป้อนแรงดันไบอัสให้กับไดโอด ดังรูปที่ 2.13 ไดโอดจะรักษาแรงดันคร่อมตัวเองให้ได้ 0.7 โวลต์อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้สัญญาณไซน์ที่เข้ามาถูกกดแอมพลิจูดลงเท่ากับค่านี้



รูปที่ 2.13 วงจรการตัดยอดสัญญาณแบบ Negative Diode Clipping Circuits

จะเห็นว่าการควบคุมแรงดันที่ไดโอดจำกัดขนาดของสัญญาณ (Diode limiting level) สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไบอัสให้กับไดโอด การใช้ไดโอด 2 ตัวจะเป็นการตัดยอดสัญญาณในทางด้านบวกและลบได้พร้อมกัน โดยแรงดันที่ไดโอดจะเริ่มตัดยอดสัญญาณสามารถกำหนดค่าได้ด้วย

แรงดันไบอัสที่ป้อนให้กับไดโอดซึ่งถ้าป้อนแรงดันไม่เท่ากันลักษณะการตัดยอดสัญญาณทางบวกและลบก็จะไม่เหมือนกันอีกด้วย ดังรูปที่ 2.14



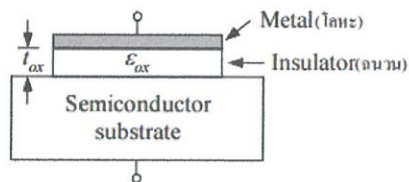
รูปที่ 2.14 วงจรการตัดยอดสัญญาณแบบ Diode Clipping of Different Bias Levels

2.5 ทฤษฎีมอสเฟต

มอสเฟต หรือ Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor เป็นทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นมาในช่วงทศวรรษ 1970s ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ในยุคที่สองหลังจากที่ได้มีการสร้างทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ (BJT) มาก่อนหน้านี้แล้ว มอสเฟตเป็นทรานซิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ที่สามารถสร้างได้ง่ายกว่ามาก และยังสามารถลดขนาดให้เล็กลงได้ จึงทำให้สามารถสร้างเป็นวงจรรวมได้ นอกจากนี้การสร้างวงจรโดยใช้ออสเฟต ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานหรือไดโอดช่วยในการไบอัสวงจรมีเหมือนทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ เนื่องจากมอสเฟตสามารถทำงานได้โดยใช้แรงดันไฟฟ้าในการไบอัส ซึ่งต่างจากทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ที่ต้องใช้กระแสทำให้วงจรมอสเฟตมีขนาดเล็ก

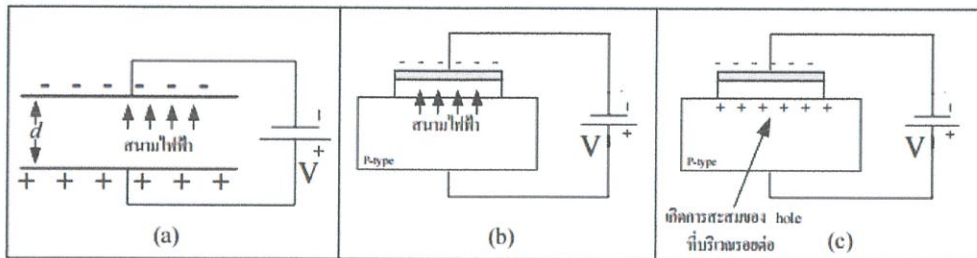
2.5.1 โครงสร้างของมอสเฟต (MOS structure)

หัวใจสำคัญของมอสเฟต คือ การสร้างตัวเก็บประจุจากสารกึ่งตัวนำที่เป็นออกไซด์ของโลหะ แสดงดังรูปที่ 2.15 โลหะที่กล่าวถึงนี้อาจเป็นอะลูมิเนียม หรือสารบางอย่างที่มีความนำไฟฟ้าสูง เช่น Polycrystalline silicon ก็ได้ โดย t_{ox} เป็นค่าความหนาของออกไซด์โลหะ และ ϵ_{ox} เป็นค่าคงที่ของโลหะออกไซด์ (Oxide permittivity)



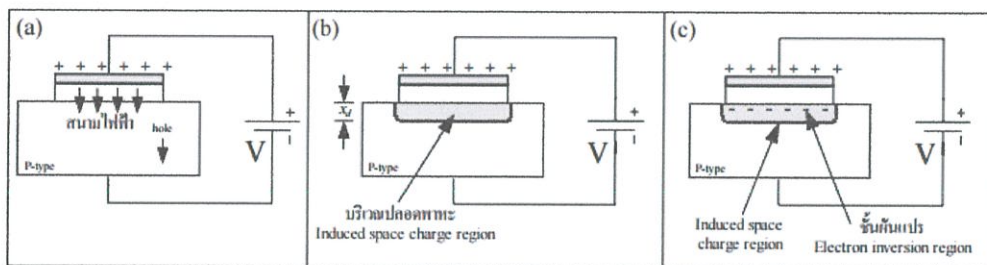
รูปที่ 2.15 โครงสร้างพื้นฐานของมอสเฟต

จากรูปที่ 2.15 Semiconductor substrate คือ ฐานรองของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งอาจจะเป็นสาร N หรือ P ก็ได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง และจากรูปก็สามารถสร้างให้เป็นตัวเก็บประจุได้



รูปที่ 2.16 (a) การเกิดสนามไฟฟ้าบนแผ่นตัวเก็บประจุแบบขนาน
 (b) การเกิดสนามไฟฟ้าบน MOS capacitor
 (c) การเกิดสะสมประจุบวก หรือโฮลใน MOS capacitor

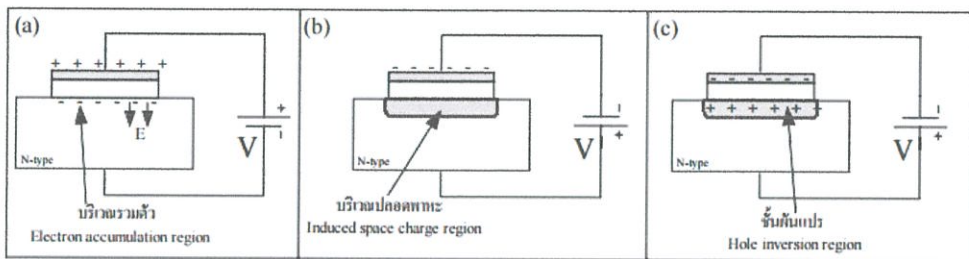
จากรูปที่ 2.16(a) เราเรียกชื่อขั้วต่อทางด้านบนที่ติดกับโลหะว่า เกต (Gate) รูปที่ 2.16(b) เป็นการแสดงการเกิดสนามไฟฟ้าที่ MOS capacitor ซึ่งเมื่อได้รับศักดาลบที่ขั้วเกตจะทำให้มีอิเล็กตรอนสะสมอยู่ในบริเวณโลหะด้านบน และทำให้ประจุบวก หรือโฮลถูกผลักมาอยู่ที่ฐานรอง MOS capacitor แสดงดังรูปที่ 2.16(c) ซึ่งจะเกิดการสะสมโฮลที่ฐานรอง และส่วนบริเวณตรงกลาง หรือออกไซด์จะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น



รูปที่ 2.17 (a) ผลของการไบอัสศักดาบวกที่ขั้วเกตและทิศทางของสนามไฟฟ้า
 (b) การเกิดย่านปลดปล่อยประจุในตัว MOS capacitor เมื่อได้รับแรงดันไบอัสบวกค่าหนึ่ง
 (c) การเกิดย่านปลดปล่อยประจุและ Electron inversion layer ในตัว MOS capacitor

จากรูปที่ 2.17 เป็นภาพการเกิดสนามไฟฟ้าภายในตัวเก็บประจุแบบขนานเหมือนดังรูปที่ 2.16 แต่ให้แผ่นด้านบนได้รับศักดาบวก ส่วนแผ่นด้านล่างได้รับศักดาลบ (ฐานรองเป็นสารชนิด P) รูปที่ 2.17(a) แสดงให้เห็นว่า ถ้าขั้วเกตได้รับศักดาบวกจะทำให้ประจุบวกไปสะสมอยู่ที่แผ่นโลหะด้านบน

และเกิดสนามไฟฟ้าในทิศตรงกันข้ามกับรูปที่ 2.16 แต่ในกรณีนี้ถ้าสนามไฟฟ้าสามารถแพร่กระจายเข้าไปในเนื้อสารกึ่งตัวนำได้จะทำให้โฮลที่อยู่ในสารชนิด P ถูกผลักให้ออกไปจากสาร P ในบริเวณรอยต่อระหว่างออกไซด์ และฐานรองก็จะเกิดยานพลอตประจุบวกขึ้น ดังรูปที่ 2.17(b) ทำให้มีแต่ประจุลบแทนที่ในบริเวณนั้น หากเราเพิ่มความแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นขนาดของสนามไฟฟ้าก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย ส่วนอิเล็กตรอนที่เป็นพาหะสวนน้อยของสาร P จะสะสมอยู่ที่รอยต่อออกไซด์มากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.17(c) ในบริเวณที่มีอิเล็กตรอนมาสะสมอยู่นี้ เราเรียกว่า ชั้นผืนแปร (Electron inversion layer) ซึ่งปริมาณของชั้นผืนแปรนี้ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันว่ามีค่ามากเพียงใด



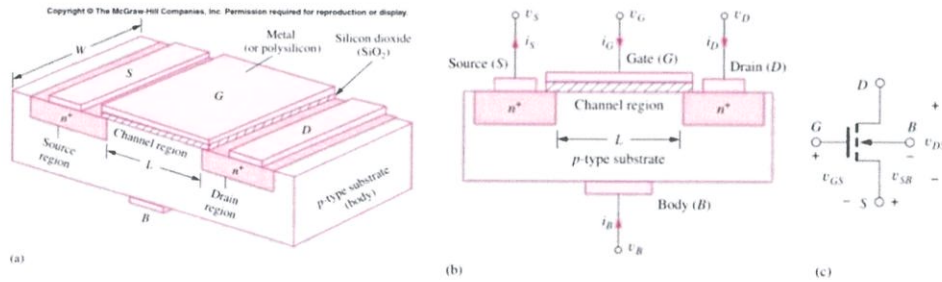
รูปที่ 2.18 (a) ผลของการไบอัสศักดาบวกที่ขั้วเกตของ MOS capacitor ที่ฐานรองเป็นสารชนิด N
 (b) การเกิดยานพลอตประจุในตัว MOS capacitor เมื่อได้รับแรงดันไบอัสลบค่าหนึ่ง
 (c) การเกิดยานพลอตประจุใน และ Hole inversion layer ในตัว MOS capacitor

ถ้าเปลี่ยนฐานรองเป็นสารชนิด N จะทำให้มีลักษณะคล้ายกัน แสดงดังรูปที่ 2.18 โดยในรูปที่ 2.18(a) เป็นโครงสร้างของ MOS capacitor ที่มีฐานรองเป็นสารชนิด N ที่ถูกไบอัสด้วยศักดาบวกที่ขั้วเกตก็ทำให้เกิดประจุบวก รูปที่ 2.18(b) เป็นการไบอัสศักดาลบที่ขั้วเกต ซึ่งสนามไฟฟ้าก็จะผลักให้ประจุลบอยู่ในสารชนิด N ถูกผลักให้ออกไปจากสาร N ในบริเวณรอยต่อระหว่างออกไซด์ และฐานรองก็จะเกิดยานพลอตประจุลบขึ้น ดังรูปที่ 2.18(b) ทำให้มีแต่ประจุบวกแทนในบริเวณนั้น เรียกบริเวณนั้นว่า Hole Inversion Layer ซึ่งปริมาณของยาน Inversion นี้ขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน

จากรูปที่ 2.17 และ 2.18 ถาต้องการให้ MOS capacitor เกิดยานพลอตประจุขึ้น ไม่ว่าจะเป็โฮล หรืออิเล็กตรอนก็ตาม ต้องมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกมาทำให้เกิดสนามไฟฟ้าก่อนเสมอ เราเรียกลักษณะการทำงานแบบนี้ว่า โหมดเพิ่มขึ้น (Enhancement mode)

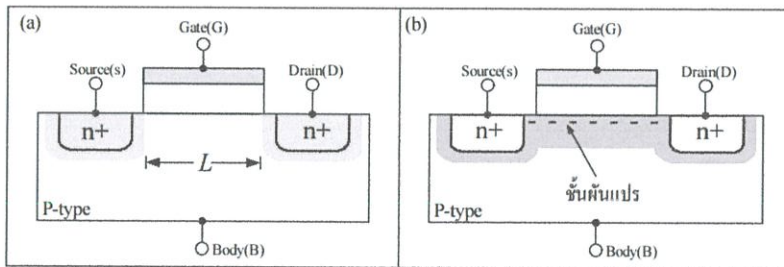
2.5.2 มอสเฟตชนิด เอ็น-แชนแนล (N-Channel Enhancement mode MOSFET)

จากหลักการของ MOS capacitor เราสามารถสร้างทรานซิสเตอร์มอสเฟต ได้ดังรูปที่



รูปที่ 2.19 (a) โครงสร้างของมอสเฟต เอ็น-แชนแนล
 (b) ภาคตัดขวางของมอสเฟต เอ็น-แชนแนล
 (c) สัญลักษณ์ของมอสเฟต เอ็น-แชนแนล

จากหลักการของ MOS capacitor เราสามารถสร้างทรานซิสเตอร์มอสเฟต ได้ดังรูปที่ 2.19 โดยในรูปที่ 2.19(a) แสดงภาคตัดขวางของทรานซิสเตอร์มอสเฟต จะเห็นว่าในส่วนของขาเกต, ออกไซด์ และฐานรอง ยังมีลักษณะเหมือนกับ MOS capacitor แต่ในรูปนี้มีส่วนที่เพิ่มเติมมาอีกคือ ย่านของสาร N ทางด้านซ้ายและขวาของฐานรอง ซึ่งเรียกว่า ซอร์ส (Source) และเดรน (Drain) และบริเวณตรงกลางระหว่างซอร์สและเดรน เราเรียกว่า Channel Region เป็นส่วนที่อิเล็กตรอนและโฮลสามารถไหลผ่านได้โดยจะมีขนาดความยาวเท่ากับ L และความกว้างเท่ากับ W ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบทรานซิสเตอร์ แต่ปัจจุบันจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.1-1 ไมโครเมตร ส่วนค่า t_{ox} ก็มีค่าอยู่ที่ประมาณ 40 นาโนเมตร



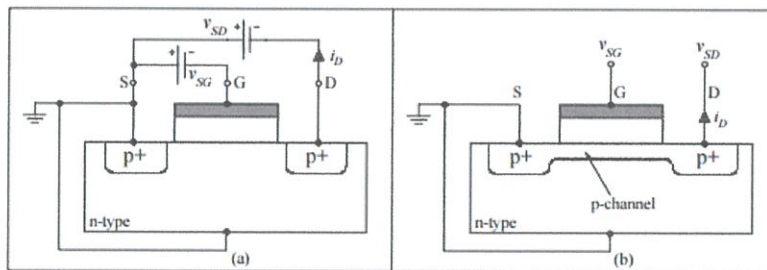
รูปที่ 2.20 (a) ภาคตัดขวางของมอสเฟต เอ็น-แชนแนล ก่อนที่จะเกิดชั้นผิวนแปร
 (b) ภาคตัดขวาง หลังจากเกิดชั้นผิวนแปร

เราสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของมอสเฟตได้ว่า ถ้าขาเกตไม่ได้รับแรงดันไบอัส ซอร์ส และเดรนก็จะถูกแยกออกจากกันโดยสาร P ที่อยู่ตรงกลางแสดงดังรูปที่ 2.20(a) ในกรณีนี้จะไม่มีการไหลผ่านมอสเฟต แสดงวงจรเทียบเท่าขณะนี้อยู่ดังรูปที่ 2.20(b) แต่ถ้าวางแรงดันที่ขาเกตเป็นบวกจะทำให้

เกิดสนามไฟฟ้าในย่าน Channel region และทำให้เกิด Electron inversion layer ในบริเวณนี้ซึ่งทำให้ ขั้วซอร์สและเดรนสามารถเชื่อมต่อกันได้ จึงเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากขั้วเดรนไปยังขั้วซอร์สได้ เรา เรียกมอสเฟตที่คุณสมบัติแบบนี้ว่า Enhancement MOSFET หรือ E-MOSFET และถ้าประจุที่อยู่บริเวณ แชนแนลเป็นอิเล็กตรอน เราจะเรียกมอสเฟตนี้ว่า เอ็น-แชนแนลมอสเฟต (เรียกสั้นๆว่า NMOS) จาก รูปที่ 2.20(b) จะพบวาระแสไหลจากขาเดรนไปยังขาซอร์สได้ก็ต่อเมื่อมีแรงดันที่ขาเกตเป็นบวกเท่านั้น ถ้าไม่มีแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต Electron inversion layer จะหมดไปเนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้ามาระตุ้น ส่งผลให้บริเวณแชนแนลมีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถไหลผ่านได้อีก

2.5.3 มอสเฟตชนิด พี-แชนแนล (P-Channel MOSFET)

ทรานซิสเตอร์มอสเฟต พี-แชนแนล หรือ PMOS ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้งานคู่กับ NMOS ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะมีโครงสร้างตรงข้ามกัน แสดงโครงสร้างและภาคตัดขวาง ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ภาคตัดขวางของมอสเฟต พี-แชนแนล (a) Enhancement mode
(b) Depletion mode

คุณสมบัติสำคัญของ PMOS enhancement คือ มีค่า V_{GS} เป็นลบเสมอ เพื่อให้สามารถสร้าง Inversion layer โดยมีประจุบวกหรือโฮล ทำหน้าที่เป็นพาหะเชื่อมต่องานขาซอร์สและขาเดรน นอกจากนี้ค่าแรงดันอ้างอิง Threshold, V_{TP} ของ PMOS แบบ Enhancement mode device จะมีค่าเป็นลบ และค่า V_{TP} ของ PMOS แบบ Depletion mode device จะมีค่าเป็นบวกเสมอ เนื่องจาก กระแสโฮลจะไหลจากขาซอร์สไปยังขาเดรน สำหรับสมการกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ PMOS ทั้ง แบบ Enhancement และ Depletion จะมีสมการคล้ายกับสมการของ NMOS แต่เครื่องหมายของ V_{GS} และ V_{TP} จะตรงกันข้ามกับสมการ NMOS นั่นคือ

$$\text{Linear region} \quad i_D = K_p [2(V_{GS} + V_{TP})V_{SD} - V_{SD}^2] \quad (2.8)$$

และ

Saturation region

$$i_D = K_p(V_{GS} + V_{TP})^2 \quad (2.9)$$

K_p เป็นค่าคงที่ เรียกว่า Conduction parameter ของ PMOS ซึ่งมีค่าสมการ

$$K_p = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \quad (2.10)$$

ซึ่งตัวแปรต่างๆก็มีความหมายเช่นเดียวกันกับ NMOS

สำหรับ PMOS ที่ทำงานในย่านอิ่มตัว จะเกิดขึ้นเมื่อ

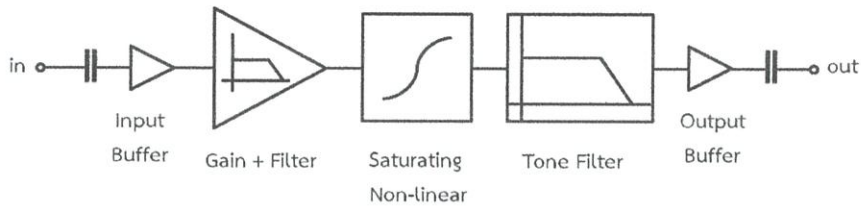
$$V_{SD} > V_{SD}(sat) = V_{SG} + V_{TP} \quad (2.11)$$

บทที่ 3

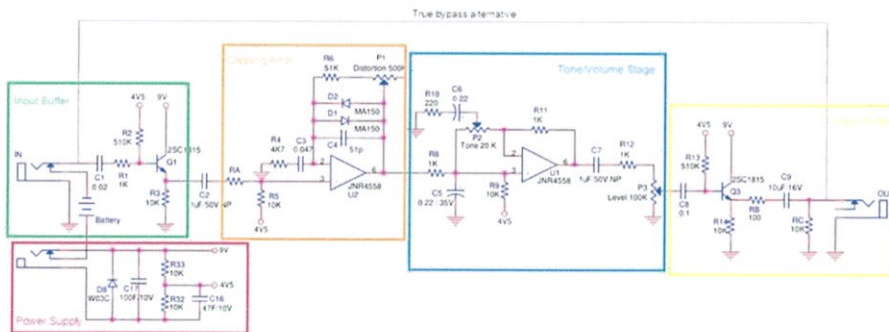
การออกแบบโครงสร้าง

โครงงานนี้ได้ทำการทดลองโดยนำวงจรสำเร็จรูปของเอฟเฟคกีตาร์จำนวน 2 ชนิด คือ ดิสทอร์ชันของ Tube Screamer by Ibanez และคอร์รัปชันของ Boss CE-2 มาแบ่งวงจรออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณ รวมถึงคำนวณค่าตัวแปรต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของวงจร

3.1 วงจรดิสทอร์ชัน : Tube Screamer by Ibanez

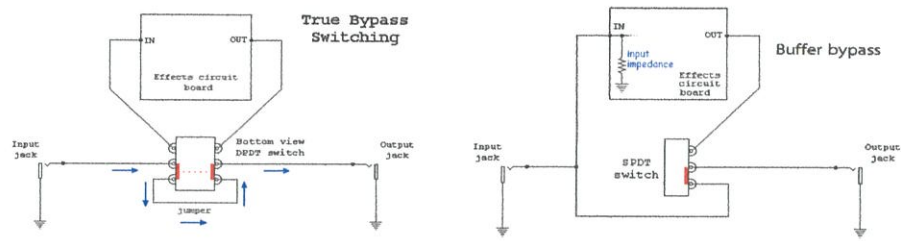


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ Tube Screamer



รูปที่ 3.2 การแบ่งวงจร Tube Screamer by Ibanez ออกเป็นส่วนๆ

Tube Screamer by Ibanez เป็นเอฟเฟคโอเวอร์ไดรฟ์ประเภทหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมาก เหมาะกับการเล่นแนวบลูส์ และการเล่นในทุกๆย่านเสียงของดนตรีแบบร็อก วงจรของ Tube Screamer สามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆได้ 5 ส่วน คือ วงจรแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply), วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า (Input Buffer), วงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ (Clipping Amplifier), วงจรควบคุมโทนและระดับของเสียง (Tone/Volume Control) และวงจรบัฟเฟอร์ขาออก (Output Buffer)



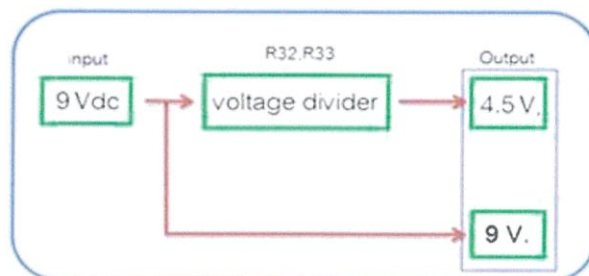
รูปที่ 3.3 วงจร True bypass และวงจร Buffer bypass

เอฟเฟคหลายประเภทเป็นวงจร True bypass เพราะสามารถทำให้สัญญาณไม่ถูกลดทอนจากการผ่านอุปกรณ์ต่างๆในวงจร แต่ในที่นี่สายนำสัญญาณที่จะให้สัญญาณผ่านนั้นต้องเป็นสายที่มีคุณภาพดีด้วยจึงจะไม่ลดทอนสัญญาณแต่ปัญหาของวงจร True bypass คือ เมื่อขณะที่เราเหยียบสวิตช์เพื่อสลับให้สัญญาณเข้าสู่วงจรจะมีเสียงดังเหมือนช็อตขึ้นมา ยิ่งถ้าต่อกับลำโพงขนาดใหญ่ๆจะยิ่งดังมาก ในวงจรนี้จึงใช้สวิตช์ 3PDT ในการ Bypass สัญญาณ และทำให้ไฟ LED ติดในเวลาเดียวกันตัวปิด-เปิดของสวิตช์จะทำให้สัญญาณก็ตาร์ผ่านเข้าสู่วงจรภายใน หรือผ่านแค่สัญญาณขาเข้ากับแจ๊คของสัญญาณขาออก

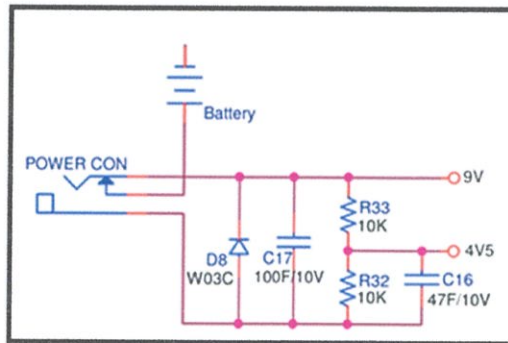
สำหรับเอฟเฟคบัฟเฟอร์อย่างเอฟเฟควาว (Wah), คอร์ส, ดีเลย์ หรือรีเวิร์บ ล้วนมีวงจรบัฟเฟอร์เพราะต้องแปลงสัญญาณขาเข้าให้พอดีก่อนนำเข้าวงจรของตัวเอฟเฟคนั้นๆ ดังนั้นบัฟเฟอร์จึงเปรียบเสมือนตัวกรองสัญญาณตัวหน้า ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ การแปลงค่าสัญญาณจากสัญญาณที่มีความต้านทานสูงให้เป็นสัญญาณที่มีความต้านทานต่ำ แล้วแยกสัญญาณให้เป็นอิสระออกจากวงจรเอฟเฟค

บัฟเฟอร์ที่ไม่ดีนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงโทนและสัญญาณ โดยอาจจะมีสัญญาณรบกวนเพิ่มเข้ามาด้วย ส่วนบัฟเฟอร์ที่ดีนั้นจะเปลี่ยนแปลงโทนเสียงที่เข้าไปน้อยที่สุด อีกทั้งยังเติมเต็มเสียงให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถใช้สายสัญญาณที่ยาวขึ้นได้โดยไม่มีผลกระทบต่อเสียง และลดการเกิดสัญญาณรบกวนที่ไม่จำเป็นต่อตัวเอฟเฟค

3.1.1 การวิเคราะห์ห้วงจรแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

ในส่วนวงจรแหล่งจ่ายไฟจะใช้กระแสไฟฟ้า 9 โวลต์ จากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีข้อมูลขาเข้าคือ 100-240 โวลต์ และ 0.4 แอมแปร์ ส่วนข้อมูลขาเข้าคือ 9.0 โวลต์, 2 แอมแปร์, 18 วัตต์ และ 50-60 เฮิร์ตซ์

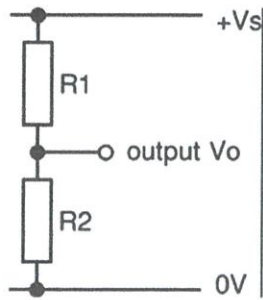


รูปที่ 3.6 แหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับพลังงานที่ต้องใช้ในวงจรส่วนต่างๆ ในเอฟเฟคนี้ใช้แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์กับหลายส่วนของวงจร ซึ่งวงจรแบ่งแรงดันนี้ใช้ตัวต้านทาน R_{32} และ R_{33} ในการแบ่งแรงดันเป็น 4.5 โวลต์เพื่อใช้ในบางส่วนของวงจร เมื่อทำการทดลองต่อวงจรลงบนโพรโทบอร์ด (Photo board) จะใช้ค่า R_{32} และ R_{33} เป็น 1 กิโลโอห์มแทน เพราะในขณะที่ทดลองใช้ตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์มได้ค่าแรงดันไม่ถึง 4.5 โวลต์ตามที่ต้องการ อาจเป็นเพราะถูกลดทอนแรงดันมากเกินไป

3.1.1.1 การคำนวณการแบ่งแรงดัน

วงจรแบ่งแรงดันประกอบด้วยความต้านทาน R_1 และ R_2 ต่ออนุกรมคร่อมแหล่งจ่ายไฟ แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟจะถูกแบ่งระหว่างความต้านทาน โดยความต้านทานทั้งสองให้แรงดันขาออก (V_o) ซึ่งก็คือ แรงดันคร่อม R_2 ดังนั้นค่าที่ได้จึงขึ้นอยู่กับขนาดค่า R_1 และ R_2



รูปที่ 3.7 วงจรเพื่อการคำนวณแรงดัน

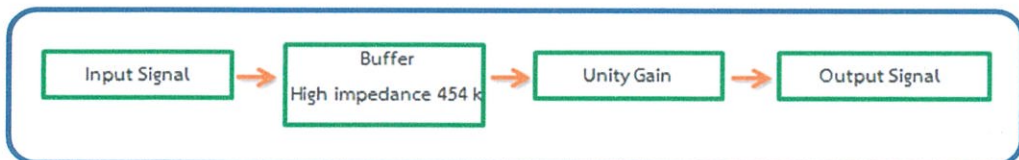
จากรูปที่ 3.7 สรุปได้ว่า หากค่า R_2 มีค่าน้อยกว่าค่า R_1 มาก แรงดันขาออกจะมีขนาดต่ำมาก จนเกือบถึง 0 โวลต์ เพราะแรงดันส่วนใหญ่อยู่ตกคร่อมที่ R_1 ถ้าค่า R_2 มีค่าเท่ากับ R_1 แรงดันขาออก จะถูกแบ่งเท่าๆกันระหว่าง R_1 และ R_2 แต่ถ้าค่า R_2 มีค่ามากกว่าค่า R_1 แรงดันขาออกจะมีขนาดสูง มาก เพราะแรงดันส่วนใหญ่อยู่ตกคร่อมที่ R_2 สามารถคำนวณจากสูตร R_1 และ $R_2 = 1000$ โอห์ม

$$V_o = \frac{V_S \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$

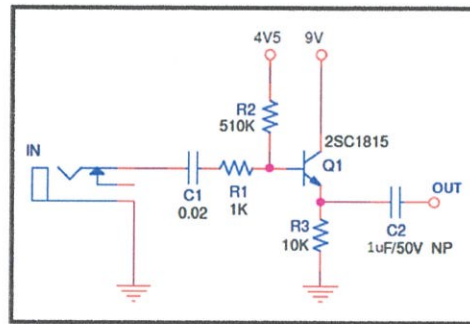
$$V_o = \frac{9 \times 1000}{1000 + 1000} = 4.5 \text{ V} \quad (3.2)$$

แหล่งจ่ายไฟ (9 โวลต์), ตัวต้านทานที่เชื่อมต่อกันลงกราวด์ (4.5 โวลต์) และด้วยตัวเก็บประจุ ที่มีค่าสูง 2 ตัว คือ C_{16} และ C_{17} มีไว้เพื่อนำสัญญาณรบกวนจากไฟฟ้ากระแสสลับออกจาก แหล่งจ่ายไฟ และมีไดโอด D_8 เพื่อป้องกันการต่อไฟกลับขั้ว ส่วนแจ๊คแบบสเตอริโอ (Stereo jack) ใช้เป็นเหมือนสวิตช์เปิด-ปิด โดยต่อกับขั้วลบของแหล่งจ่ายและอีกขั้วลงสายดิน เมื่อทำการเสียบแจ๊ค จะเป็นการทำให้กระแสไหลเข้าสู่วงจร

3.1.2 การวิเคราะห์ห้วงจรวจรบัฟเฟอร์ขาเข้า



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า



รูปที่ 3.9 วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า

จากรูปที่ 3.9 เป็นการสร้างความต้านทานขาเข้าที่มีค่าสูงๆ เพื่อป้องกันการสูญเสียความถี่สูงของสัญญาณ ในการทดลองได้ใช้ทรานซิสเตอร์ 2N4401 แทน 2SC1815 ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ซึ่ง Impedance (Z) คือ ความต้านทานเชิงซ้อนจากการตรวจวัดวงจรที่มีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นความต้านทานเพิ่มเติมของวงจรที่มีปฏิกิริยาต่อสัญญาณ และสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จึงสรุปได้ว่า ค่า Impedance มักมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานเสมอ ทรานซิสเตอร์ 2N4401 มีอัตราขยาย (β) = 350 และมีสัญญาณรบกวนน้อยรองรับกระแสได้สูง โดยวงจรส่วนนี้ใช้เพื่อสร้างค่า Impedance สูงๆ และมีอัตราขยายคงที่ โดยที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะมีตัวเก็บประจุ C_1 ป้องกันไฟฟ้ากระแสตรงที่มาจากกีตาร์ เพื่อป้องกันวงจรลัดเหลว และกรองความถี่ต่ำๆที่ทำให้เกิด Humming ทรานซิสเตอร์เป็นการต่อแบบ Emitter follower โดยขาเบสมีการป้อนแรงดันไฟ 4.5 โวลต์ ผ่านตัวต้านทาน R_2 510 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่วนนี้จะเป็นค่าความต้านทานหลักของวงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า และขาคอลเลคเตอร์ป้อนแรงดันไฟ 9 โวลต์ จากรูปที่ 3.9 สัญญาณจะไหลเข้าทางขาเบส และออกทางขา อิมิตเตอร์ ในวงจรส่วนนี้ยังไม่จำเป็นต้องมีค่าอัตราขยายเพราะจะให้ความสำคัญกับการรักษารูปปร่าง และระดับของสัญญาณให้เหมือนกับตอนที่เข้ามาเพื่อที่จะไปยังวงจรส่วนถัดไป

3.1.2.1 การคำนวณค่า Impedance ของวงจรบัฟเฟอร์ขาเข้าจาก Hybrid pi model

$$Z_{in} = R_1 + R_2 // [r_{\pi} + (\beta + 1) \times R_3] \quad (3.2)$$

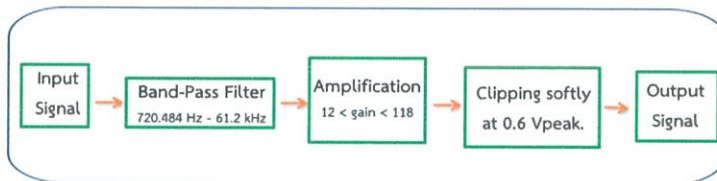
$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B} \text{ in ohms} \quad (3.3)$$

- V_T คือ ค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อนหาได้จาก $\frac{kT}{q}$ ถ้าในอุณหภูมิห้องมีค่าประมาณ 25 มิลลิโวลต์

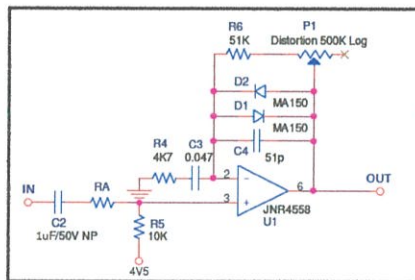
- I_B คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขาเบส
- หาก $r_{\pi} = 5.55$ โอห์ม จะได้ $Z_{in} \cong 454,000$

ค่า Impedance ขาเข้าของวงจรนี้ คือ 454,000 ซึ่งความต้านทานส่วนใหญ่มาจากตัวต้านทาน R_2 เพื่อป้องกันการโหลดเกินของสัญญาณจากกีตาร์ไฟฟ้าในทางขาเข้า วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้าจะเป็นวงจรที่คั่นระหว่างสองวงจรเพื่อทำการเข้าระบบกับค่าความต้านทาน ซึ่งเป็นประโยชน์มากสำหรับคลื่นความถี่วิทยุ และระบบที่มีการสูญเสียกำลังในขณะที่แหล่งกำเนิดสัญญาณ ซึ่งก็คือ ปิคอัพกีตาร์ที่มีค่า Impedance ต่ำ เชื่อมต่อกับออปแอมป์ซึ่งมีค่า Impedance สูง การถ่ายโอนกำลังจะถูกจำกัด แต่ในทางกลับกันการถ่ายโอนแรงดันจะสูง และไม่เจอปัญหาการเสียหายของสัญญาณ

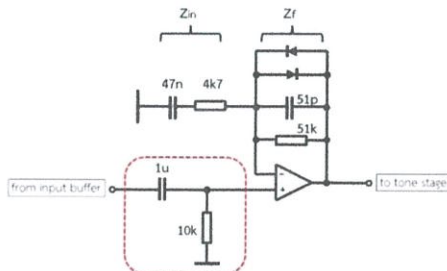
3.1.3 การวิเคราะห์วงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ



รูปที่ 3.11 วงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ



รูปที่ 3.12 วงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณที่ใช้เพื่อคำนวณสมการฟังก์ชันส่งผ่าน

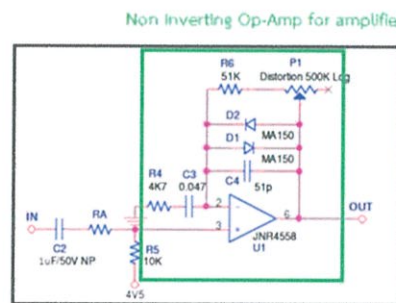
สมการฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer function) ของวงจรรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ

$$H_{clip} = \left(\frac{R}{R + j\omega C} \right) \left(1 + \frac{Z_f}{Z_{in}} \right) = \left(\frac{10^4}{10^4 + \frac{1}{j\omega 10^{-6}}} \right) \left(1 + \frac{Z_f}{Z_{in}} \right) \quad (3.4)$$

วงจรรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณเป็นเหมือนเป็นหัวใจหลักของวงจร ประกอบไปด้วย วงจรไม่กลับเฟส (Non-inverting) ของออปแอมป์ ที่มีไดโอด 2 ตัว ไว้ทำหน้าที่ตัดยอดคลื่นของสัญญาณ และมีฟิลเตอร์ อีก 2 ประเภท คือ กรองความถี่ต่ำผ่าน และกรองความถี่สูงผ่าน อยู่ในส่วนป้อนกลับของออปแอมป์ เพื่อจัดการกับสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรส่วนนี้ สัญญาณที่ออกจากขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะเข้าสู่ส่วนนี้โดยผ่านตัวเก็บประจุแบบไม่มีขั้วขนาด 1 ไมโครฟารัด (C_2) เป็นค่าที่สูงพอที่จะไม่รบกวนสัญญาณกีตาร์ที่เข้ามา และที่ขาไม่กลับเฟสของออปแอมป์มีการป้อนแรงดัน 4.5 โวลต์ ผ่านตัวต้านทาน (R_5) ขนาด 10 กิโลโอห์ม

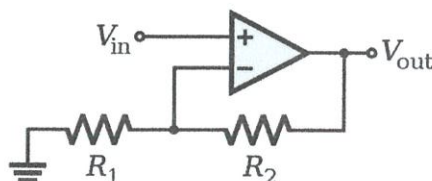
ในการทดลองยังได้แบ่งแต่ละส่วนของวงจรรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.1.3.1 วงจรรขยายไม่กลับเฟส (Non-Inverting Op-Amp for amplifier)



รูปที่ 3.13 รูปวงจรรขยายไม่กลับเฟส

ถ้ายังไม่พิจารณาไดโอด D_1, D_2 และตัวต้านทาน R_3, R_4 อัตราขยายของวงจรรขยายไม่กลับเฟสจะสามารถประมาณค่าได้จากสมการ



รูปที่ 3.14 รูปวงจรเพื่อการคำนวณค่าอัตราขยายของวงจรรขยายไม่กลับเฟส

Z_1 คือ ความต้านทานรวมที่ขากลับเฟส (Inverting) ที่เชื่อมต่อกับสายดิน

Z_2 คือ ความต้านทานรวมตั้งแต่ขาออก และขากลับเฟสของออปแอมป์

$$G = 1 + \frac{R_6 + R_{distortion}}{R_4} = \frac{51k + R_{distortion}}{4.7k} \quad (3.5)$$

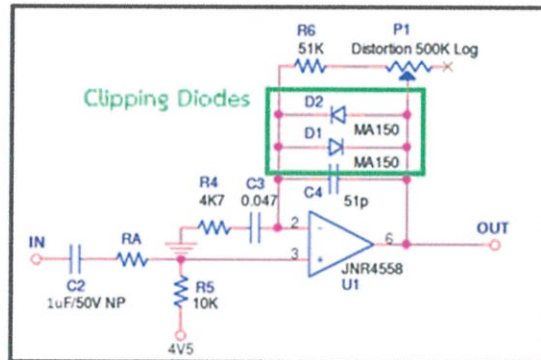
ค่าอัตราขยายของวงจรส่วนนี้สามารถเปลี่ยนแปลง และควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-500 กิโลโอห์ม ทำให้ได้อัตราขยายดังสมการ

$$G_{max} = 1 + \frac{51k + 500k}{4.7k} = 118 \quad (3.5.1)$$

$$G_{min} = 1 + \frac{51k}{4.7k} = 12 \quad (3.5.2)$$

ในทางปฏิบัติ ค่าอัตราขยายสูงสุดอาจจะไม่ถึง 118 โดยค่าอัตราขยายจะถูกจำกัดด้วยไดโอด และแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายแรงดันให้กับวงจร

3.1.3.2 การตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วยไดโอด (Clipping Diodes)

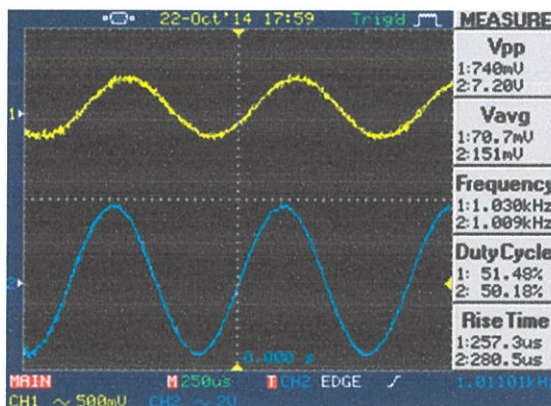


รูปที่ 3.15 รูปวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วยไดโอด

การตัดยอดคลื่นแบบสมมาตรเกิดจากไดโอด 2 ตัว ในส่วนป้อนกลับของวงจรขยายไม่กลับเฟส เมื่อผลต่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาออกและขาเข้ามีค่ามากกว่าแรงดันไบอัสตรงของไดโอด จะทำให้ไดโอดทำงาน โดยไดโอดที่ทำงานแบบไบอัสตรงจะมีค่าความต้านทานในไดโอดที่เข้าไปรวมอยู่ในวงจรไม่มากนัก แต่จะเปลี่ยนค่าอัตราขยายวงจรขยายไม่กลับเฟสให้มีค่าลดลง

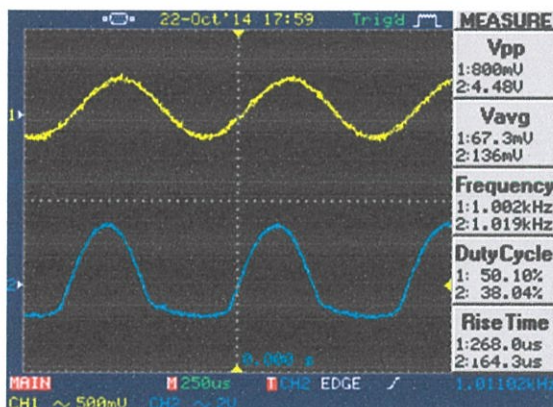
ในการทดลองได้ต่อวงจรและทำการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์, ขนาด 700 มิลลิโวลต์แบบพีคทูพีค และสัญญาณขาออกของ

วงจรรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ โดยการทดลองได้ทดลองจากการปรับอัตราขยายต่ำที่สุดคือประมาณ 12 เท่า ซึ่งเส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปเพื่อทดสอบ ส่วนเส้นสีฟ้า คือ สัญญาณที่ผ่านวงจรรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ



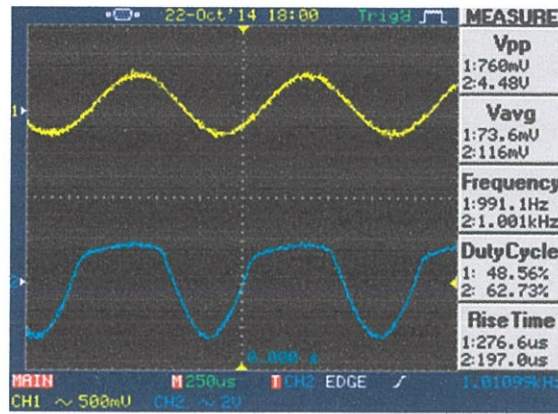
รูปที่ 3.16 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะที่ D1, D2 Disconnected

จากรูปที่ 3.16 ไม่ได้ทำการต่อไดโอดเข้าในวงจรจึงยังไม่มี การตัดยอดสัญญาณอย่างใด สัญญาณขาเข้าที่ป้อนเข้าไปจึงได้รับอัตราขยายในทางปฏิบัติประมาณ 10 เท่า ขยายแรงดันจาก 740 มิลลิโวลต์ เป็น 7.2 โวลต์



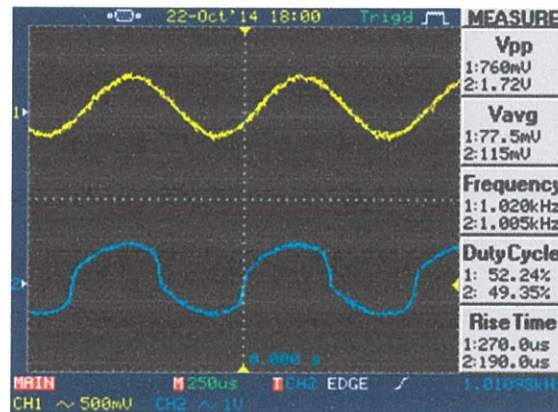
รูปที่ 3.17 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะที่ D₁ เชื่อมต่อ, D₂ ไม่เชื่อมต่อ

จากรูปที่ 3.17 ทำการต่อไดโอด D₁ อัตราขยายจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง เป็นผลมาจากการตัดยอดสัญญาณในด้านลบออกของไดโอด D₁



รูปที่ 3.18 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะที่ D_2 เชื่อมต่อ, D_1 ไม่เชื่อมต่อ

จากรูปที่ 3.18 เป็นการต่อไดโอด D_2 ซึ่งอัตราขยายที่ได้มีค่าลดลงประมาณครึ่งหนึ่งเช่นกัน แต่จะตัดยอดสัญญาณในด้านบวกออก



รูปที่ 3.19 รูปสัญญาณวัดจากออสซิลโลสโคป ขณะที่ D_1 เชื่อมต่อ, D_2 เชื่อมต่อ

โดยปกติค่าแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกจากปิคอัพแบบ Single-coil คือ 60–200 มิลลิโวลต์ ส่วนค่าแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกจากปิคอัพแบบ Hum buckers คือ 60–200 มิลลิโวลต์ ในวงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณนี้จะมีช่วงที่จะปล่อยให้สัญญาณผ่านโดยไม่ทำการตัดยอดคลื่นสัญญาณเมื่อ V_{in} มีค่าน้อยกว่า

$$V_{out} - V_{in} < V_F \quad (3.6)$$

$$V_F > V_{out} - V_{in} \quad (3.7)$$

$$V_F > (G \times V_{in}) - V_{in} \quad (3.8)$$

$$V_F > V_{in} \times (G - 1) \quad (3.9)$$

$$V_{in} < \frac{V_F}{G-1} \quad (3.10)$$

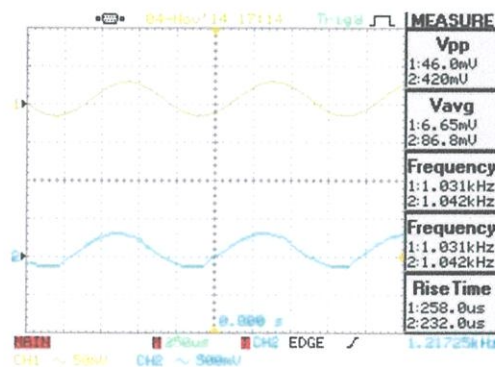
$$V_{in} < \frac{0.6V}{12-1} \quad (3.11)$$

$$V_{in} < 54.5 \text{ mV} \quad (3.12)$$

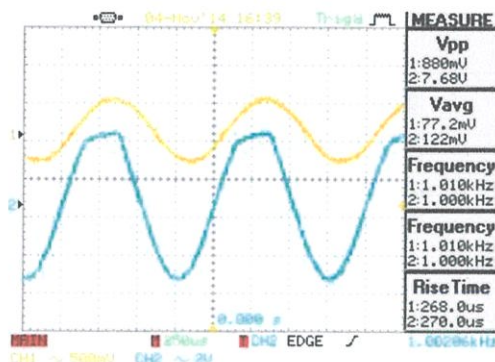
ในวงจรนี้จะไม่มีการตัดยอดคลื่นสัญญาณเมื่อค่าแรงดันขาเข้า (V_{in}) น้อยกว่า 54.5 มิลลิโวลต์ โดยที่ V_F = แรงดันไบอัสตรงของไดโอด 1N4148 มีค่า 0.6-1 โวลต์

เมื่อพิจารณาถึงค่าอัตราขยายสูงสุดของวงจรนี้ คือ 118 ถ้าให้สัญญาณขาเข้าจากกีตาร์ไฟฟ้าเข้ามาต่ำสุด คือ 60 มิลลิโวลต์ สัญญาณจะถูกขยายถึง 6 โวลต์ ซึ่งแรงดัน 6 โวลต์นี้สามารถทำให้ไดโอดทำงานได้อย่างแน่นอน ดังนั้นค่าอัตราขยายจึงมากพอที่จะทำให้เกิดการบิดเบือนกับทุกสัญญาณกีตาร์ที่เข้ามา

จากการทดลองได้ทำการหาแรงดันขาเข้าต่ำที่สุดที่ไดโอดจะไม่ทำงาน และแรงดันขาเข้าที่ได้โอดเริ่มทำงานโดยการป้อนแรงดันขาเข้าค่าต่างๆ แล้วสังเกตผลจากเครื่องออสซิลโลสโคป ซึ่งเส้นสีเหลืองคือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปเพื่อทดสอบ ส่วนเส้นสีฟ้าคือคือ สัญญาณที่ผ่านวงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ



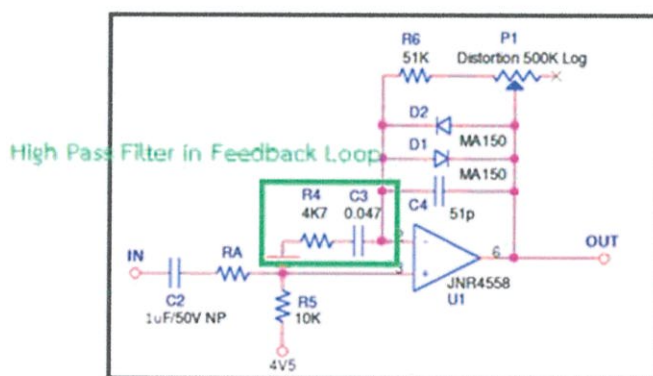
รูปที่ 3.20 รูปจากออสซิลโลสโคปแสดงแรงดันต่ำที่สุดที่ไดโอดยังไม่ทำงาน



รูปที่ 3.21 รูปจากออสซิลโลสโคปแสดงแรงดันที่ไดโอดเริ่มทำงาน

จากการทดลองจะเห็นว่าแรงดันขาเข้าที่เข้ามาต่ำกว่าค่าที่ได้คำนวณไว้ซึ่งก็คือ 54.5 มิลลิโวลต์ ไดโอดจะยังไม่ทำงาน และเมื่อป้อนแรงดันขาเข้าที่มากกว่าเข้าไป ไดโอดจะเริ่มทำงานทันที

3.1.3.3 High-Pass Filter ในส่วนป้อนกลับของออปแอมป์



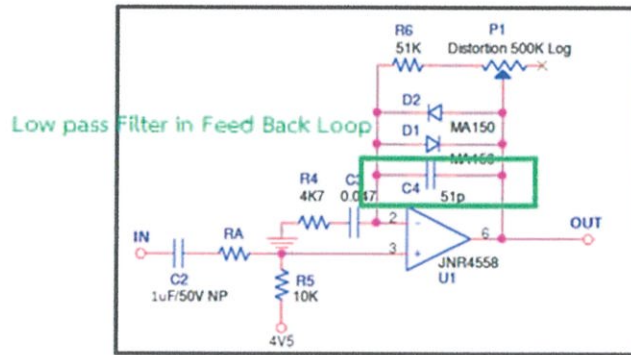
รูปที่ 3.22 รูปวงจรส่วนวงจร HPF

การต่ออนุกรมกันของตัวต้านทาน R_4 และตัวเก็บประจุ C_3 ขากลับเฟสของออปแอมป์จะต่อลงสายดินจึงมีการทำงานเหมือนกับ Active HPF เพื่อลดทอนความถี่ที่น้อยกว่าความถี่ Cut-off

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi (4.7k)(0.047\mu F)} = 720.484 \text{ Hz} \tag{3.13}$$

ความถี่หลัก และความถี่ฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณที่มีความถี่มากกว่า 720 เฮิรตซ์ สามารถเข้าสู่ส่วนนี้ได้ และความถี่อื่นๆที่ต่ำกว่าจะถูกลดอัตราขยายลงเรื่อยๆ

3.1.3.4 Low-Pass Filter ในส่วนป้อนกลับของออปแอมป์



รูปที่ 3.23 วงจรส่วน LPF

ตัวเก็บประจุ C_4 ขนาด 51 พิโกฟารัด ที่วางอยู่ก่อนถึงไดโอดทำหน้าที่เสมือน LPF ทำให้มุมของรูปสัญญาณที่ถูกตัดยอดคลื่นราบเรียบขึ้น

การคำนวณค่า f_c ของ LPF

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(R_c + R_{distortion})(C_4)} \quad (3.14)$$

เนื่องจากมีตัวต้านทานปรับค่าได้ อยู่ในรูป LPF จะทำให้ความถี่ f_c เปลี่ยนไปได้ ดังนั้น f_{cmax} เมื่อ $R_{distortion}$ มีค่าต่ำสุด คือ 0 เฮิร์ตซ์ และ f_{cmin} เมื่อ $R_{distortion}$ มีค่าสูงสุด คือ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังสมการ 3.14.1 และ 3.14.2 ตามลำดับ

$$f_{cmax} = \frac{1}{2\pi(R_c)(C_4)} = \frac{1}{2\pi(51k)(51pF)} = 61.2 \text{ kHz} \quad (3.14.1)$$

$$f_{cmin} = \frac{1}{2\pi(R_c + R_{distortion})(C_4)} = \frac{1}{2\pi(51k + 500k)(51pF)} = 5.6 \text{ kHz} \quad (3.14.2)$$

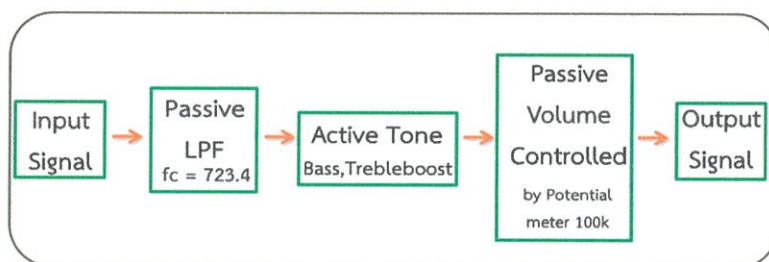
ในส่วนของ HPF และ LPF มีการทำงานร่วมกันเป็นเหมือน BPF ที่กรองความถี่ช่วง 720.484 เฮิร์ตซ์ ถึง 61.2 กิโลเฮิร์ตซ์ จะสังเกตว่าความถี่ Cut off ใน BPF ทั้ง 2 ความถี่จะสูงกว่าความถี่หลักของสายกีตาร์ทุกสาย ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงโน้ตและความถี่ของสายกีตาร์

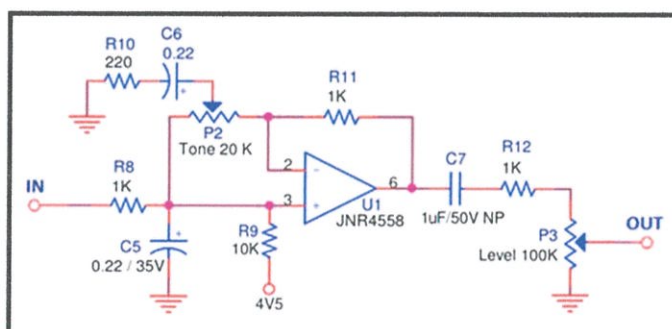
ลำดับของสาย (สายเปิด)	โน้ต	ความถี่
สายที่ 6 (เสียงต่ำที่สุด)	E2	82.4 Hz
สายที่ 5	A2	110 Hz
สายที่ 4	D3	146.8 Hz
สายที่ 3	G3	196.0 Hz
สายที่ 2	B3	246 Hz
สายที่ 1 (เสียงสูงที่สุด)	E4	329.6 Hz

จึงสรุปได้ว่าความถี่ที่ถูกตัดยอดของสัญญาณจะเป็นความถี่ฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณส่วนความถี่อื่นๆที่ต่ำกว่าจะผ่านวงจรไปโดยไม่มีการตัดยอดของสัญญาณเกิดขึ้น

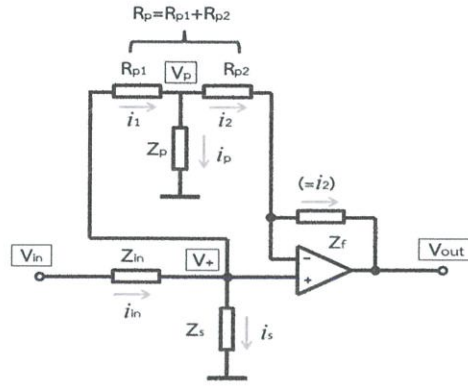
3.1.4 การวิเคราะห์ท่วงจรควบคุมโทนและระดับของเสียง



รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรควบคุมโทนและระดับของเสียง



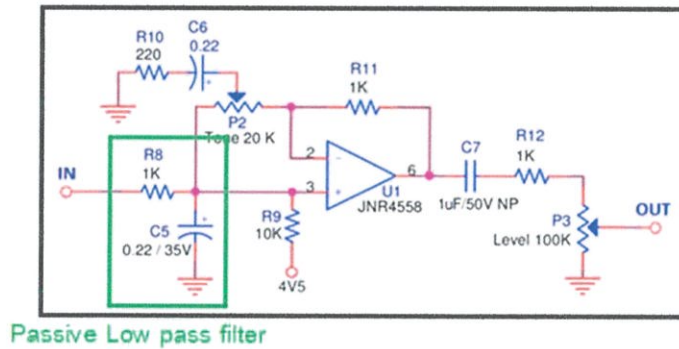
รูปที่ 3.25 วงจรควบคุมโทนและระดับของเสียง



รูปที่ 3.26 วงจรควบคุมโทนและระดับของเสียงที่ใช้เพื่อคำนวณสมการฟังก์ชันส่งผ่าน

วงจรมีประกอบไปด้วย Passive LPF ซึ่งเป็น LPF หลักของวงจรทั้งหมด วงจรควบคุมโทนและระดับของเสียงใช้เป็นการปรับโทนเสียงและควบคุมระดับเสียงของสัญญาณให้กับเอฟเฟค การทำงานโดยทั่วไปคือ ส่วนวงจร Passive LPF จะตัดสัญญาณความถี่สูงก่อนจะเข้าสู่วงจรปรับโทนเสียง หลังจากนั้นวงจรปรับโทนเสียงจะเพิ่มเสียงแหลมเพื่อชดเชยสัญญาณ ในการทดลองได้แบ่งวงจรควบคุมโทนและระดับของเสียง ออกเป็น 3 ส่วน

3.1.4.1 Passive Low-Pass Filter



Passive Low pass filter

รูปที่ 3.27 รูปวงจรมีส่วน Passive LPF

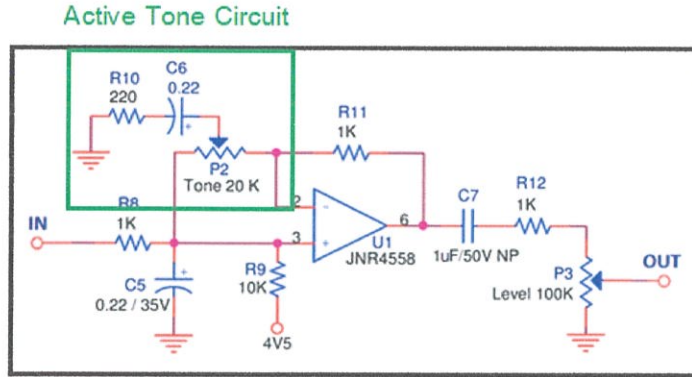
ตัวเก็บประจุ C_5 ขนาด 0.22 ไมโครฟารัด และตัวต้านทาน R_8 ขนาด 1 กิโลโห์ม ที่ต่อขนานกันทำงานเป็นวงจร RC LPF อันดับ 1

การคำนวณความถี่ cut-off

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(1k)(0.22\mu F)} = 723.4315 \text{ Hz} \quad (3.15)$$

ความถี่ Cut-off ของ LPF คือ 723.4315 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ฮามอนิกส์ที่ความถี่สูงกว่าจะถูกลดทอนลง

3.1.4.2 Active Tone Circuit

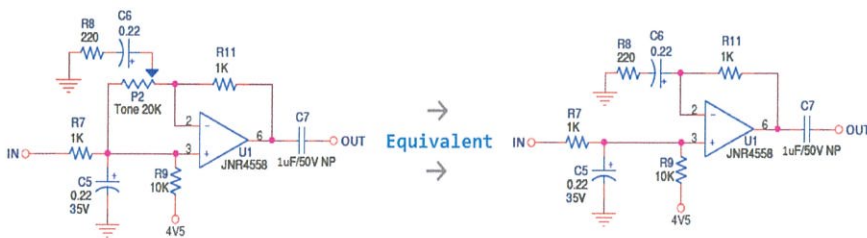


รูปที่ 3.28 รูปวงจรส่วน Active Tone Circuit

วงจรนี้ควบคุมโดยวงจร RC ที่มีความต้านทาน R_{10} ขนาด 220 โอห์ม และตัวเก็บประจุ C_6 ขนาด 0.22 เฮิรตซ์ ต่อจากสายดินไปเข้าที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_{tone}) โดยมีค่า f_c เท่ากับ

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(220)(0.22\mu)} = 3.2883 \text{ kHz} \quad (3.16)$$

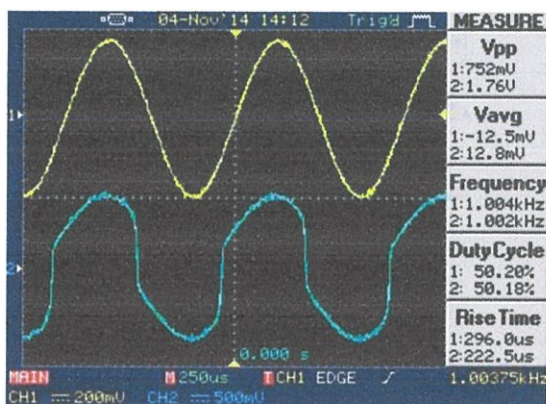
การควบคุมโทนเสียง คือ การหมุน R_{tone} ขนาด 20 กิโลโอห์ม ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป เมื่อปรับให้ค่าความต้านทานไปทางลบ วงจร $R_{10}C_6$ จะทำงานเป็น HPF เพื่อให้ความถี่สูงผ่านหรือเป็นการยกระดับเสียงแหลม



รูปที่ 3.29 รูปวงจรเปรียบเทียบขณะปรับโทนต่ำสุด

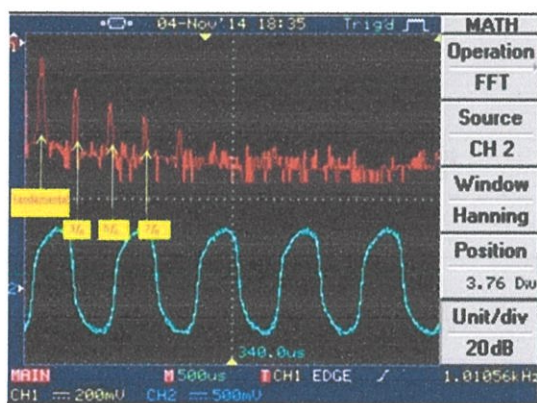
จากรูปที่ 3.30 กำหนดให้เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปเพื่อทดสอบ, เส้นสีฟ้า คือ

สัญญาณที่ผ่านวงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ และเส้นสีแดง คือ สเปกตรัมของสัญญาณที่ผ่าน ส่วนของวงจรควบคุมโทนและระดับของเสียง



รูปที่ 3.30 รูปเมื่อปรับโทนต่ำสุด

จากรูปได้ทดลองป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิรซ์ ขนาด 0.7 โวลต์ เพื่อจะสังเกตว่า วงจรควบคุมโทนเสียง ขณะที่ปรับค่าโทนต่ำสุด (0 โอห์ม) มีผลอย่างไรต่อความถี่ฮามอนิกส์ของสัญญาณ ดังรูปที่ 3.31



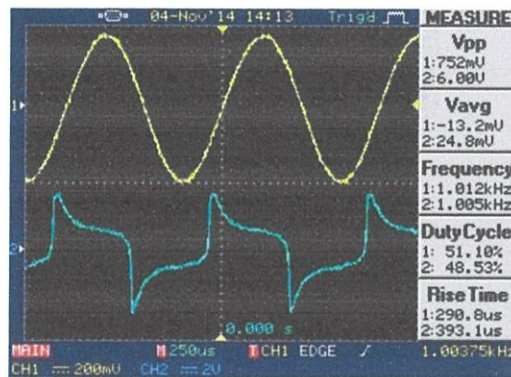
รูปที่ 3.31 รูปสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ Output ขณะปรับ Tone ต่ำสุด

ความถี่ของสัญญาณฮามอนิกส์อันดับคี่จะมีกำลังเพิ่มสูงขึ้นบางส่วนซึ่งเป็นผลมาจากการปรับตัวต้านทานที่ควบคุมความไม่เป็นเชิงเส้นเพิ่มขึ้นในส่วนของวงจรขยายและตัดยอดคลื่นสัญญาณ เมื่อปรับให้ค่าความต้านทานไปในทางบวก วงจร $R_g C_6$ จะเหมือนต่อขนานกับ LPF ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น

เหมือน LPF อันดับ 2 ที่กรองความถี่ต่ำที่มี f_c ต่ำมาก นั้นแสดงว่าจะตัดเสียงแหลมที่มีความถี่สูงออกเกือบทั้งหมด

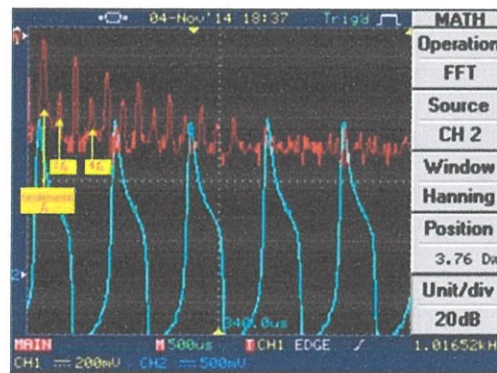


รูปที่ 3.32 รูปวงจรเปรียบเทียบขณะปรับโทนสูงสุด



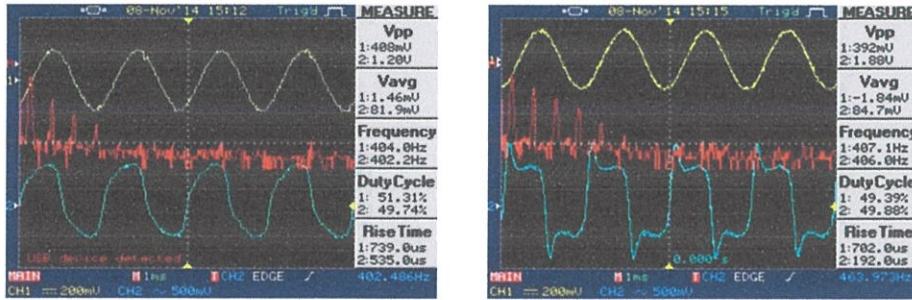
รูปที่ 3.33 รูปเมื่อปรับโทนสูงสุด

จากรูปที่ 3.33 ได้ทดลองป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 0.7 โวลต์ เพื่อจะสังเกตว่าวงจรโทน ขณะปรับค่าโทนสูงสุด คือ 20 กิโลโอห์ม มีผลอย่างไรต่อความถี่ฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณ

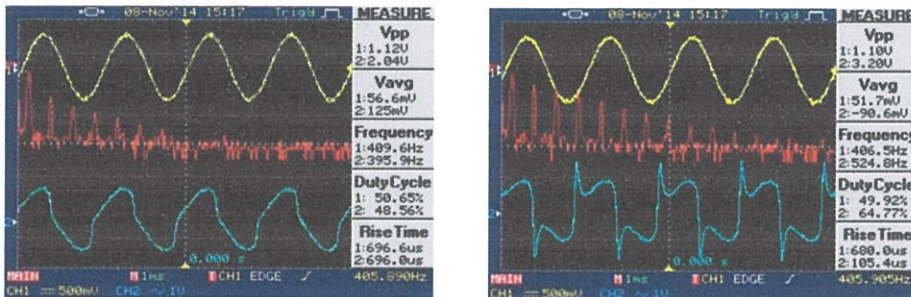


รูปที่ 3.34 รูปสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณขาออก ขณะปรับโทนสูงสุด

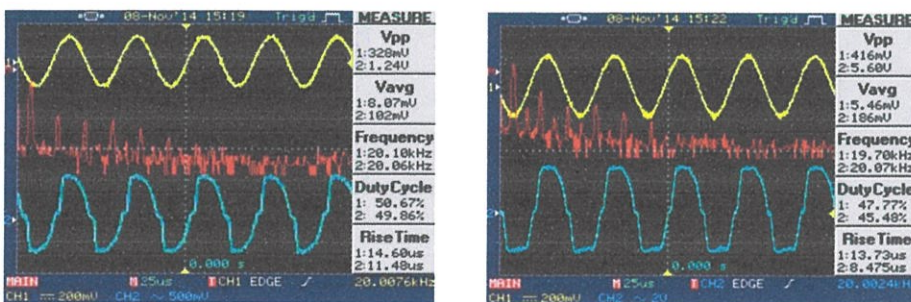
การปรับโทนสูงสุดจะทำให้ความถี่ฮามอนิกส์อันดับคู่ มีกำลัง (เดซิเบล) เพิ่มสูงขึ้นและยังเพิ่มกำลังของความถี่ฮามอนิกส์อันดับคี่อีกบางส่วนที่เห็นเพิ่มเติมจากการปรับโทนต่ำสุด



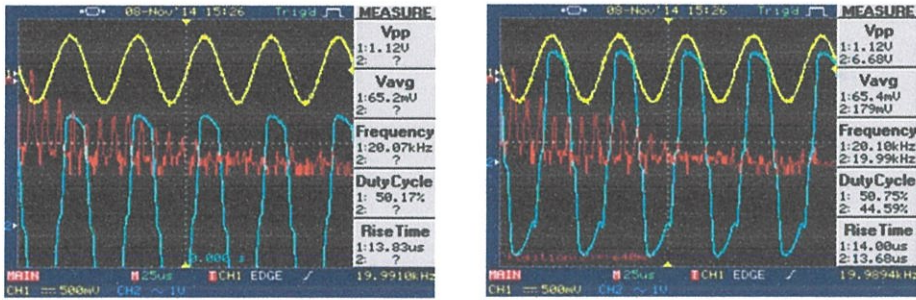
รูปที่ 3.35 รูปสัญญาณขาออกขณะปรับโทนสูงสุด/ต่ำสุด ที่สัญญาณขาออก 0.4 โวลต์, ความถี่ 400 เฮิรตซ์



รูปที่ 3.36 รูปสัญญาณขาออกขณะโทนสูงสุด/ต่ำสุด ที่สัญญาณขาออก 1 โวลต์, ความถี่ 400 เฮิรตซ์



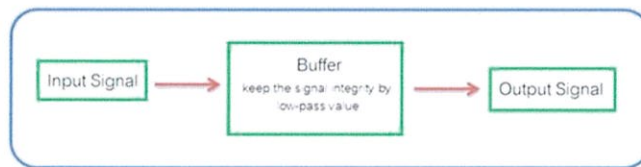
รูปที่ 3.37 รูปสัญญาณขาออกขณะปรับโทนต่ำสุด/สูงสุด ที่สัญญาณขาออก 0.4 โวลต์, ความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์



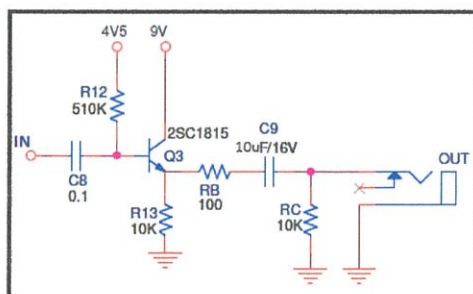
รูปที่ 3.38 รูปสัญญาณขาออกขณะปรับโทนต่ำสุด/สูงสุด ที่สัญญาณขาออก 1 โวลต์, ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์

จากการทดลองป้อนแรงดันขาเข้าค่าต่างๆจะเห็นการยกระดับของฮาร์มอนิกส์ต่างๆซึ่งจะมีผลต่อการควบคุมเสียงทุ้ม/แหลม โดยฮาร์มอนิกส์อันดับคี่จะมีผลต่อเสียงแหลม และฮาร์มอนิกส์อันดับคู่มีผลต่อเสียงทุ้ม ส่วนที่ขากลับเฟส และขาไม่กลับเฟสของออปแอมป์ทำงานเหมือนเป็น BPF ที่ประกอบด้วย LPF และ HPF ซึ่งสามารถกรองความถี่ตั้งแต่ช่วง 723.4314 เฮิร์ตซ์ ถึง 3.2885 กิโลเฮิร์ตซ์

3.1.5 การวิเคราะห์วงจรบัฟเฟอร์ขาออก



รูปที่ 3.39 บล็อกไดอะแกรมของวงจรบัฟเฟอร์ขาออก



รูปที่ 3.40 วงจรบัฟเฟอร์ขาออก

ในส่วนของวงจรบัฟเฟอร์ขาออก ทำหน้าที่ปรับให้สัญญาณที่เข้ามามีค่า Impedance ต่ำลง เพื่อให้ส่งผ่านแรงดันสูงสุดไปยังแอมพลิฟายเออร์ที่มีค่า Impedance สูง โดยโครงสร้างจะเหมือนกับทางวงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า คือ สัญญาณจะออกจากขามิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่มีความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม จากตัวต้านทาน R_{13} และไบอัสด้วยแรงดัน 4.5 โวลต์ ผ่านตัวต้านทาน R_{12} ขนาด 510 กิโลโอห์ม ที่ขาเบส

3.1.5.1 การคำนวณค่า Impedance ของวงจรบัฟเฟอร์ขาออก

$$Z_{out} = R_C // [R_B + (R_{13} // \frac{r_\pi + R_{12}}{\beta + 1})] \quad (3.17)$$

เมื่อ

$$R_{12} \gg r_\pi$$

$$Z_{out} = R_C // [R_B + (R_{13} // \frac{R_{12}}{\beta + 1})] \quad (3.17.1)$$

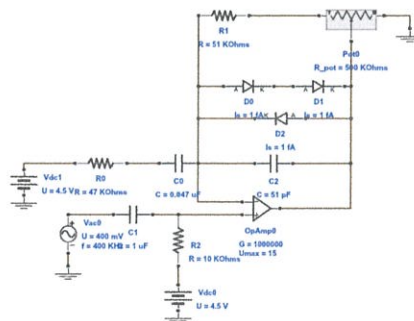
$$Z_{out} = 10K // [100 + (10K // \frac{510K}{350 + 1})] \quad (3.17.2)$$

$$Z_{out} = 1.2K \quad (3.17.3)$$

ที่ขามิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ C_9 ขนาด 10 ไมโครฟารัด เพื่อควบคุมระดับของสัญญาณก่อนจะออกไปยังแอมพลิฟายเออร์ต่อไป

3.1.6 การปรับแต่งวงจรดีสทอร์ชัน โดยใช้วงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด (Asymmetric Diode Clipping)

วงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอดเป็นลักษณะของวงจรจำกัดสัญญาณแบบหนึ่ง ที่จำกัดขนาดของสัญญาณด้านบวกและด้านลบไม่เท่ากัน ทำให้สัญญาณที่ได้มีลักษณะบิดเบือนไปจากเดิม



รูปที่ 3.41 วงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด

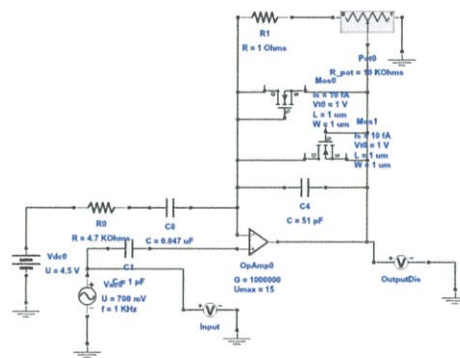
จากรูปที่ 3.41 เป็นวงจร Diode limiter ที่ได้เลือกเอาคุณสมบัติของการต่อไดโอดแบบอนุกรมมาใช้ในการจำกัดขนาดของสัญญาณ เราสามารถทราบค่าแรงดันตกคร่อมหรือ Forward Voltage (V_F) ของการต่อไดโอดแบบอนุกรมได้จากผลรวมแรงดันตกคร่อมของไดโอดแต่ละตัวที่ต่ออนุกรมกัน ตามสมการ

$$V_{F,total} = V_{F1} + V_{F2} + V_{F3} + \dots \quad (3.18)$$

จากสมการที่ 3.18 เราสามารถหาค่า V_F ของวงจร Diode Clipping แบบไม่สมมาตร ได้ดังนี้

$$V_{F,total} = V_{F1} + V_{F2} \quad (3.18.1)$$

3.1.7 การปรับแต่งวงจรคัสเตอร์ชั้น โดยใช้วงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต



รูปที่ 3.42 วงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต

จากรูปที่ 3.42 เป็นวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟตที่ใช้มอสเฟตชนิดเอ็น-มอสเฟต ในการจำกัดขนาดของสัญญาณ ข้อดีของการใช้มอสเฟต คือ ไม่ต้องใช้ไดโอดหรือตัวต้านทานในการไบอัสแรงดันไฟฟ้า เพราะมอสเฟตใช้แรงดันไฟฟ้าในการไบอัสแรงดันโดยต่างจากทรานซิสเตอร์ที่ต้องใช้กระแสในการไบอัส

3.1.8 การปรับแต่งวงจรคัสเตอร์ชั้น โดยใช้เสียงแบบ Flat

เป็นการผสมสัญญาณที่ผ่านการตัดยอดคลื่นที่ผ่านวงจรควบคุมโทนเสียงกับสัญญาณที่ไม่ผ่านวงจรควบคุมโทนเสียง ซึ่งทางดนตรีจะเรียกสัญญาณที่ไม่ผ่านการปรับแต่งโทนเสียงลักษณะแบบนี้ว่าเสียง Flat ซึ่งจะทำให้ได้เสียงที่แตกต่างกันออกมา

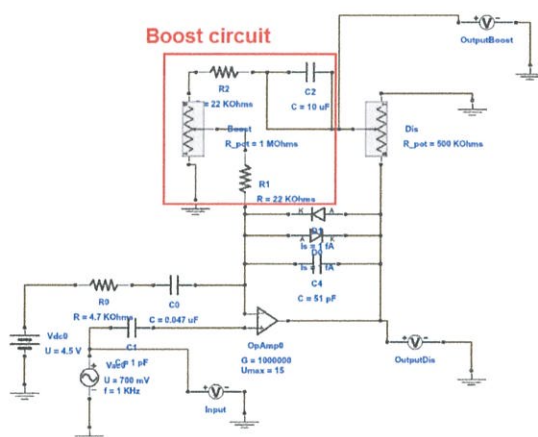
3.1.9 การปรับแต่งวงจรดีสทอร์ชัน โดยการตัดวงจรจำกัดขนาดและใช้เสียง Flat

ในส่วนนี้ไม่มีการใช้วงจรจำกัดสัญญาณ แต่จะใช้เสียงลักษณะ Flat ลักษณะเดียวกับกับหัวข้อก่อนหน้านี้ เพื่อต้องการเสียงที่มีเหมือนต้นฉบับแต่มีลักษณะคล้ายๆกับ Clean boost คือจะมีเสียงจะมีความราบเรียบมากขึ้นไปอีก

3.1.10 การปรับแต่งวงจรดีสทอร์ชัน โดยใช้วงจรมุส

การมุส หรือการยกระดับเสียง หมายถึง การเพิ่มความแข็งแรงให้กับสัญญาณกีตาร์ ก่อนที่สัญญาณจะวิ่งเข้าสู่แอมพลิฟายเออร์ ซึ่งการยกระดับเสียง แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การเพิ่มระดับสัญญาณให้มีระดับความดังเพิ่มขึ้น โดยไม่มีผลต่อความแตก (Distort)
2. การทำให้สัญญาณเกิด Peak และ Distort เป็นการเพิ่มให้เสียงแตกมากขึ้น



รูปที่ 3.43 วงจรมุส

3.1.10.1 คุณสมบัติของการยกระดับเสียง

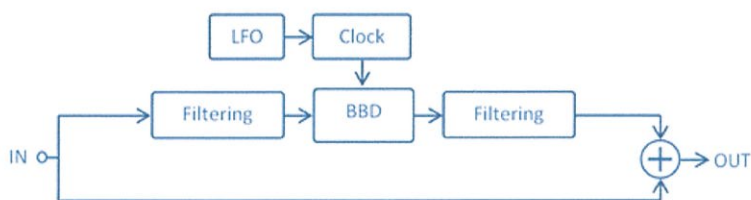
การยกระดับเสียงสามารถทำได้ก่อนหรือหลังที่สัญญาณจะเข้าสู่เอฟเฟคดีสทอร์ชัน/โอเวอร์ไดรฟ์ ก็ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการใช้งาน ดังนี้

1. Gain boost คือ การเพิ่มเกน หรือเพิ่มความถี่บางย่านไปพร้อมๆกัน การยกระดับเสียงประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะเพิ่มเสียงแตกและเพิ่มย่านเสียงกลาง จึงเหมาะสำหรับผู้เล่นกีตาร์ที่ต้องการให้เสียงมีความโดดเด่นในช่วงเล่นนำหรือท่อนโซโล่ เวลาใช้มักวาง Booster ไว้ก่อนเอฟเฟคดีสทอร์ชัน/โอเวอร์ไดรฟ์ตัวหลัก ซึ่งเอฟเฟคที่นิยมใช้ คือ Light Overdrive เช่น Ibanez TS808, TS9, Providence : Sonic Drive
2. Clean boost หรือ Level boost คือ การยกระดับเสียงให้ดังขึ้นมา โดยเพิ่มความดังของเสียงแต่ไม่ทำให้โทนเสียงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เสียงกีตาร์ที่ผ่าน Clean boost จะไม่ต่างจากเสียงเดิมมาก

แต่จะมีการยกระดับเสียงกีตาร์ให้สูงขึ้น เช่น ใช้เพื่อให้เสียงกีตาร์โซโล่พ้นจากเสียงของเครื่องดนตรีอื่นๆ เวลาใช้นิยมวาง Booster ไว้หลังเอฟเฟคดีสทอร์ชัน/โอเวอร์ไดรฟ์ตัวหลัก เอฟเฟคที่นิยมใช้ คือ Keeley : Katana Clean Boost, Providence: Final Booster, MXR Micro Amp

3.2 เอฟเฟคคอร์รัส : Boss CE-2

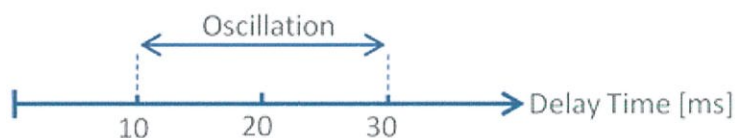
คอร์รัสเป็นพื้นฐานของเอฟเฟคดีเลย์ โดยผลลัพธ์ของเสียงเกิดจากการรวมสัญญาณขาเข้าดั้งเดิมกับความถี่ของเสียงที่วิ่งผ่านอุปกรณ์หน่วงเวลา BBD



รูปที่ 3.44 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเอฟเฟคคอร์รัส

ก่อนและหลังการหน่วงเวลาของ BBD บางขั้นตอนจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการทำลายสัญญาณโดยใช้ฟิลเตอร์ Pre/de emphasis และฟิลเตอร์ Anti-aliasing/Reconstruction

จำนวนของดีเลย์ที่ถูกใช้ในการมอดูเลตสัญญาณโดยเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ให้ความถี่ต่ำมักใช้เวลาหน่วงประมาณ 5-50 มิลลิวินาที และเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ให้ความถี่ต่ำใช้ความถี่ได้ถึง 20 เฮิร์ตซ์ ส่วนใหญ่จะแสดงสัญญาณเป็นสัญญาณไซน์ และรูปสามเหลี่ยม ซึ่งสัญญาณไซน์จะให้เสียงที่มีความนุ่มนวล ระดับเสียงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนสัญญาณรูปสามเหลี่ยมจะให้เสียง 2 ระดับเสียง และมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างเสียง (CE-2 ใช้สัญญาณความถี่ต่ำรูปสามเหลี่ยม)



รูปที่ 3.45 ช่วงเวลาของการหน่วงเวลา

การควบคุมของเอฟเฟคคอร์รัสแบบเหยียบ

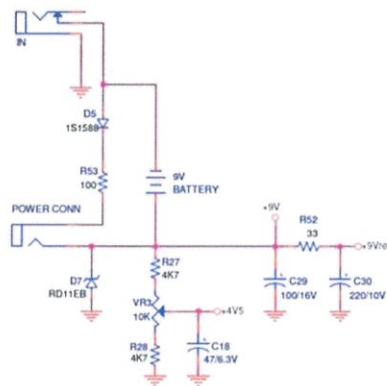
1. การมอดูเลชันอัตรา/ความเร็ว/ช่วงเวลา : มีการปรับสัญญาณความถี่ต่ำจาก 1-20 เฮิร์ตซ์ ในช่วงเสียงที่เกิดจากการสั่นของเสียงมนุษย์
2. การหน่วง : มีการปรับความหน่วงเพื่อใช้ในการมอดูเลตสัญญาณ
3. ความลึก/ช่วงการมอดูเลชัน : มีการปรับจำนวนการมอดูเลชันเพื่อใช้ในช่วงเวลาหน่วง
4. การผสม : มีการทำให้สัญญาณเดิมกับสัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลตมีความกลมกลืนกัน

5. ตัวเลือกระบบเสียง : บางการออกแบบประกอบด้วยการแสดงระบบเสียงที่สร้างจากคอร์สที่ดี และระบบเสียงที่กว้าง มีความเป็นไปได้หลายแบบ

- เอฟเฟค Boss CE-1 มี 2 ขาออก คือ ขาออก Dry จะไม่มีเอฟเฟค และขาออก Wet จะมีสัญญาณที่ถูกมอดูเลต การได้ยินทั้งสองสัญญาณถือเป็นการสร้างเอฟเฟคคอร์ส
- เอฟเฟค Boss CE-3 มี 2 ขาออก คือ ในด้านหนึ่งจะเพิ่มผลกระทบจากสัญญาณ Wet ไปในสัญญาณ Dry และในด้านอื่นจะลดผลกระทบจากสัญญาณ Dry
- บางวิธีจะสร้างสัญญาณ Wet 2 สัญญาณ และใช้การหน่วง 2 ค่าที่เป็นอิสระจากกัน เพื่อแบ่งปันสัญญาณความถี่ต่ำที่เหมือนกัน แต่ต้องปรับ 180 องศา
- ตัวเลือกของการสั้น เฉพาะสัญญาณ Dry ที่ถูกกำจัด ส่วนผลลัพธ์ของการมอดูเลตสัญญาณ Wet จะถูกเก็บไว้

3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

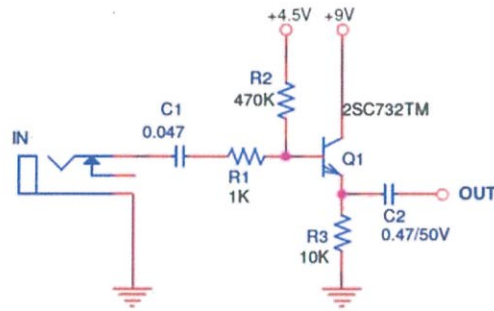
พาวเวอร์ซัพพลายเป็นแหล่งจ่ายพลังงานและแรงดันไบอัสให้แก่วงจรที่ใช้พลังงานที่ต่ำโดยประมาณ 9 มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 3.46 รูปวงจรแหล่งจ่ายไฟ

จากรูปที่ 3.46 ไดโอด D_7 ใช้เพื่อป้องกันการไหลกลับของกระแสไฟฟ้า มีตัวต้านทานใช้ลดทอนแรงดันประกอบไปด้วย R_{27} , R_{28} และ VR_3 เพื่อให้ได้กระแส 4.5 โวลต์ ซึ่งใช้ในป้อนแรงดันไบอัสในบางวงจร ตัวต้านทานแยกวงจร (+4.5 โวลต์) ใช้ค่าตัวเก็บประจุ C_{18} ขนาด 47 ไมโครฟารัด ที่ตำแหน่ง VR_3 จะเป็นตัววงจรให้เป็น 4.5 โวลต์ บางครั้งอาจเป็นการไหลดกระแสไฟในทุกขั้นตอน กระแสไฟแบตเตอรี่จะมีความอ่อนไหวต่อวงจรไบอัส จึงต้องมีการปรับปรุง ใน VR_3 ซึ่งจะนำกระแสไปใช้ในส่วนของหัวของวงจร วงจรที่เกิดขึ้นจาก C_{29} , R_{52} and C_{30} เป็นวงจร LPF ลำดับที่ 2 จะให้ค่าการลดทอน -40 dB/decade ที่ตัดช่วงความถี่ที่เกิน 22 เฮิร์ตซ์

3.2.2 วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า



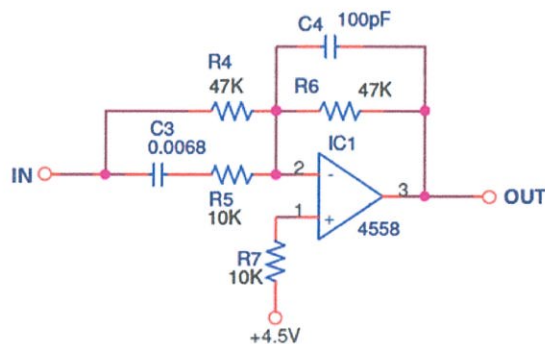
รูปที่ 3.47 วงจรบัฟเฟอร์ขาเข้า

ตัวเก็บประจุ C_1 ทำหน้าที่เป็น HPF ที่จะกรองเสียงฮัมจากความถี่ต่ำที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายไฟและจากกีตาร์ในส่วนที่ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 เชื่อมต่อกัน เพื่อป้องกันไฟฟ้ากระแสสลับไหลเข้าสู่ตัวเอฟเฟค ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายในวงจร

3.2.3 Pre-Emphasis & De-Emphasis Filters

สำหรับฟิลเตอร์ 2 ตัวนี้ จะเป็นการเน้นการใช้เสียงแหลม (Pre-Emphasis) และการลดการใช้เสียงแหลม (De-Emphasis) เพื่อให้สัญญาณไม่ผ่านการแต่งเติมจากเอฟเฟค สัญญาณที่ Output จะมีความสมดุลของโทนเสียงเหมือนเดิม แต่มีการปรับปรุง filter เพื่อหน่วงเวลาของสัญญาณ สัญญาณขาออกที่ผ่านการหน่วงเวลาจะลดการเกิดเสียงฟูลงได้ ด้วยจุดประสงค์นี้เองจึงได้มีการนำวงจรรองความถี่อันดับ 1 มาใช้ในส่วนขาเข้าและขาออกของวงจร

3.2.3.1 Pre-Emphasis Filter



รูปที่ 3.48 วงจร Pre-Emphasis Filter

วงจร Active Pre-Emphasis Filter ประกอบไปด้วยออปแอมป์เบอร์ 4558 ซึ่งเป็น Dual Op-amp วงจรนี้ออกแบบมาเพื่อเพิ่มขนาดของความถี่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่กลางๆ และความถี่ต่ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของให้กับค่า SNR ทั้งหมด โดยการลดผลกระทบจากการลดทอนและการบิดเบือนของสัญญาณก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งไปยังส่วนต่อไป

ในส่วนในช่วงความถี่ต่ำ C_3 และ R_5 จะเป็นเหมือน HPF เพื่อให้ความถี่สูงผ่าน ในวงจรนี้จึงมีอัตราขยายอยู่ 2 ค่าด้วยกันสำหรับความถี่สูงและความถี่ต่ำ และมีความถี่ f_c คำนวณได้จาก

$$G_{Low} = -\frac{R_6}{R_4} = -\frac{47K}{47K} = -1 \quad (3.18)$$

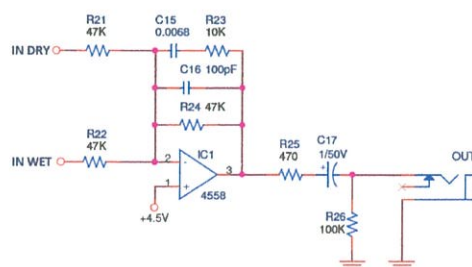
$$G_{High} = -\frac{R_6}{R_4//R_5} = \frac{47K}{47K//10K} = -5.7 \quad (3.19)$$

$$f_{c\ High} = \frac{1}{2\pi R_5 C_3} = \frac{1}{2\pi \times 10K \times 0.068\mu F} = 2.341\ kHz \quad (3.20)$$

$$f_{c\ Low} = \frac{1}{2\pi(R_4+R_5)C_3} = \frac{1}{2\pi \times (47K+10K) \times 0.068\mu F} = 410Hz \quad (3.21)$$

ที่ความถี่ที่สูงกว่า 2.341 กิโลเฮิร์ตซ์จะได้รับอัตราการขยาย 5.7 เท่า นอกเหนือจากนั้นจะไม่ได้รับการขยายอย่างที่ได้อีกแล้วในตอนแรก ตัวเก็บประจุ C_4 ที่อยู่ในส่วนป้อนกลับของออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นเหมือน LPF ที่มี $f_c = 410$ เฮิร์ตซ์ เพื่อกันความถี่สูงบางส่วนที่ไม่ต้องการและจำกัดแบนด์วิดท์ของสัญญาณด้วย ซึ่งนี่เป็นคุณสมบัติหนึ่งของเอฟเฟคตัวนี้เพื่อที่จะรักษาสัญญาณความถี่สูงให้มีคุณภาพ สรุปว่าวงจรส่วนนี้จะเพิ่มขนาดของความถี่ที่มากกว่า 410 Hz และที่ความถี่ 2.3 kHz จะมีอัตราการขยายคงที่ที่ 5.7 เท่า

3.2.3.2 De-Emphasis Filter



รูปที่ 3.49 วงจร De-Emphasis Filter

วงจรส่วนนี้เป็นส่วนกลับกันกับวงจร Pre-Emphasis สร้างโดยใช้ออปแอมป์ 4558 เช่นเดียวกัน แต่วงจรนี้ออกแบบมาเพื่อลดทอนสัญญาณความถี่สูงเมื่อเทียบกับความถี่ปานกลางและความถี่ต่ำ สรุปคือ วงจร De-Emphasis จะทำให้สัญญาณที่ผ่านมาจากวงจร Pre-Emphasis กลับเป็นเหมือนเดิมนั่นเอง

ออปแอมป์ถูกออกแบบให้อยู่ในรูปของ Humming amplifier โดยขนาดของตัวต้านทาน R_{21} และ R_{22} ที่มีค่าเท่ากัน เท่ากับ 47 k Ω แสดงให้เห็นการรวมกันของอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ผ่านเอฟเฟกกับสัญญาณที่ไม่ผ่านเอฟเฟกอย่างละเท่าๆกัน

$$G_{Low} = -\frac{R_{24}}{R_{21}} = -\frac{47K}{47K} = -1(0dB) \quad (3.22)$$

$$G_{High} = -\frac{R_{24} // R_{23}}{R_{21}} = \frac{47K // 10K}{47K} = -0.17(-15dB) \quad (3.23)$$

$$f_{c High} = \frac{1}{2\pi R_{23} C_{15}} = \frac{1}{2\pi \times 10K \times 0.068\mu F} = 2.341KHz \quad (3.24)$$

$$f_{c Low} = \frac{1}{2\pi (R_{23} + R_{24}) C_3} = \frac{1}{2\pi \times (47K + 10K) \times 0.068\mu F} = 410Hz \quad (3.25)$$

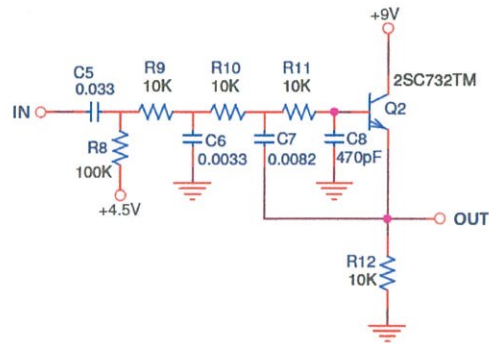
ตัวเก็บประจุ C_{16} ทำหน้าที่เป็น LPF เช่นกันกับวงจร Pre-emphasis filter

สรุปได้ว่า วงจรส่วนนี้จะลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่มากกว่า 410 เฮิรตซ์ จนถึงสัญญาณที่มีความถี่ 2.3 กิโลเฮิรตซ์ จึงจะได้รับอัตราการขยายเป็น 5.7 เท่า

3.2.4 Anti-Aliasing Filter & Reconstruction Filter

Anti-Aliasing Filter ใช้เพื่อการป้องกันและจำกัดสัญญาณขาเข้า และลบสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่ไม่ต้องการออกก่อนที่จะเข้าสู่วงจร BBD ต่อไป ในกระบวนการกลับกัน Reconstruction Filters ใช้กับสัญญาณขาออกที่ผ่านการสุ่มตัวอย่างจาก BBD เพื่อลบสเปกตรัมของสัญญาณที่เราต้องการ Anti-Aliasing Filter เป็นวงจร Active LPF ที่ทำงานอยู่ก่อนหน้าวงจร BBD เพื่อ จำกัดแบนด์วิดท์ของสัญญาณตามทฤษฎี Nyquist-Shannon Sampling โดยการจำกัดแบนด์วิดท์นั้นทำเพื่อไม่ให้สัญญาณความถี่สูงถูกบันทึกเป็นความถี่ต่ำ

3.2.4.1 Anti-Aliasing Filter



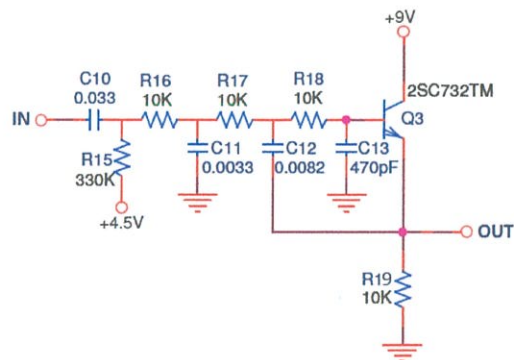
รูปที่ 3.50 วงจร Anti-Aliasing Filter

ก่อนจะเข้าสู่ Anti-Aliasing Filter จะมี Passive HPF ที่เกิดจาก R_8 และ C_5 ซึ่งมี f_c เท่ากับ

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_8 C_5} = \frac{1}{2\pi \times 100K \times 0.033\mu F} = 48.2 \text{ Hz} \quad (3.26)$$

ทำหน้าที่จำกัดและตัดเสียงฮัมที่อยู่ในสัญญาณ ซึ่งก็คือความถี่ต่ำมากๆ แล้วยังมี LPF อีก 2 ตัวต่อจากส่วนนี้ที่มีความถี่ f_c 6.6 เฮิรตซ์ และ 6.9 เฮิรตซ์ตามลำดับ ฟิลเตอร์ทั้ง 2 ตัวจึงรวมกันเป็น BPF ที่ช่วงความถี่ 48.2 เฮิรตซ์ ถึง 6.6 กิโลเฮิรตซ์

3.2.4.2 Reconstruction Filters



รูปที่ 3.51 วงจร Reconstruction Filters

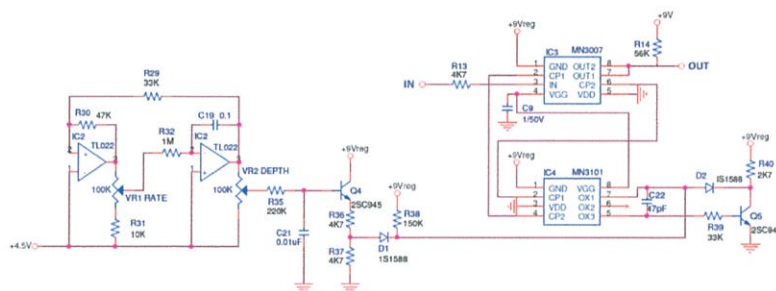
Reconstruction Filters เป็น LPF ที่ใช้เพื่อสร้างสัญญาณอะนาล็อกที่ราบรื่น หลังจากผ่านการสุ่มตัวอย่างจากวงจร BBD สัญญาณขาออกจะถูกจำกัดขนาดเพื่อนำสัญญาณนาฬิกาออกจาก

สัญญาณ และป้องกันก่อนจะเข้าสู่ Reconstruction Filters เช่นเดียวกับ Anti-Aliasing Filter มีวงจร HPF ที่มีความถี่ f_c เท่ากับ

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{15} C_{10}} = \frac{1}{2\pi \times 330K \times 0.033\mu F} = 14.6 \text{ Hz} \quad (3.27)$$

หลังจากนั้นก็ตามด้วย LPF อีก 2 ตัวเช่นกันที่ความถี่ f_c เท่ากับ 6.6 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 6.9 กิโลเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ รวมกันเป็น BPF ช่วงความถี่ 14.6 เฮิร์ตซ์ ถึง 6.6 กิโลเฮิร์ตซ์

3.2.5 The Bucket Brigade Device Stage



รูปที่ 3.52 วงจร Bucket Brigade Device

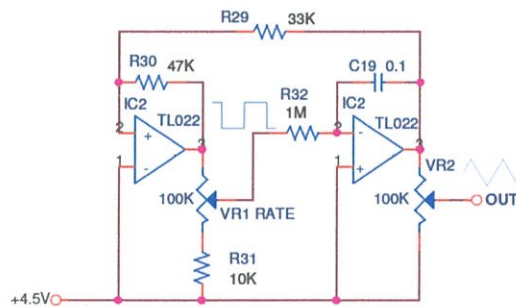
เป็นส่วนหลักของวงจรทั้งหมดใน Boss CE-2 โดยมี MN3007 ซึ่งเป็น BBD ที่ตอบสนองต่อเสียงได้ดี ใช้ร่วมกับตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา MN3101 และในเวลาเดียวกัน Low frequency oscillator มีความจำเป็นต่อการทำงานของ MN3101 ในการสร้างดีเลย์ให้กับสัญญาณ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของเอฟเฟคตัวนี้

1. MN3007 เป็น BBD ที่มี 1024 สถานะ ซึ่งสามารถสร้างค่าดีเลย์ได้ 5.12 – 21.2 ms การจะสร้างเอฟเฟคคอรัส ต้องใช้ค่าดีเลย์ตั้งแต่ 5–40 มิลลิวินาที ซึ่ง MN3007 สามารถทำได้โดยมีค่า SNR สูง การผิดเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ทั้งหมดต่ำ และใช้แรงดันไฟได้ตั้งแต่ -10 โวลต์ ถึง -15 โวลต์
2. MN3101 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ออกแบบมาเพื่อให้ทำงานร่วมกับ MN3007 โดยใช้สัญญาณนาฬิกา 2 เฟส ค่าความถี่จะถูกเลือกโดยส่วน LFO มีการทำงานโดยรวมคือ ที่ตัวเก็บประจุ C22 ขนาด 47 พิโกฟารัด จะมีอัตราการเก็บและคายประจุรวดเร็ว แต่แรงดันตกคร่อม ตัวเก็บประจุนี้ จะถูกควบคุมโดย LFO ที่ผ่านจากตัวบัพเฟอร์ Q4

3. ทรานซิสเตอร์ Q_5 จะทำหน้าที่ควบคุมเวลาการคายประจุของ C_{22} ซึ่งเก็บประจุจากตัวต้านทาน R_{38} ขนาด 150 กิโลโอห์ม Q_5 และ MN3101 จะทำงานด้วยตัวเองที่ความถี่ที่ค่าหนึ่งโดยไม่ต้องมี Q_4 เข้ามาเกี่ยวข้องกับขาออกที่ 5 ของ MN3101 มีค่าแรงดันมาก Q_5 จะทำงาน และทำให้ C_{22} คายประจุเพื่อให้ค่าสัญญาณขาออกต่ำลง เมื่อค่าแรงดันลดลง Q_5 ก็จะหยุดทำงาน และ C_{22} ก็จะเก็บประจุอีกครั้ง ทำงานวนไปแบบนี้ด้วยความเร็วสูงมากๆ
4. ทรานซิสเตอร์ Q_4 ที่ต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม เป็นตัวบัฟเฟอร์สัญญาณรูปสามเหลี่ยมจากส่วน LFO ขณะที่ C_{22} คายประจุ ไดโอด D_1 จะกันสัญญาณไม่ให้ไหลย้อนกลับไปขาออกของทรานซิสเตอร์ Q_4 และจะเพิ่มแรงดันขดเซย์ให้สอดคล้องกับแรงดันที่ออกจาก LFO ขณะนั้นการเก็บแรงดันขดเซย์ของตัวเก็บประจุ หาได้จาก

$$[(V_{Out_{LFO}} - V_{BE})/2] - V_{F_{diode}} \quad (3.28)$$

3.2.6 Boss CE-2 LFO Low Frequency Oscillator



รูปที่ 3.53 วงจร Low Frequency Oscillator

เอฟเฟคคอร์สสร้างโดยการมอดูเลตสัญญาณดีเลย์ โดยการใช้ LFO ในรอบการทำงานของ LFO ค่าเวลาดีเลย์จะถูกปรับให้มากและน้อย ทำให้ระดับเสียงของดีเลย์เปลี่ยนไปด้วย LFO สร้างขึ้นจากออปแอมป์ TL022 ต่อคาสเคดกัน ซึ่งออปแอมป์เบอร์นี้ใช้พลังงานน้อย ซึ่งเป็นผลดีต่อการป้องกัน ticking ในแหล่งจ่าย ticking สามารถรวมกับสัญญาณที่ LFO ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของคลื่นสี่เหลี่ยม หรือเกิดการกระชากอย่างฉับพลัน ซึ่งไม่ใช่ผลดีอย่างแน่นอน ออปแอมป์ตัวแรกจะทำการสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ขณะที่ตัวที่สองสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

สรุปว่าวงจรนี้จะสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่มีค่าความถี่ และแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ หลังจากผ่านส่วนของ LFO จะมี LPF ที่เกิดจาก R_{35} , C_{21} ที่มีความถี่ f_c เท่ากับ 72 เฮิรตซ์ ซึ่งจะ

กรองความถี่สูงและลบสัญญาณ Ticking ออกด้วย ส่วนออปแอมป์ตัวแรกจะตรวจสอบสัญญาณในด้านบวก ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบซึ่งสามารถคำนวณความถี่ Oscillation ได้จากสมการ

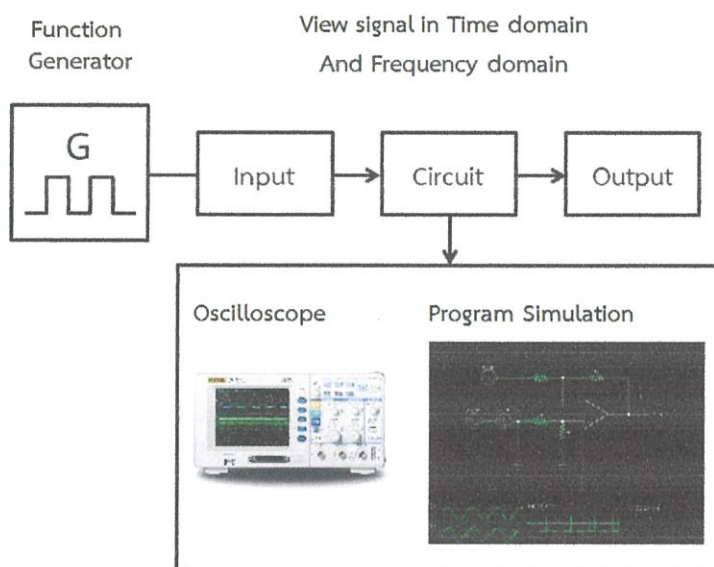
$$f_{osc} = \frac{1}{4 \times C_{19} R_{29} R_{32}} = \frac{1}{4 \times 0.1 \mu F \times 33 K \times 1 M} = 3.5 \text{ Hz} \quad (3.29)$$

การควบคุมอัตราสูงสุดที่ให้ความถี่ Oscillation 3.5 เฮิรตซ์ จะลดลงเมื่อมีการหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ VR₁ ซึ่งจะควบคุมอัตราของเอฟเฟคคอร์ตส โดยออปแอมป์ตัวที่สองเป็นวงจรรวมสัญญาณซึ่งจะสร้างความลาดชันให้สัญญาณ ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR₂ จะปรับเปลี่ยนความสูงชันของสัญญาณ นั่นคือการเปลี่ยนแอมพลิจูดโดยความถี่ยังคงเท่าเดิม ตัวแปรในที่นี้เป็นการควบคุมค่า Dept ของเอฟเฟคคอร์ตส

บทที่ 4

ผลการทดลอง

โครงการนี้ทำการทดลองการนำวงจรสำเร็จรูปของเอฟเฟคกีตาร์จำนวน 2 ชนิด คือ ดิสทอร์ชันของ Tube Screamer by Ibanez และคอร์ริสของ Boss CE-2 มาแบ่งวงจรออกเป็น ส่วนๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณ รวมทั้งมีการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละ ส่วนของวงจร



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบวงจร

ในการทดสอบวงจรเพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่ ใช้ในการอธิบายการทำงานของ วงจรในแต่ละส่วนว่ามีผลต่อสัญญาณที่ป้อนเข้าไปเพื่อทำการทดสอบอย่างไร โดยสัญญาณที่ป้อนเข้า ไปจะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ และแอมพลิจูดใกล้เคียงกับโน้ตของสัญญาณที่ได้จากกีตาร์ไฟฟ้า

4.1 การจำลองวงจรดิสทอร์ชัน : Tube Screamer

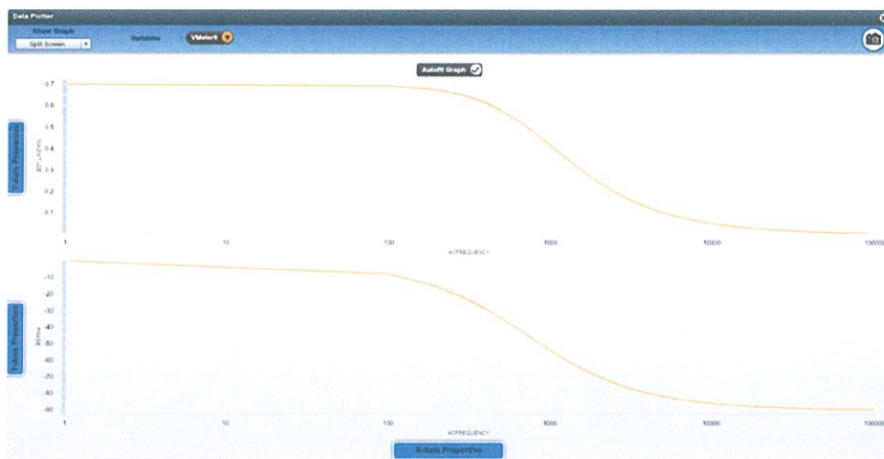
การจำลองวงจรดิสทอร์ชันของเอฟเฟค Tube Screamer ทำให้ทราบถึงผลตอบสนองทาง เวลา (Time domain) และผลตอบสนองทางความถี่ (Frequency domain) เพื่อนำมาใช้ในการ วิเคราะห์การทำงานของวงจรส่วนต่างๆ โดยมีตัวแปรที่ควบคุมได้คือ Drive ที่ให้อัตราขยายและความ คุมความไม่เป็นเชิงเส้นของสัญญาณ และโทนปรับความถี่ Cut off ที่จะควบคุมโทนเสียง

4.1.1 การจำลองวงจร Passive Low-Pass Filter

จากการคำนวณความถี่ Cut-off ในสมการที่ (3.15) คือ

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(1k)(0.22\mu F)} = 723.4315 \text{ Hz} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ 4.1 ทำให้ทราบว่าความถี่ Cut-off ของ LPF คือ 723.4315 เฮิรตซ์ ซึ่งความถี่ Cut-off ของ LPF ทำให้ความถี่ฮาร์มอนิกที่ความถี่สูงกว่าถูกลดทอนลง แสดงผลตอบสนองทางของ Passive LPF ได้ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเส้นสีเหลืองคือ สัญญาณที่ผ่านวงจร Passive Low-Pass Filter



รูปที่ 4.2 การตอบสนองทางความถี่ของ Passive LPF

จากรูปที่ 4.2 สรุปได้ว่า วงจร Passive LPF มีการทำงานเหมือนกับ LPF ทั่วไปคือ เกิดการลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 723.4315 เฮิรตซ์

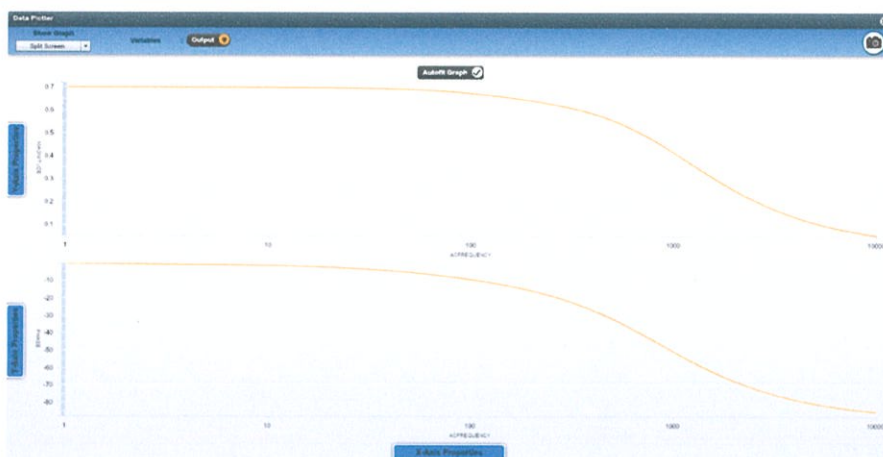
4.1.2 การจำลองวงจร Active Tone Circuit

ในการทดสอบวงจร Active Tone Circuit ของเอฟเฟค Tube Screamer ด้วยการป้อนสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 700 มิลลิโวลต์ เพื่อดูผลตอบสนองทางความถี่ ซึ่งเส้นสีเหลืองคือ สัญญาณที่ผ่านวงจร Active Tone Circuit

สำหรับการปรับค่าความต้านทานไปทางด้านลบ เป็นการเพิ่มเสียงแหลมให้กับวงจร จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าวงจรทำหน้าที่เป็น HPF ที่มีความถี่ Cut-off ประมาณ 723.4315 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลตอบสนองสองทางความถี่ เมื่อปรับตัวต้านทานไปในทางลบ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลตอบสนองสองทางความถี่ เมื่อปรับตัวต้านทานไปในทางบวก

ส่วนการปรับค่าความต้านทานไปทางด้านบวก เป็นการเพิ่มเสียงฮัมหรือเสียงเบสให้กับวงจร จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าวงจรทำหน้าที่เป็น LPF ที่มีความถี่ Cut-off ประมาณ 723.4315 เฮิรตซ์

4.1.3 การจำลองวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด (Asymmetric Diode Clipping)

ในการจำลองวงจร Diode Clipping แบบไม่สมมาตร โดยป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 700 มิลลิโวลต์ จะได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลา ดังรูปที่ 4.5 และ 4.7 และได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.8

ในรูปที่ 4.5 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปเพื่อทดสอบ ส่วนเส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วยไดโอดแบบไม่สมมาตรด้านบวก



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Diode clipping แบบไม่สมมาตรด้านบวก

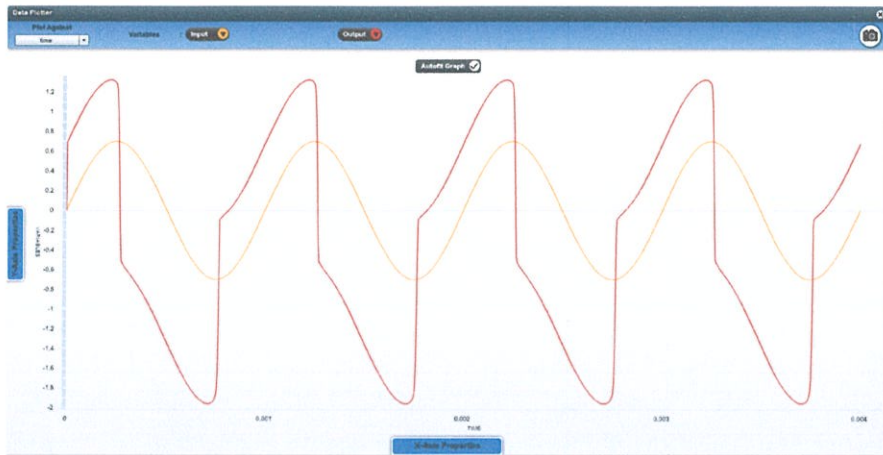
จากรูปที่ 4.5 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของสัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร Diode clipping แบบไม่สมมาตรทางด้านบวก หรือก็คือสัญญาณด้านบวกที่มีแอมพลิจูดมากกว่าสัญญาณด้านลบ ซึ่งเป็นผลมาจากการต่อไดโอด 2 ตัวอนุกรมกันในส่วนตอบกลับ (Feedback) ของออปแอมป์ที่หันไปทางด้านขาออกทำให้แรงดันไบอัสของไดโอดเพิ่มขึ้น สัญญาณที่ผ่านเข้ามาจึงมีขนาดเพิ่มขึ้นด้วย

ในรูปที่ 4.6 เส้นสีแดง คือ สัญญาณในโดเมนความถี่ที่ผ่านวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วย ไดโอดแบบไม่สมมาตรด้านบวก



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Diode clipping แบบไม่สมมาตรด้านบวก

ในรูปที่ 4.7 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปเพื่อทดสอบ ส่วนเส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วยไดโอดแบบไม่สมมาตรด้านลบ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Diode Clipping แบบไม่สมมาตรด้านลบ

จากรูปที่ 4.7 ก็มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.5 แต่เป็นสัญญาณที่ไม่สมมาตรทางด้านลบ โดยสลับทิศทางของไดโอดที่ต่ออนุกรมกันไปทางขา Inverting ของออปแอมป์

ในรูปที่ 4.8 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบในโดเมนความถี่และเฟส เส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรตัดยอดคลื่นแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอดในโดเมนความถี่และเฟส



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Diode Clipping แบบไม่สมมาตรด้านลบ

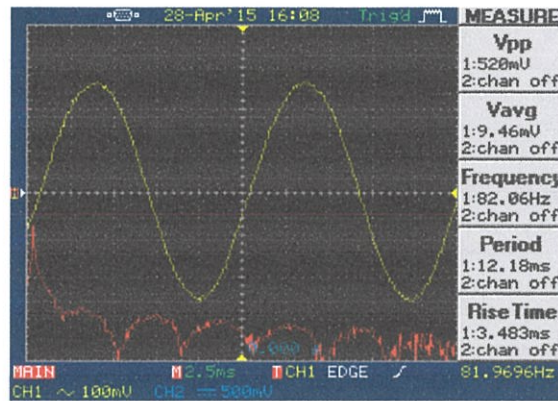
จากรูปที่ 4.7 ก็มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.5 แต่เป็นสัญญาณที่ไม่สมมาตรทางด้านลบ โดยสลับทิศทางของไดโอดที่ต่ออนุกรมกันไปทางขา Inverting ของออปแอมป์

ส่วนรูปที่ 4.6 และ 4.8 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Diode clipping แบบไม่สมมาตร จะเห็นว่ามึผลตอบสนองเป็นวงจรกรองความถี่แบบ HPF ที่มีความถี่ Cut off = 720.484

เฮิร์ตซ์ ความถี่ที่ถูกจำกัดขนาดเป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณขาเข้าที่ได้ทดลองป้อนเข้าไปในวงจร ซึ่งการจำกัดขนาดของสัญญาณแบบนี้ยังคงเป็นการจำกัดขนาดแบบ Soft clipping

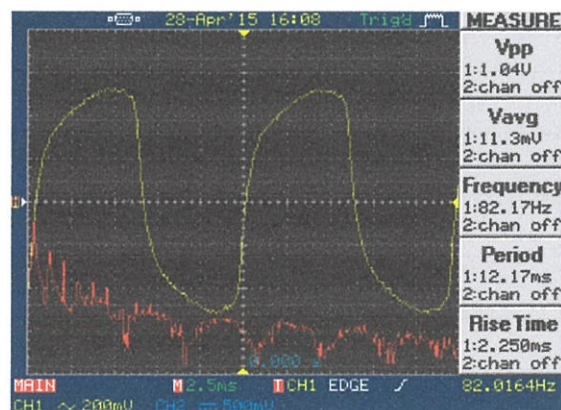
4.1.4 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรด้วยไดโอด

ในการทดลองป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 82 เฮิร์ตซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับความถี่หลักของกีตาร์สายที่ 6 เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่ ซึ่งเส้นสีเหลืองคือ สัญญาณในโดเมนเวลาที่ผ่านส่วนวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วยไดโอดแบบไม่สมมาตร ส่วนเส้นสีแดงคือ สเปกตรัมของสัญญาณที่ผ่านส่วนวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วยไดโอดแบบไม่สมมาตร



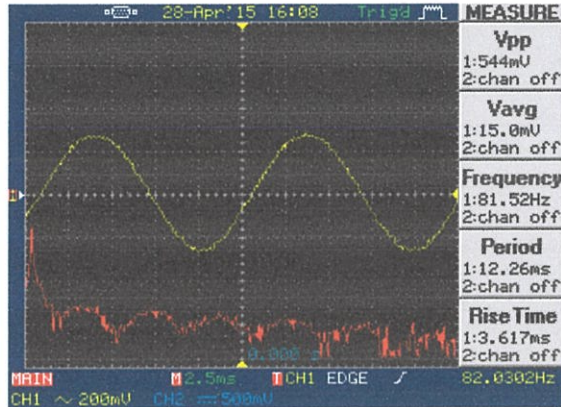
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = min

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าแอมพลิจูดของสัญญาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากได้ปรับ Volume ไว้ที่ค่าสูงสุดเพื่อให้เอฟเฟกต์มีสัญญาณผ่านไปได้ ส่วนสัญญาณที่เข้ามายังไม่ได้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ใดๆ จึงมีความถี่ของสัญญาณ Fundamental เพียงตัวเดียวเกิดขึ้น



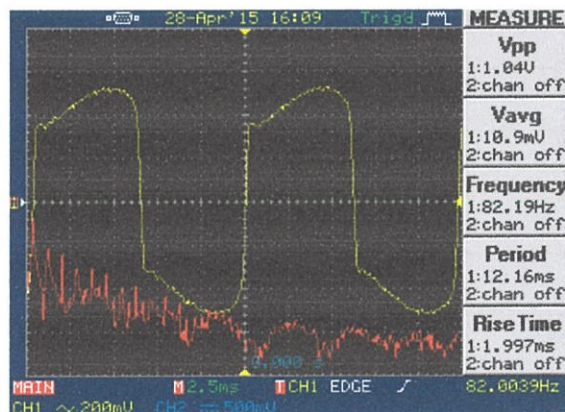
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = min

จากรูปที่ 4.10 เมื่อปรับค่า Dis = max จะเห็นว่ามีความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2-6 เพิ่มขึ้น และสัญญาณจะถูกตัดยอดสัญญาณด้วยไดโอดในลักษณะที่ไม่สมมาตร



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = max

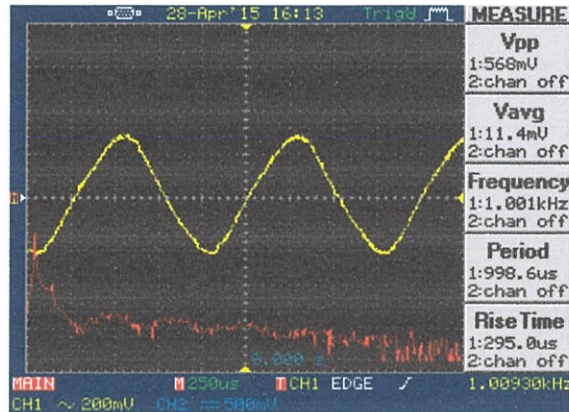
จากรูปที่ 4.11 เมื่อปรับค่า Tone = max สัญญาณยังมีลักษณะเป็นเหมือนสัญญาณต้นฉบับ แต่มีขนาดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการปรับ Tone = max เป็นการเพิ่มเสียง Bass โดยมี LPF ที่ความถี่ 723.4 เฮิรตซ์ เป็นตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ส่วนที่ความถี่ 82 เฮิรตซ์ สัญญาณสามารถผ่านได้จึงมีขนาดเพิ่มขึ้นโดยไม่มีค่าฮาร์โมนิกเพิ่มขึ้น



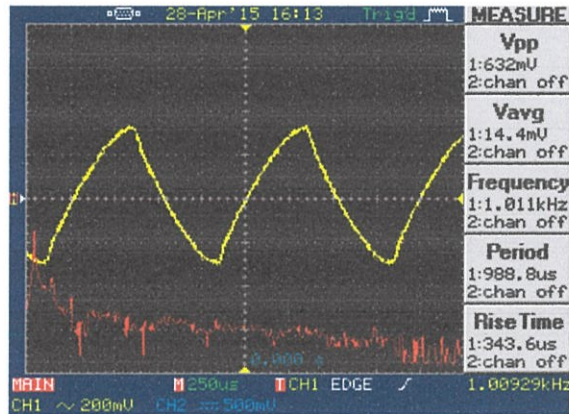
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = max

เมื่อปรับค่า Drive = max, Tone = max ดังรูปที่ 4.12 สังเกตได้ว่าความถี่ฮาร์โมนิกอันดับคี่จะมีขนาดเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าความถี่ฮาร์โมนิกอันดับคู่

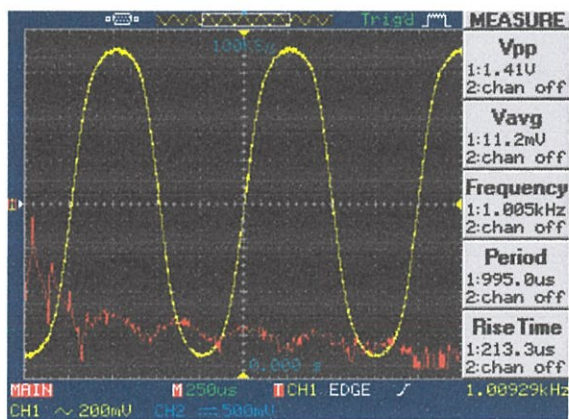
การทดลองป้อนสัญญาณ Sine ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 400 มิลลิโวลต์ เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่



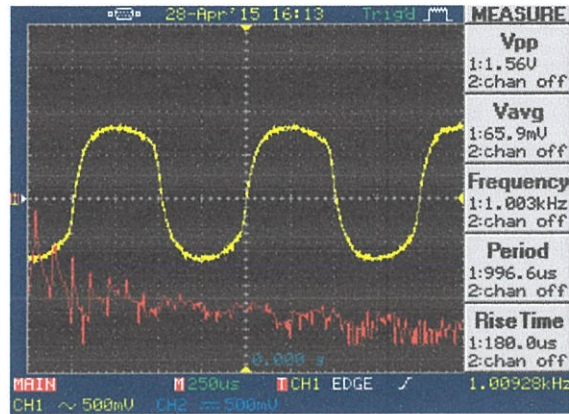
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = min



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = min



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = max



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = max

จากรูปที่ 4.13 เมื่อยังไม่ได้ทำการปรับค่าใดๆ สัญญาณจะมีลักษณะเหมือนสัญญาณต้นฉบับที่เข้ามา เมื่อปรับค่า Drive = max ดังรูปที่ 4.14 สัญญาณจะถูกตัดยอดจึงมีความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 และ 3 เพิ่มเข้ามา สังเกตได้ว่าที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ความถี่ฮาร์มอนิกเพิ่มขึ้นน้อยกว่าที่ความถี่ 82 เฮิร์ตซ์ เนื่องจากมี LPF ที่ความถี่ 723.4 เฮิร์ตซ์ ลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า เมื่อปรับค่า Tone = max ดังรูปที่ 4.15 สัญญาณจะมีขนาดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความถี่ฮาร์มอนิกเพิ่มขึ้น และเมื่อปรับ Drive = max, Tone = max ดังรูปที่ 4.16 สัญญาณจะถูกตัดยอดสัญญาณ และมีความถี่ฮาร์มอนิกเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างน้อยก็ต่ำกว่าตอนที่ป้อนความถี่ 82 เฮิร์ตซ์ เป็นผลมาจากส่วนของ LPF ก่อนวงจร Clipping amplifier กรองความถี่สูงกว่า 723 เฮิร์ตซ์

4.1.5 การจำลองวงจรตัดยอดคลื่นสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต

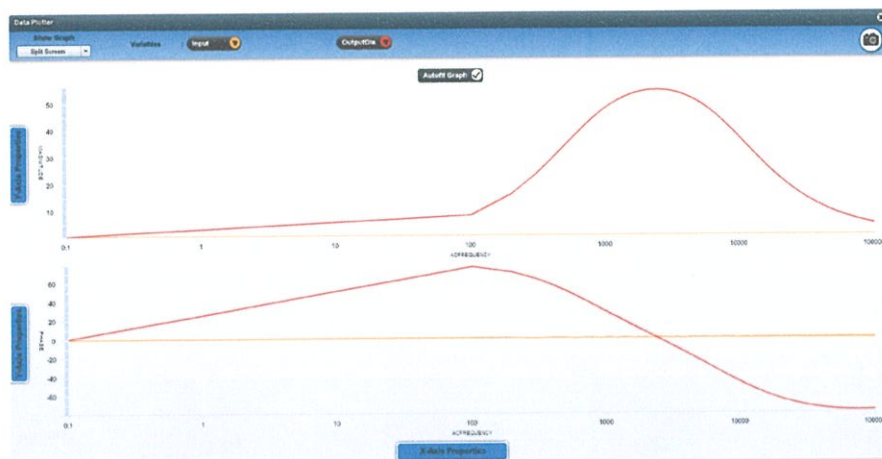
ในการจำลองวงจร Symmetrical MOSFET Clipping โดยป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 700 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรตัดยอดสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต

ในรูปที่ 4.17 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปเพื่อทดสอบ ส่วนเส้นสีแดงคือ สัญญาณที่ผ่านส่วนวงจรตัดยอดคลื่นสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต

ในรูปที่ 4.18 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบในโดเมนความถี่และเฟส ส่วนเส้นสีแดงคือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรตัดยอดคลื่นแบบสมมาตรด้วยมอสเฟตในโดเมนความถี่และเฟส

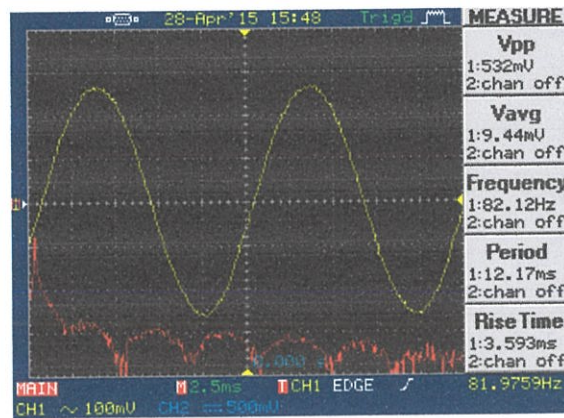


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรตัดยอดสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต

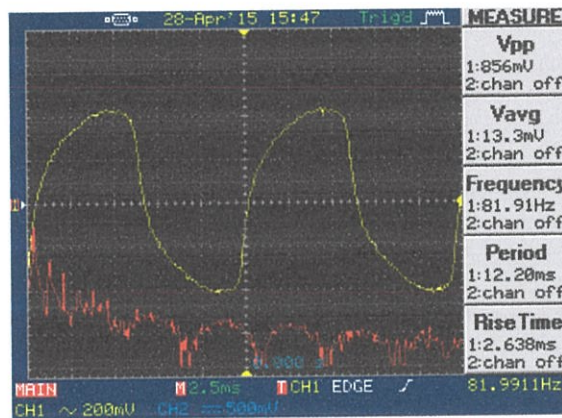
จากรูปที่ 4.18 ในการทดลองใช้วงจร MOSFET Clipping จำกัดขนาดของสัญญาณ จะเห็นว่าบริเวณส่วนยอดของสัญญาณที่ถูกตัดยอดสัญญาณนั้น มีความราบเรียบมากกว่าการใช้ไดโอด เพราะมอสเฟตทำงานตามแรงดันของสัญญาณขาเข้า ถ้าแรงดันมีค่าน้อยกว่าค่า Threshold ของมอสเฟตสัญญาณจะผ่านไปได้ แต่ถ้าแรงดันมีค่ามากกว่าค่า Threshold ของมอสเฟต สัญญาณจะค่อยๆ จำกัดขนาดของสัญญาณไว้ที่ค่า Threshold นั้น วงจรมอสเฟตยังให้ผลตอบสนองทางความถี่เป็นลักษณะของวงจร BPF ที่ให้ความถี่ช่วงประมาณ 120 เฮิรตซ์ ถึง 10 กิโลเฮิรตซ์ ผ่านไปได้

4.1.6 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของวงจรตัดยอดคลื่นสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต

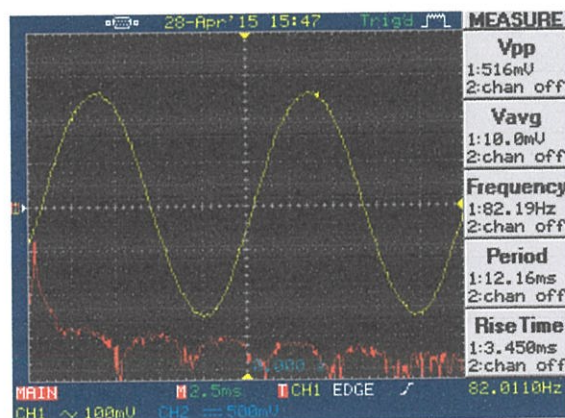
ในการทดลองป้อนสัญญาณไซน์ ความถี่ 82 เฮิรตซ์ ซึ่งเท่ากับกีตาร์สายที่ 6 แรงดันไฟฟ้าขนาด 400 มิลลิโวลต์ เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่ ซึ่งเส้นสีเหลือง คือ สัญญาณในโดเมนเวลาที่ผ่านส่วนวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณด้วยไดโอดแบบไม่สมมาตร ส่วนเส้นสีแดง คือ สเปกตรัมของสัญญาณที่ผ่านส่วนวงจรตัดยอดคลื่นสัญญาณแบบสมมาตรด้วยมอสเฟต



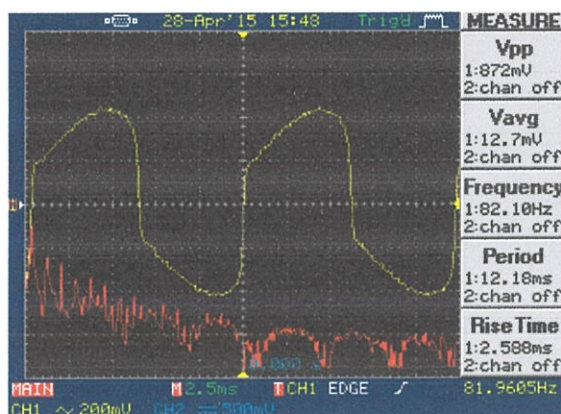
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = min



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = min



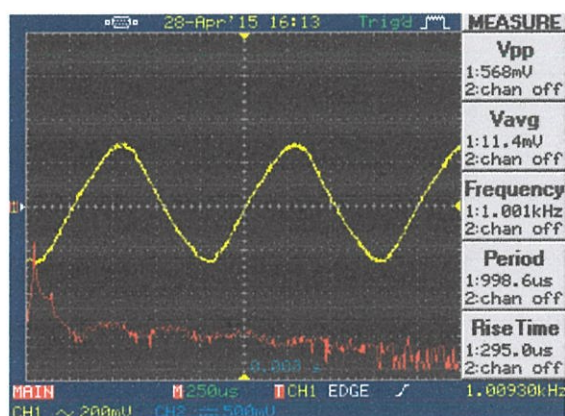
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = max



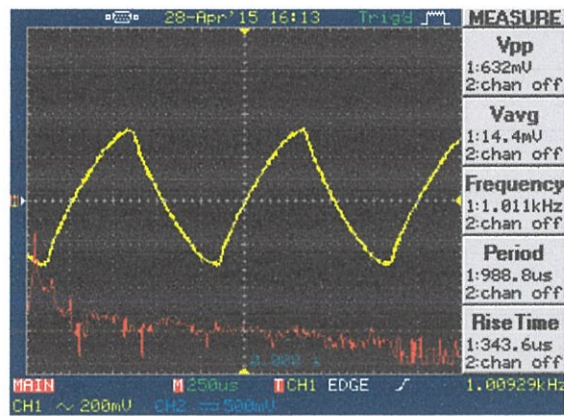
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = max

จากรูปที่ 4.19 สัญญาณที่ได้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณต้นฉบับและมีขนาดสูงขึ้นเล็กน้อยจากการปรับ Volume เมื่อปรับ Drive = max ดังรูปที่ 4.20 จะมีความถี่ฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้น และสัญญาณถูกตัดยอดด้วย เมื่อปรับ Tone = max เพื่อเพิ่มเสียง Bass ดังรูปที่ 4.21 สัญญาณจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในรูปที่ 4.22 สัญญาณถูกตัดยอดด้วยมอสเฟต สังเกตได้ว่ารูปร่างสัญญาณมีลักษณะราบเรียบกว่าการใช้ไดโอดตัดยอดสัญญาณ และมีความถี่ฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 10 พาร์ตเฮิร์ตซ์

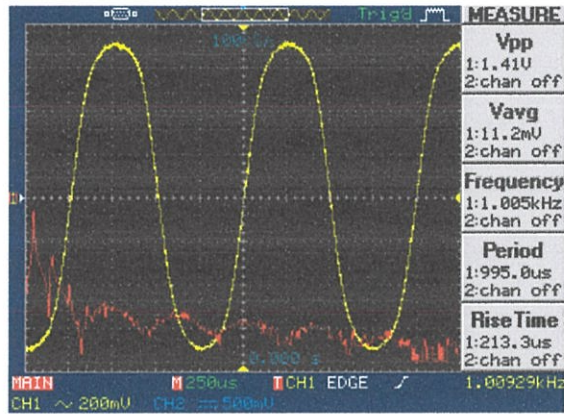
การทดลองป้อนสัญญาณไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ แรงดันไฟฟ้าขนาด 400 มิลลิโวลต์ เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่



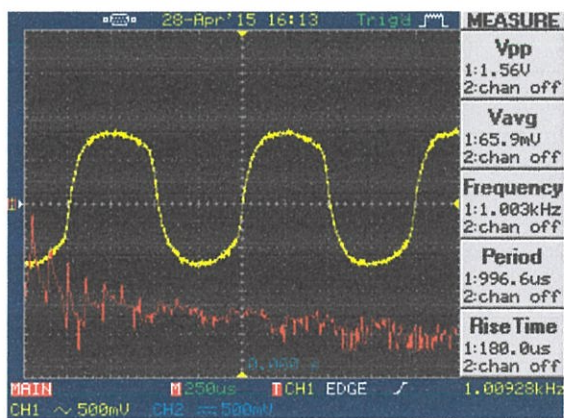
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = min



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = min



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = max

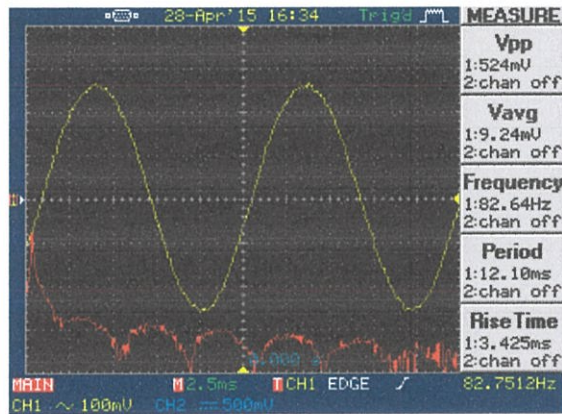


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = max

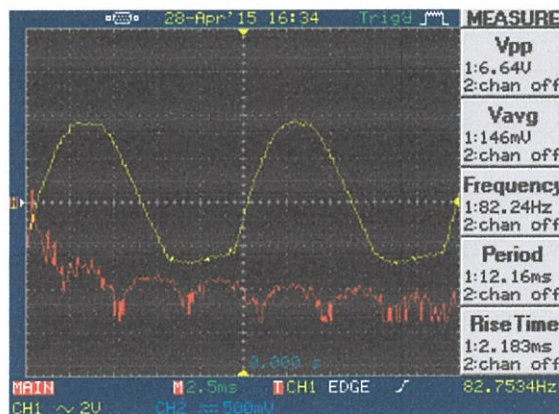
จากรูปที่ 4.23 สัญญาณที่ได้มีลักษณะรูปร่างเหมือนสัญญาณต้นฉบับ เมื่อสัญญาณเริ่มถูกตัดยอด ดังรูปที่ 4.24 ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 จะมีขนาดเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างน้อยกว่าตอนที่ป้อนความถี่ 82 เฮิร์ตซ์ เพราะถูก LPF ลดทอนขนาดไว้ ในรูปที่ 4.25 สัญญาณมีขนาดเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 มีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อทำการปรับ Tone = max สัญญาณจะถูกตัดยอด ทำให้ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 4 และ 6 มีขนาดเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.26

4.1.7 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของโหมด FM (Flat Mid)

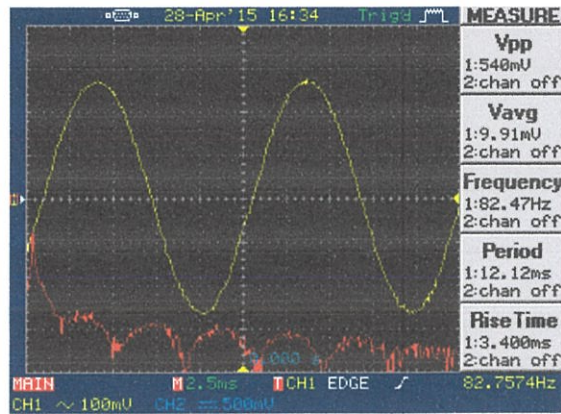
จากในหัวข้อ 3.1.8 ในบทก่อนหน้านี้นี้ได้ทำการออกแบบวงจรและทดลองป้อนสัญญาณไซน์ ความถี่ 82 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเท่ากับกีตาร์สายที่ 6 แรงดันไฟฟ้าขนาด 400 มิลลิโวลต์ เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่



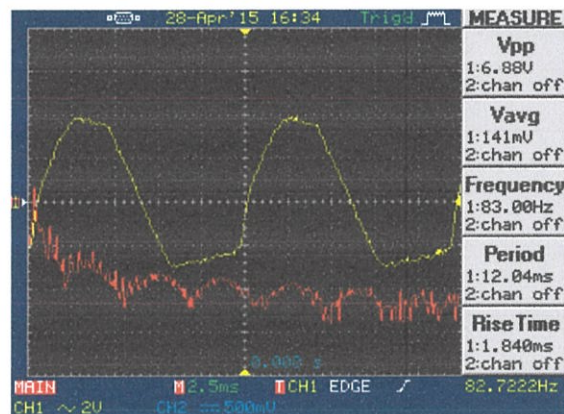
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = min



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = min



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = max

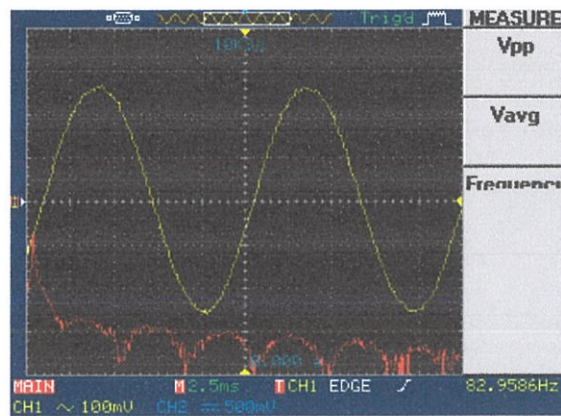


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = max

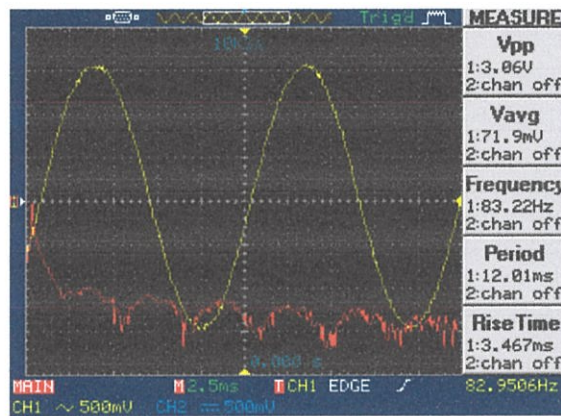
จากรูปที่ 4.27 เป็นรูปสัญญาณต้นฉบับที่ได้รับอัตราการขยายจากการปรับ Volume เมื่อปรับ Dis = max ดังรูปที่ 4.28 จะเป็นการเพิ่มขนาดของความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 และ 3 ขึ้นเล็กน้อย หากไม่ปรับ Dis เพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณไม่เชิงเส้น ดังรูปที่ 4.29 จะไม่มีความถี่ฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นมา และสัญญาณบางส่วนไม่ผ่านส่วนของ Tone control เมื่อปรับ Drive = max และ Tone = max ดังรูปที่ 4.30 สัญญาณจะมีความไม่เป็นเชิงเส้นเล็กน้อย และเกิดความถี่ฮาร์โมนิกส์บางส่วนเพิ่มขึ้น จากการปรับโทนเสียงไปทางบวก

4.1.8 การทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองของโหมด Comput

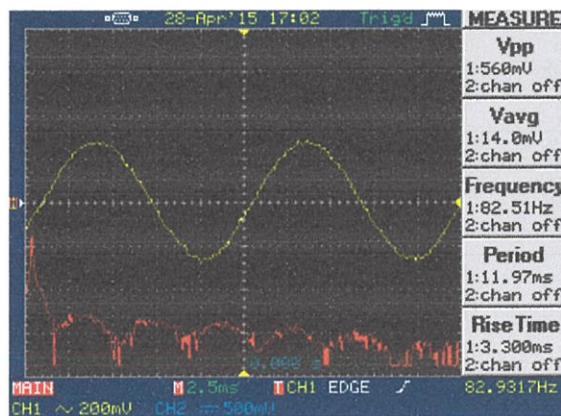
จากในหัวข้อ 3.1.9 ในบทที่ 3 ได้ทำทดลองป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 82 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเท่ากับกีตาร์สายที่ 6 แรงดันไฟฟ้าขนาด 400 มิลลิโวลต์ เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่



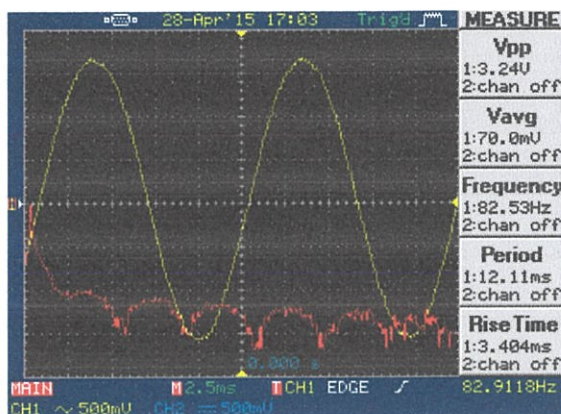
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = min



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = min



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = min, Tone = max

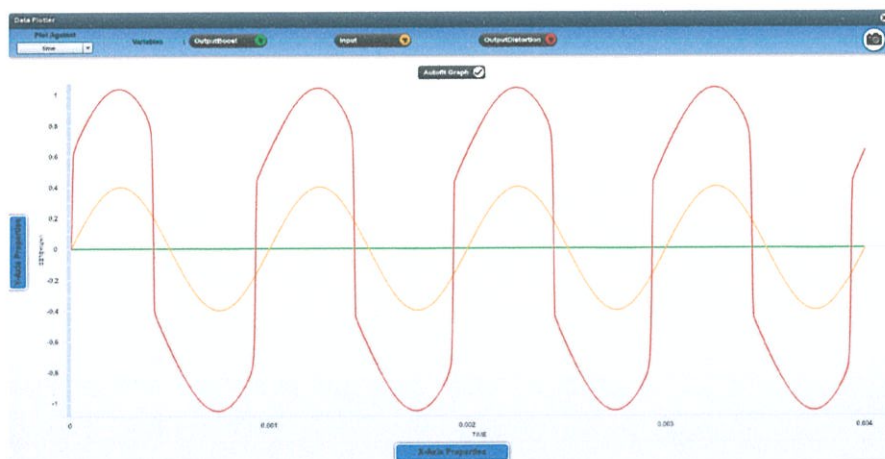


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Drive = max, Tone = max

จากรูปที่ 4.31 เป็นสัญญาณต้นฉบับที่ได้รับอัตราการขยายจากการปรับ Volume หากไม่มีวงจรถ่วงขนาดสัญญาณเลย เมื่อปรับ Drive = max ดังรูปที่ 4.32 สัญญาณจะถูกเพิ่มขนาด ซึ่งสังเกตได้จาก Volt ของสัญญาณที่มีค่ามากขึ้น ในรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นว่าการปรับโทนเสียงยังไม่มีผลต่อสัญญาณเนื่องจากยังไม่มีความถี่ฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้น เมื่อปรับ Drive = max และ Tone = max ดังรูปที่ 4.34 สัญญาณจะถูกปรับขนาดให้ใหญ่ขึ้น จึงสรุปได้ว่าโหมดการทำงานนี้ไม่สามารถควบคุมโทนเสียงได้ตรงกลับที่ออกแบบไว้ คือ เสียงที่ได้มีลักษณะแบบ Flat

4.1.9 การจำลองวงจรรูปส เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่

ในการจำลองวงจรรูปส โดยป้อนสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 400 มิลลิโวลต์ เมื่อปรับ Boost = off จะได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลา ดังรูปที่ 4.35 และได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรรูปส เมื่อปรับ Boost = off

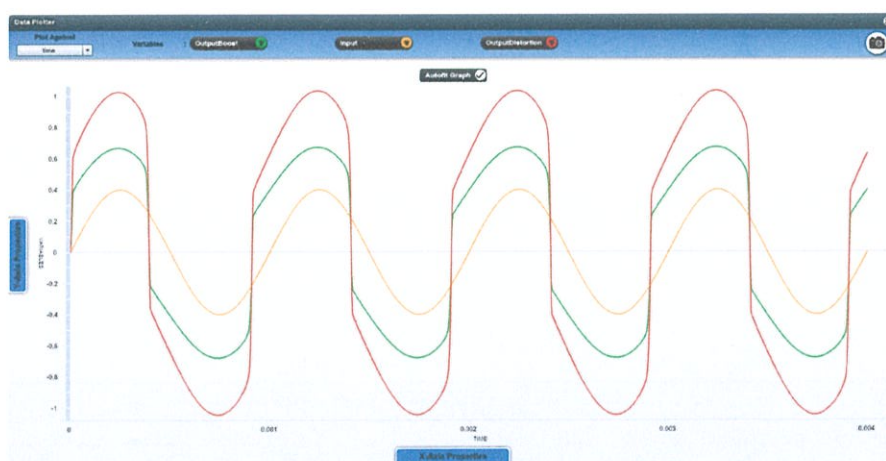
ในรูปที่ 4.35 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบ, เส้นสีแดงคือ สัญญาณที่ผ่าน ส่วนของวงจรตัดยอดคลื่น และเส้นสีเขียวคือ สัญญาณที่ผ่านวงจรบัส



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรบัส เมื่อปรับ Boost = off

ในรูปที่ 4.36 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบในโดเมนความถี่และเฟส ส่วนเส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรตัดยอดคลื่นในโดเมนความถี่และเฟส

ขณะที่ยังไม่ได้กดสวิทช์ให้วงจรบัสทำงาน สัญญาณจะยังไม่ไหลเข้าสู่วงจรส่วนนี้ทำให้มีแต่สัญญาณที่เกิดจากส่วนของดิสทอร์ชันเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อปรับวงจรบัสโดยกำหนดให้ Boost = max, Dis = min จะได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลา ดังรูปที่ 4.37 และได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรบัส เมื่อปรับ Boost = max, Drive = min

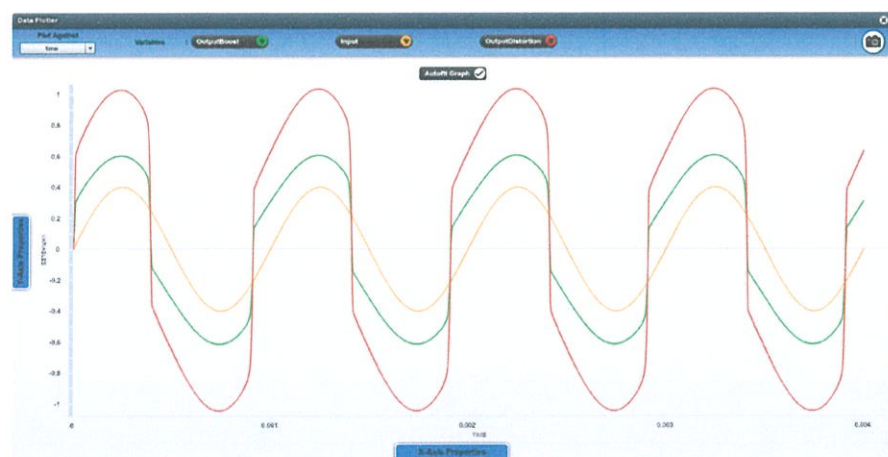
ในรูปที่ 4.37 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบ, เส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่าน ส่วนของวงจรตัดยอดคลื่น และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณที่ผ่านวงจรบัส

ในรูปที่ 4.38 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบในโดเมนความถี่และเฟส, เส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรตัดยอดคลื่นในโดเมนความถี่และเฟส และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรบัสในโดเมนความถี่และเฟส



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรบัสเมื่อปรับ Boost = max, Drive = min

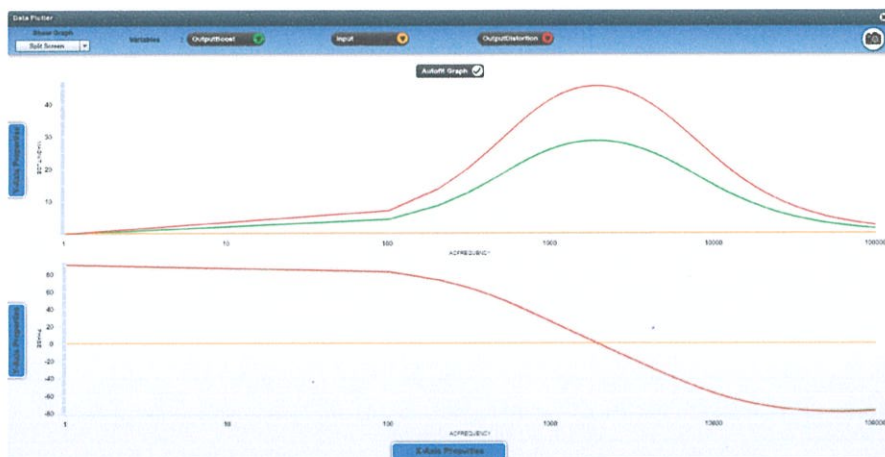
จากการทดลองใช้งานในส่วนของวงจรบัส โดยปรับให้มีค่า Boost มากที่สุด ซึ่งวงจรบัสจะทำงานร่วมกับวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณจะเห็นว่าสัญญาณจะไหลเข้าสู่วงจรส่วนของบัส ซึ่งมีลักษณะเป็นการปรับเพิ่มแรงดันให้กับสัญญาณในช่วงความถี่ 120 เฮิร์ตซ์ ถึง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณที่ได้มีลักษณะเหมือนเดิมทุกประการ



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรบัส เมื่อปรับ Boost = max, Drive = max

หากปรับวงจรบูส โดยกำหนดให้ Boost = max, Drive = max จะได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลา ดังรูปที่ 4.39 และได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ดังรูปที่ 4.40

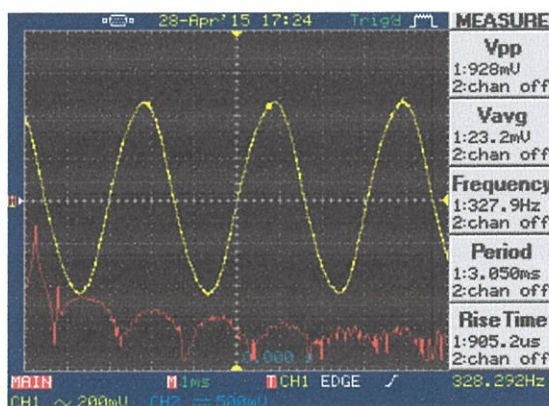
ในรูปที่ 4.39 เส้นสีเขียว คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบ, เส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรตัดยอดคลื่น และเส้นสีเขียวย คือ สัญญาณที่ผ่านวงจรบูส ส่วนในรูปที่ 4.40 เส้นสีเขียว คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบในโดเมนความถี่และเฟส, เส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรตัดยอดคลื่นในโดเมนความถี่และเฟส และเส้นสีเขียวย คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรบูสในโดเมนความถี่และเฟส



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรบูส เมื่อปรับ Boost = max, Drive = max

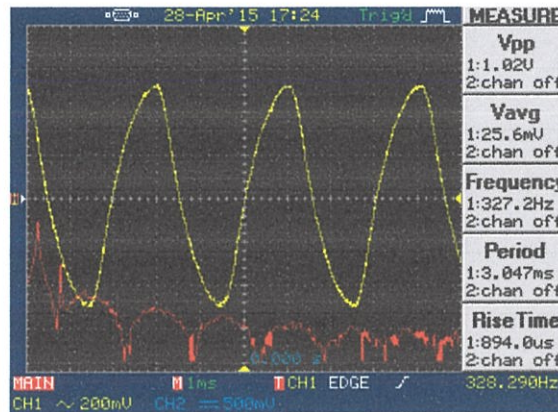
4.1.10 การต่อวงจรบูส เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่

เมื่อปรับค่า Drive = max จะทำให้ขนาดของสัญญาณส่วนของวงจรบูสมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมเช่นกัน หลังจากนั้นทดลองต่อวงจรลงในโพรโทบอร์ดเพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่ ทำให้เห็นลักษณะของสัญญาณที่ถูกเพิ่มแรงดันได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยการวัดด้วยออสซิลอโคป

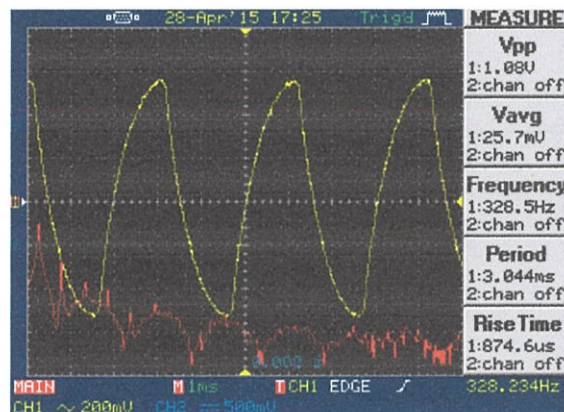


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Boost = off

ในรูปที่ 4.41 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์ในโดเมนเวลา ส่วนเส้นสีแดง คือ สเปกตรัมของสัญญาณที่ผ่านวงจรมอดูเลเตอร์



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Boost = min



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาและความถี่เมื่อปรับ Boost = max

จากรูปที่ 4.41 ได้ทดลองป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 327 เฮิรตซ์ ขนาด 400 มิลลิโวลต์ และปรับ Dis = min เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่ เมื่อยังไม่ได้สับสวิตช์ให้สัญญาณไหลเข้าสู่ส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์ สัญญาณมีขนาดเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจากวงจรมอดูเลเตอร์ และเมื่อเปิดใช้งานวงจรมอดูเลเตอร์ ในรูปที่ 4.42 จะเห็นว่าความถี่ Fundamental และความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดเพิ่มมากขึ้น และในรูปที่ 4.43 เมื่อปรับ Boost = max จะเป็นการเพิ่มขนาดของความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2-5 จะเห็นว่าจากการจำลองวงจรก่อนหน้า วงจรส่วนของบัสจะมีผลตอบสนองทางความถี่เป็น BPF เหมือนกับส่วนของ Clipping amplifier ที่จะเพิ่มขนาดของความถี่ช่วง 120 เฮิรตซ์ ถึง

10 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณที่เราป้อนเข้าไปเพื่อทดสอบอยู่ในช่วงนั้นจึงมีขนาดเพิ่มขึ้น สรุปว่าลักษณะของวงจรถูก เป็นการยกระดับเสียงให้มีความดังมากขึ้น หรือทางดนตรีเรียกว่า Gain Boost หรือ Volume Boost

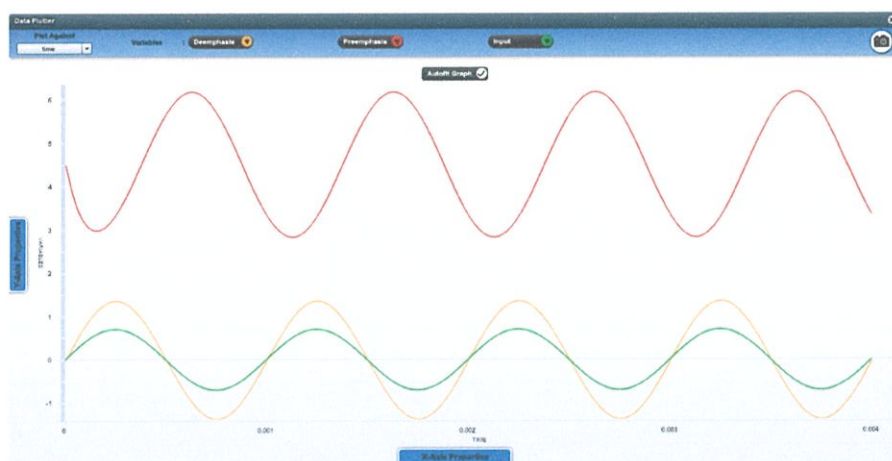
4.2 การจำลองวงจรคอร์ส : Boss-CE2

การจำลองวงจรคอร์สของเอฟเฟค Boss-CE2 ทำให้ทราบถึงผลตอบสนองทางเวลา และผลตอบสนองทางความถี่ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรส่วนต่างๆ

4.2.1 การจำลองวงจรส่วน Pre-Emphasis & De-Emphasis

ในการจำลองวงจรส่วน Pre-Emphasis & De-Emphasis โดยป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 700 มิลลิโวลต์ จะได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลา ดังรูปที่ 4.44 และได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ดังรูปที่ 4.45

ในรูปที่ 4.44 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบ, เส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร Pre-Emphasis และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร De-Emphasis



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจร Pre-Emphasis & De-Emphasis

ในรูปที่ 4.45 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปทดสอบในโดเมนความถี่และเฟส, เส้นสีแดง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร Pre-Emphasis ในโดเมนความถี่และเฟส และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร De-Emphasis ในโดเมนความถี่และเฟส

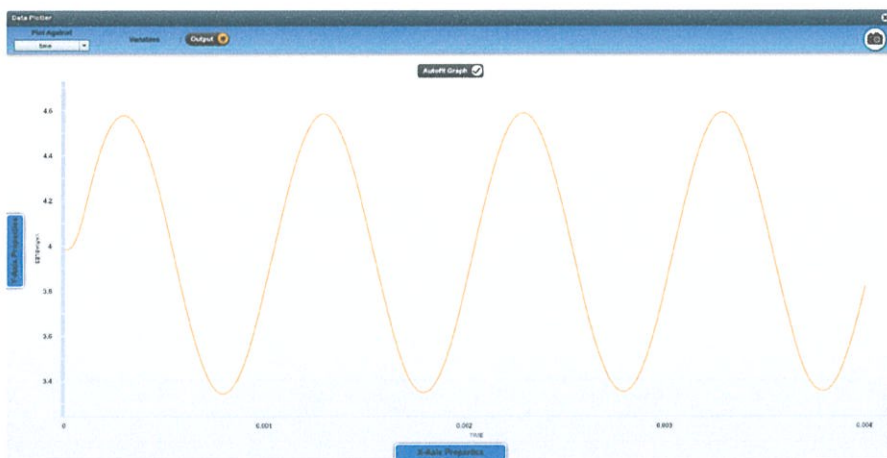


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร Pre-Emphasis & De-Emphasis

จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 จะเห็นได้ว่า สัญญาณที่ผ่านส่วนของ Pre-Emphasis & De-Emphasis มีลักษณะเป็น Non-inverting Op-amp จะกลับเฟสของสัญญาณ input ที่เข้ามา เพิ่มขนาดของสัญญาณ และยก Offset ของสัญญาณไปตามแรงดันไบอัสที่ป้อนเข้าไปให้วงจร เพื่อให้สัญญาณทนต่อสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.2.2 การจำลองวงจรส่วน Anti-aliasing Filter และ Reconstruction Filter

ในการจำลองวงจรส่วน Anti-aliasing Filter โดยป้อนสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 700 มิลลิโวลต์ จะได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลา ดังรูปที่ 4.46 และได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรส่วน Anti-aliasing Filter

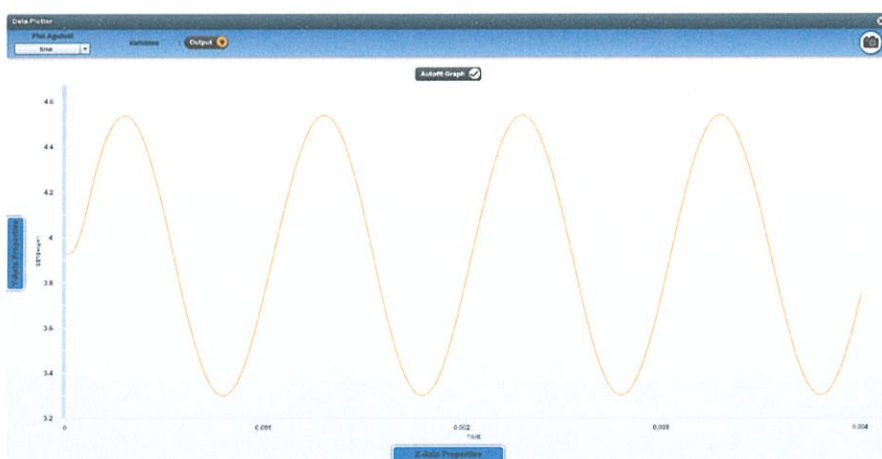
ในรูปที่ 4.46 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร Anti-aliasing Filter ในโดเมนเวลา ส่วนในรูปที่ 4.47 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร Anti-aliasing Filter ในโดเมนความถี่และเฟส



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรมั่น Anti-aliasing Filter

จากรูปที่ 4.46 และ 4.47 จะเห็นว่าสัญญาณที่ได้จากวงจรมั่น Anti-aliasing Filter จะมี Offset ที่สูงขึ้น และยังคงทำงานเป็นเหมือน BPF ที่กรอง ความถี่ช่วง 50 เฮิรตซ์ ถึง 7 กิโลเฮิรตซ์

จากการจำลองวงจรมั่น Reconstruction Filter โดยป้อนสัญญาณไซน์ ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 700 มิลลิโวลต์ จะได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลา ดังรูปที่ 4.48 และได้กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของวงจรมั่น Reconstruction Filter

ในรูปที่ 4.48 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร Reconstruction Filter ในโดเมนเวลา ส่วนในรูปที่ 4.49 เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณที่ผ่านส่วนของวงจร Reconstruction Filter ในโดเมนความถี่และเฟส



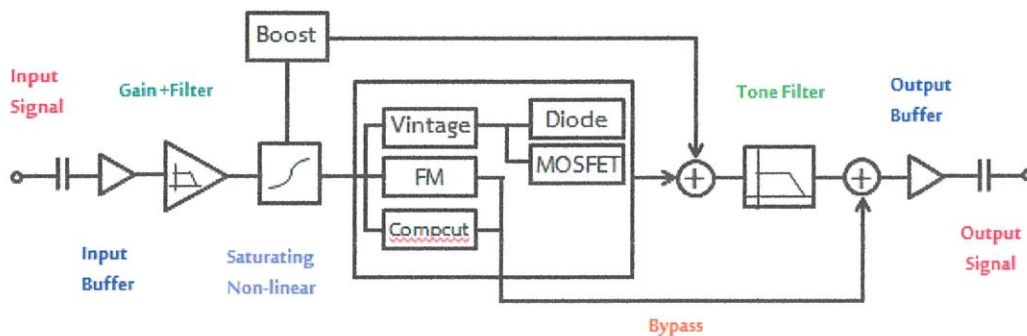
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรส่วน Reconstruction Filter

จากรูปที่ 4.48 และ 4.49 จะเห็นว่า การทำงานของ Reconstruction Filter มีการเพิ่มแรงดัน offset ให้กับสัญญาณที่เข้ามา แต่จะน้อยกว่าวงจร Anti-aliasing Filter และทำงานเป็น BPF เช่นเดียวกัน กรองความถี่ช่วง 50 เฮิรตซ์ ถึง 7 กิโลเฮิรตซ์

การจำลองวงจรส่วน Anti-aliasing Filter และ Reconstruction Filter สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า วงจรทั้งสองมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกัน คือ การจำกัดช่วงความถี่ หรือแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่จะเข้าไปในส่วนของ BBD และสัญญาณที่ออกไปยังส่วน Output buffer แต่วงจรส่วน Reconstruction Filter จะมีแรงดัน Offset น้อยกว่าวงจรส่วน Anti-aliasing Filter เล็กน้อย

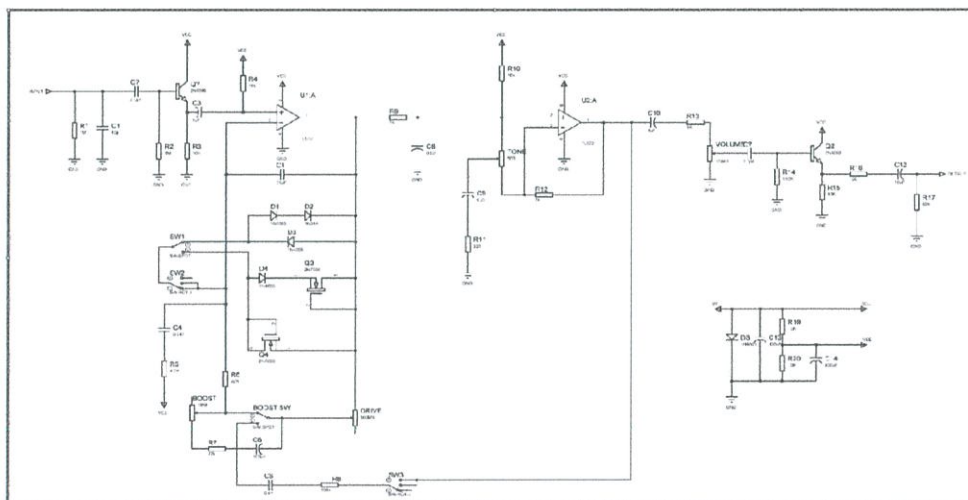
4.3 การออกแบบโครงสร้างของวงจร และการใช้งานเอฟเฟค Multi Screamer Boost

ในการออกแบบโครงสร้างของวงจร โดยนำวงจร MOSFET Clipping และวงจรบูรณาการร่วมกับวงจรหลัก คือ วงจรของเอฟเฟค Tube Screamer ที่ได้ทำการศึกษาอยู่ ซึ่งลักษณะการทำงานของวงจรในแต่ละส่วนจะมีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการใช้สวิตช์เป็นตัวสลับโหมดการทำงาน



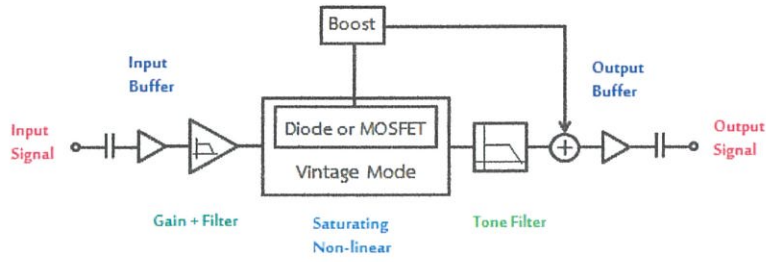
รูปที่ 4.50 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน

4.3.1 วงจร Multi Screamer Boost

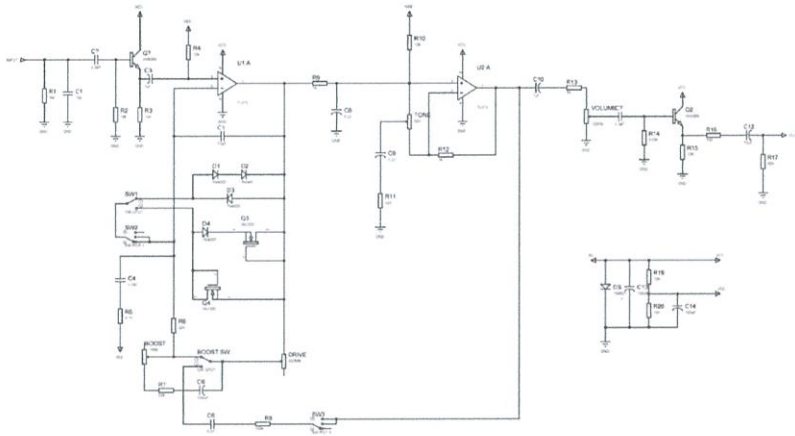


รูปที่ 4.51 วงจร Multi Screamer Boost

การสร้างวงจร Multi Screamer Boost เกิดจากการนำวงจร Boost, Asymmetric Diode Clipping และ Symmetric MOSFET Clipping มาดัดแปลงแล้วเพิ่มเข้าไปในเอฟเฟก Tube Screamer เพื่อปรับคุณสมบัติในการตัดยอดคลื่นของสัญญาณและยกระดับเสียงในส่วนของ clipping amplifier ดังรูปที่ 4.51

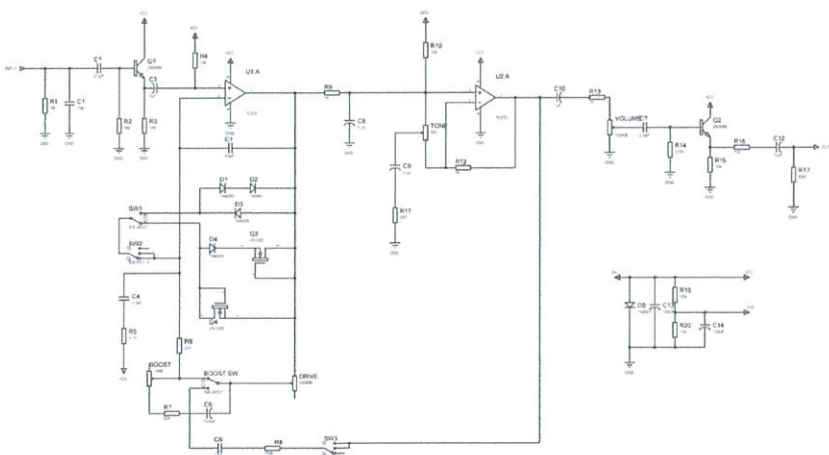


รูปที่ 4.52 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโหมด Vintage



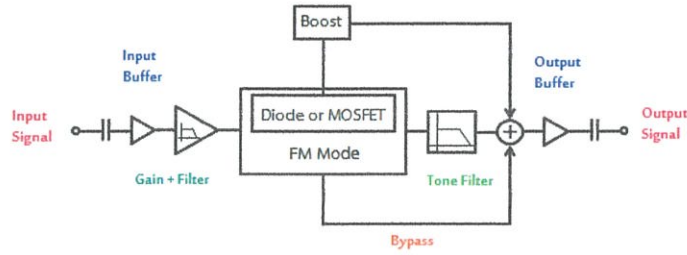
รูปที่ 4.53 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Vintage = on , Standard = on

จากรูปที่ 4.53 เป็นการใช่วงจรในส่วนของ Asymmetric Diode Clipping ซึ่งเป็นวงจรจำกัดขนาดของสัญญาณของเอฟเฟค Multi Screamer Boost ซึ่งลักษณะการตัดยอดคลื่นของสัญญาณจะเป็นแบบไม่สมมาตรทางด้านบวก

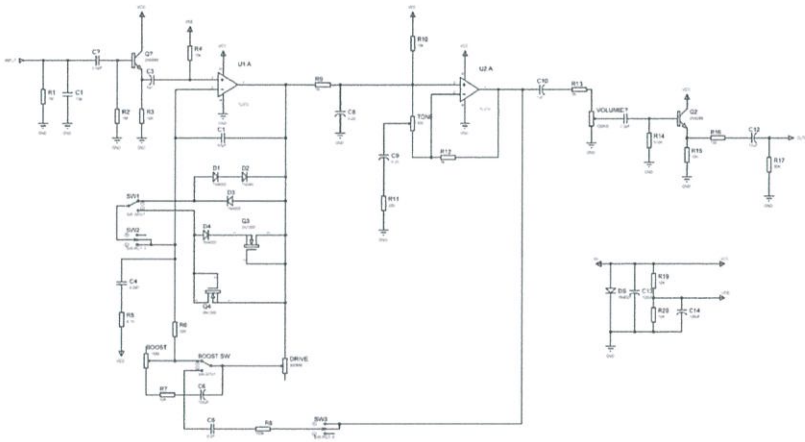


รูปที่ 4.54 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Vintage = on, MOSFET = on

จากรูปที่ 4.54 เป็นการใช้อัจฉริยะในส่วนหนึ่งของ Symmetric MOSFET Clipping ซึ่งเป็นวงจรจำกัดขนาดของสัญญาณของเอฟเฟค Multi Screamer Boost ซึ่งลักษณะการตัดยอดคลื่นของสัญญาณจะเป็นแบบสมมาตร

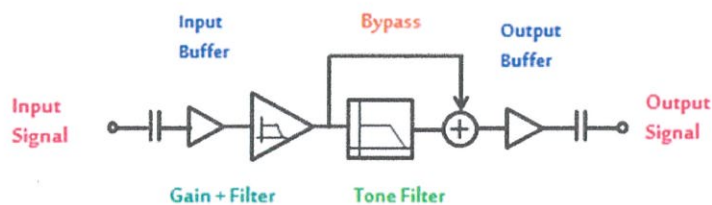


รูปที่ 4.55 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโหมด FM

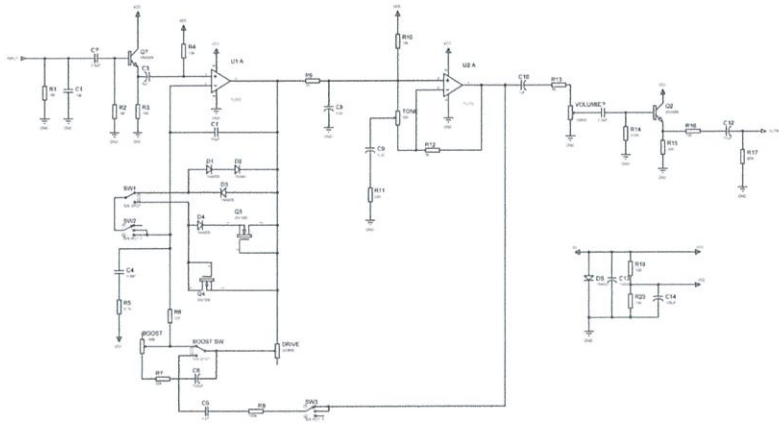


รูปที่ 4.56 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด FM = on

จากรูปที่ 4.56 เป็นการออกแบบวงจรเพื่อเพิ่มสัญญาณที่ไม่ผ่านวงจรควบคุมโทนเสียงตามที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.1.8

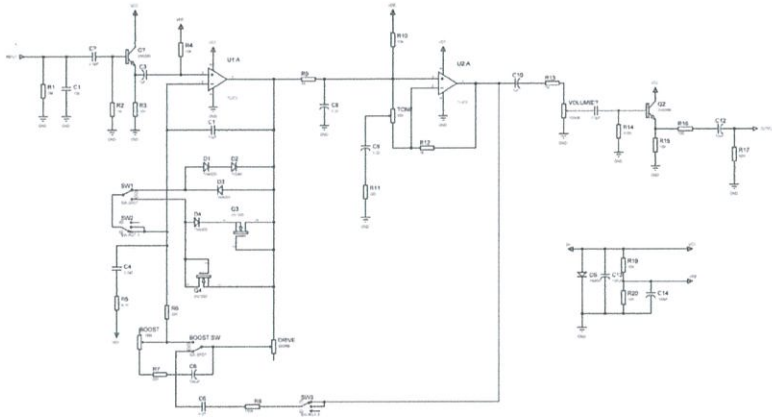


รูปที่ 4.57 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโหมด CompuCut

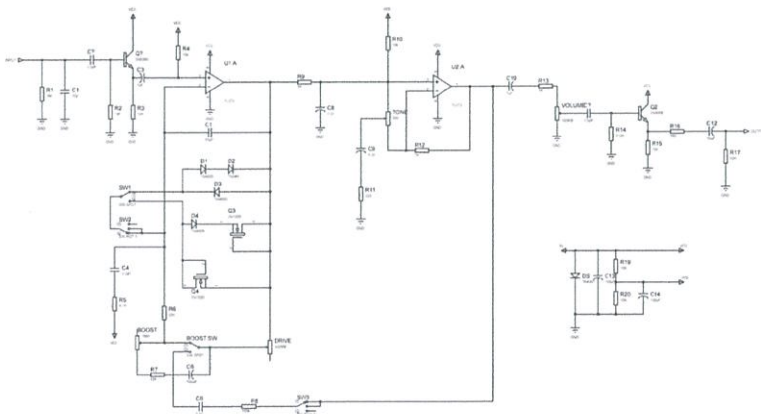


รูปที่ 4.58 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Compcut = on

จากรูปที่ 4.58 เป็นการออกแบบวงจรโดยการตัดวงจรตัดยอดคลื่นของสัญญาณออกและเพิ่มสัญญาณที่ไม่ผ่านวงจรควบคุมโทนเสียงตามที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.1.9

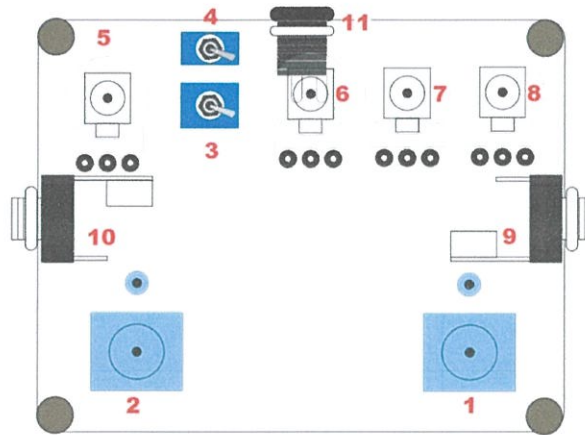


รูปที่ 4.59 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Boost = off

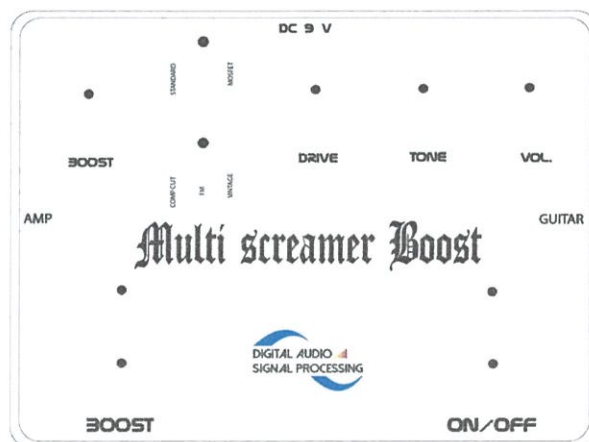


รูปที่ 4.60 วงจร Multi Screamer Boost ในโหมด Boost = on

4.3.2 การออกแบบ User Interface ของเอฟเฟค Multi Screamer Boost



รูปที่ 4.61 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi Screamer Boost



รูปที่ 4.62 การออกแบบลายที่บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi Screamer Boost

ตำแหน่งและหน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆบนเอฟเฟค Multi Screamer Boost

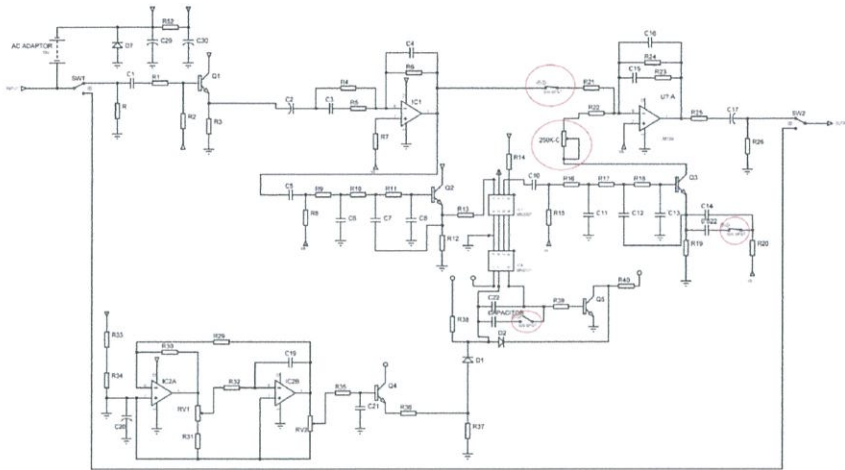
- ตำแหน่งที่ 1 : Drive On/Off สวิตช์ 3PDT ชุดเปิด-ปิด เสียงแตก 9 ขา True Bypass
- หน้าที่ของอุปกรณ์ : กดเพื่อให้เอฟเฟค Multi Screamer Boost ทำงานและสามารถใช้อุปกรณ์ตำแหน่งที่ 5,6 และ 7 ซึ่งก็คือ Drive Tone Volume ตามลำดับ
- ตำแหน่งที่ 2 : สวิตช์ 3PDT ชุดเปิด-ปิด วงจร boost 9 ขา
- หน้าที่ของอุปกรณ์ : กดเพื่อใช้งานในส่วนวงจร Boost แต่จะกดได้ก็ต่อเมื่อสวิตช์ On/Off ทำงานแล้ว และสามารถใช้งานอุปกรณ์ตำแหน่งที่ 5 Boost Volume ได้

- ตำแหน่งที่ 3 : ท็อกเกิลสวิตช์ ชุดที่หนึ่ง 6 ขา
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ใช้สับเปลี่ยนโหมดทั้งหมดของวงจร มีทั้งหมด 3 โหมด Comcut, FM และ Vintage
- ตำแหน่งที่ 4 : ท็อกเกิลสวิตช์ ชุดที่สอง 4 ขา
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ใช้งานได้ต่อเมื่อ สวิตช์ชุดแรกอยู่ในโหมด Vintage สวิตช์ชุดนี้จะสลับใช้ภาค clipping สัญญาณ 2 แบบ คือ ไดโอด และ MOSFET
- ตำแหน่งที่ 5 : Boost Volume ตัวต้านทานปรับค่าขนาด 500 k Ω
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : จะใช้งานได้เมื่อสวิตช์ Boost ทำงานแล้ว ซึ่งจะควบคุมความระดับความดังเบาของสัญญาณ
- ตำแหน่งที่ 6 : Drive ตัวต้านทานปรับค่าขนาด 500 k Ω
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ใช้งานได้เมื่อส่วนของ สวิตช์ On/Off ของเอฟเฟคทำงาน มีหน้าที่ควบคุมเสียงแตกของเอฟเฟค
- ตำแหน่งที่ 7 : Tone ตัวต้านทานปรับค่าขนาด 25 k Ω
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ใช้งานได้เมื่อส่วนของ สวิตช์ On/Off ของเอฟเฟคทำงาน มีหน้าที่ควบคุมเสียง Bass/Treble ของเอฟเฟค
- ตำแหน่งที่ 8 : Volume ตัวต้านทานปรับค่าขนาด 100 k Ω
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ใช้งานได้เมื่อส่วนของ สวิตช์ On/Off ของเอฟเฟคทำงาน มีหน้าที่ควบคุมความดังเบาของเอฟเฟค
- ตำแหน่งที่ 9 : Input Guitar
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : เสียบ Jack ต่อกับกีตาร์
- ตำแหน่งที่ 10 : Output Amplifier
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : เสียบ Jack ต่อกับตู้แอมป์
- ตำแหน่งที่ 11 : DC jack 9V
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ช่องเสียบ adapter 9V

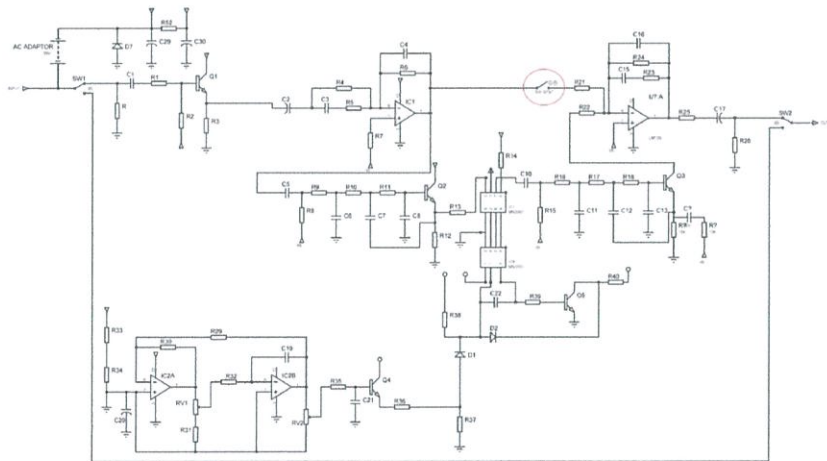
4.4 การออกแบบโครงสร้างของวงจรและการใช้งานเอฟเฟค Multi Mode Chorus

ในการออกแบบโครงสร้างของวงจรเอฟเฟค Multi Mode Chorus ได้มีการออกแบบการทำงานของเอฟเฟคทั้งหมด 4 โหมดการทำงาน คือ โหมดที่ 1 Vibrato, โหมดที่ 2 Wet Bass, โหมดที่ 3 Chorus intensity cap และโหมดที่ 4 Effect level โดยมีการต่อสวิตช์ SPST เพิ่มเข้าไปในวงจรเพื่อทำให้เกิดการตีเลยของสัญญาณ และใช้เป็นตัวสับเปลี่ยนตัวเก็บประจุ 2 ค่าเพื่อเพิ่มความชัดเจนของเสียง Bass นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขนาดของตัวต้านทาน เพื่อให้แรงดันของสัญญาณก่อนเข้าส่วนของวงจร De-emphasis filter มีระดับความดังเพิ่มมากขึ้น การสร้างลักษณะของเสียงให้มีความหลากหลายจึงสามารถใช้งานเพียงโหมดเดียว หรือใช้ทุกโหมดร่วมกันก็ได้

4.4.1 วงจร Multi mode Chorus

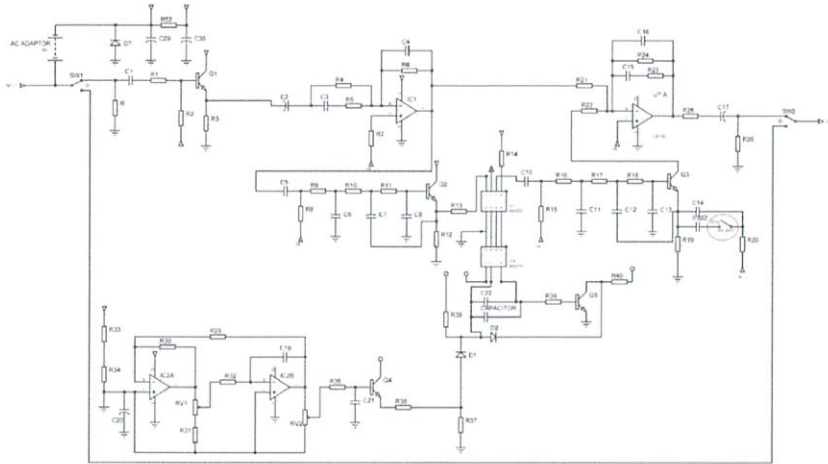


รูปที่ 4.63 วงจร Multi Mode Chorus



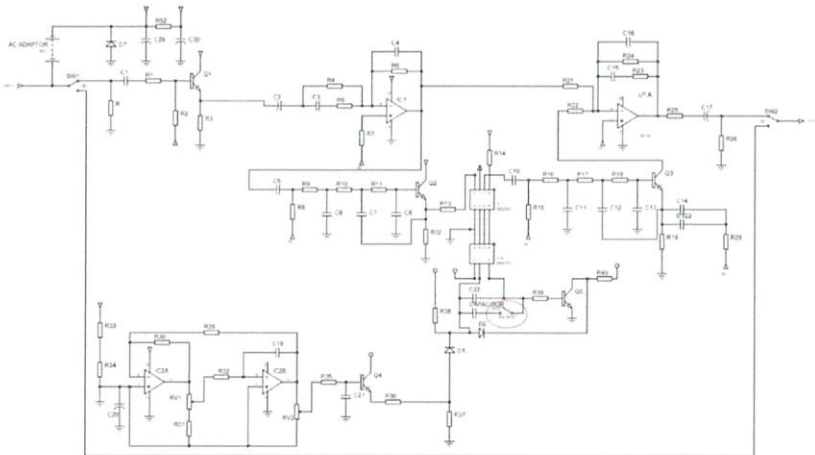
รูปที่ 4.64 วงจร Multi Mode Chorus ที่เพิ่มสวิตช์สำหรับโหมด Vibrato

จากรูปที่ 4.64 แสดงการต่อสวิตช์ SPST ทางด้านหนึ่งของตัวต้านทาน R_{21} โหมดนี้เป็นการทำให้เสียงเกิดการสั่น โดยการตัดเสียงกีตาร์ที่ไม่ได้ผ่านส่วนของ BBD และ LFO ที่ทำให้เกิดการดีเลย์สัญญาณ ลักษณะของเสียงจะคล้ายๆกับการใช้คันโยกที่ตัวกีตาร์ โดยเสียงจะสั่นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า RATE และ DEPT ถ้าปรับไปทางด้านขวามือมากๆเสียงก็จะสั่นมากขึ้นตามไปด้วย



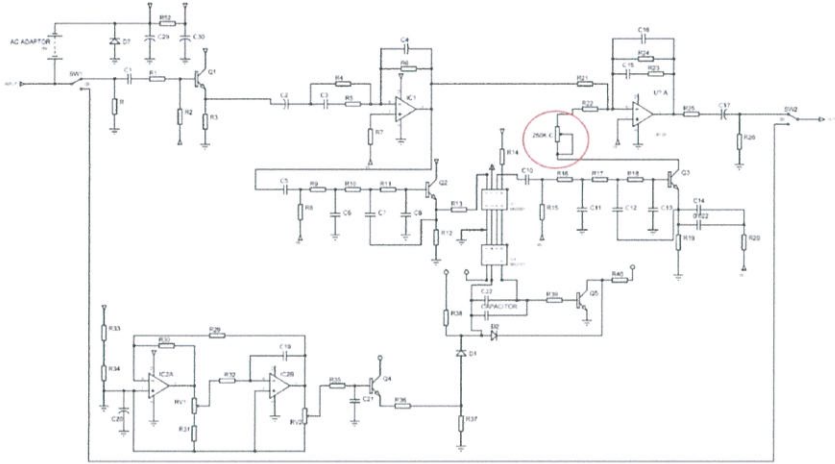
รูปที่ 4.65 วงจร Multi Mode Chorus ที่เพิ่มสวิตช์สำหรับโหมด Wet Bass Switching

จากรูปที่ 4.65 แสดงการใช้สวิตช์ SPST สับเปลี่ยนตัวเก็บประจุ 2 ค่า เพื่อให่วงจร LPF ในส่วนนี้มีค่า f_c ที่ต่ำลง จากค่า f_c เดิม คือ 482.2877 Hz เป็น 338.6275 Hz ทำให้ลักษณะของเสียง Bass จะมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นทั้งนี้ที่เลือกค่า $f_c = 338.6275$ Hz เพราะสามารถให้ความถี่พื้นฐานของสายกีตาร์ทั้ง 6 เส้น จากตารางที่ 3.1 ผ่านไปได้ทั้งหมด โดยความถี่ฮาร์โมนิกส์ตั้งแต่อันดับที่ 2 เป็นต้นไป ของทุกๆสายที่มีความถี่สูงกว่า f_c จะถูกลดทอนลงเป็นการเน้นเสียง Bass และเสียงที่เกิดจากความถี่พื้นฐานของสายกีตาร์อีกด้วย



รูปที่ 4.66 วงจร Multi Mode Chorus ที่เพิ่มสวิตช์ สำหรับโหมด Chorus Intensity Cap Switching

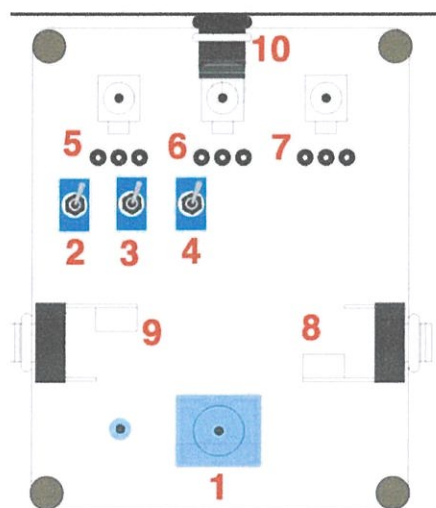
เป็นการใช้คุณสมบัติของตัวเก็บประจุที่ใช้เวลาในการคายประจุตามค่าของตัวเก็บประจุนั้นๆ ยิ่งมีค่ามากเวลาที่ใช้ก็จะมากขึ้น โดยตัวเก็บประจุที่มีค่ามากก็จะใช้เวลาในการคายประจุมากด้วย จึงนำมาใช้กับตัวเก็บประจุที่ควบคุมที่ขา OX1 และ OX3 ที่สัญญาณจาก LFO ไหลผ่านทำให้เกิดการหน่วงเวลา



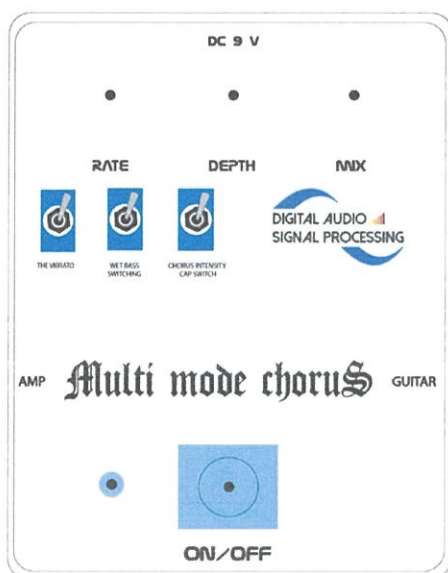
รูปที่ 4.67 วงจร Multi Mode Chorus และ Effect Level Mods

การเพิ่มตัวต้านทานขนาด 250 kΩ เพื่อเพิ่มแรงดันของสัญญาณก่อนเข้าส่วนของวงจร De-emphasis Filter เป็นการเพิ่มความดังให้กับสัญญาณส่วนที่ผ่านวงจร BBD และ LFO ซึ่งโหมดนี้เมื่อใช้คู่กับโหมด Vibrato จะทำให้ได้ยินการสั่นของเสียงที่ชัดเจนมากขึ้นอีกด้วย

4.4.2 การออกแบบ User Interface ของเอฟเฟค Multi Mode Chorus



รูปที่ 4.68 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi Mode Chorus



รูปที่ 4.69 การออกแบบลายที่บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ของเอฟเฟค Multi Mode Chorus

ตำแหน่งและหน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆบนเอฟเฟค Multi Mode Chorus

- ตำแหน่งที่ 1 : สวิตช์ 3PDT
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ใช้สำหรับกดเพื่อใช้งานเอฟเฟค Multi Mode Chorus และสามารถใช้งาน ส่วนของอุปกรณ์ในตำแหน่ง 5, 6, 7 ซึ่งก็คือ RATE, DEPT และ MIX
- ตำแหน่งที่ 2 : สวิตช์ 4 ขา ชุดเปิด-ปิด โหมด Vibrato
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : สับสวิตช์เพื่อใช้งานโหมด Vibrato
- ตำแหน่งที่ 3 : สวิตช์ 4 ขา ชุดเปิด-ปิด โหมด Wet Bass Switching
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : สับสวิตช์เพื่อใช้งานโหมด Wet Bass Switching
- ตำแหน่งที่ 4 : สวิตช์ 4 ขา ชุดเปิด-ปิด โหมด Chorus Intensity Cap Switching
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : สับสวิตช์เพื่อใช้งานโหมด Chorus Intensity Cap Switching
- ตำแหน่งที่ 5 : RATE ตัวต้านทานปรับค่าขนาด 100 k Ω
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ปรับเพื่อกำหนดช่วงเวลาดีเลย์
- ตำแหน่งที่ 6 : DEPT ตัวต้านทานปรับค่าขนาด 100 k Ω
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ปรับเพื่อให้ได้ความลึกของเสียง
- ตำแหน่งที่ 7 : MIX ตัวต้านทานปรับค่าขนาด 250 k Ω
 หน้าที่ของอุปกรณ์ : ปรับ Volume ของวงจร

- ตำแหน่งที่ 8 : Input Guitar
หน้าที่ของอุปกรณ์ : เสียบ Jack ต่อกับกีตาร์
- ตำแหน่งที่ 9 : Output Amplifier
หน้าที่ของอุปกรณ์ : เสียบ Jack ต่อกับตู้แอมป์
- ตำแหน่งที่ 10 : DC jack 9 Volt
หน้าที่ของอุปกรณ์ : ช่อกเสียบ adapter 9 Volt

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 บทสรุปโครงการ

จากการทำโครงการ การออกแบบเสียงด้วยซาวด์เอฟเฟคสำหรับกีตาร์ไฟฟ้า สรุปผลการทดลองได้ว่า เอฟเฟค Multi Screamer Boost เป็นเอฟเฟคประเภท Distortion สามารถทำให้เกิดเสียงแตกได้โดยการใช้หลักการ Non-Linear Processing จึงทำให้สัญญาณมีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ ไดโอดและมอสเฟต ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีลักษณะการตัดยอดคลื่นของสัญญาณที่แตกต่างกันโดยการตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบไม่สมมาตรเกิดจากไดโอดและการตัดยอดคลื่นของสัญญาณแบบสมมาตรเกิดจากมอสเฟต ซึ่งจะเป็นการยกระดับความถี่ฮาร์โมนิกส์อันดับคู่และคี่ตามลำดับ ทำให้ได้ลักษณะของเสียงแตกที่แตกต่างกันออกไปด้วย ทั้งนี้การเลือกใช้ไดโอดและมอสเฟต เพราะอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะการจำกัดขนาดของสัญญาณแบบ Soft Clipping จึงทำให้เสียงที่ออกมายังคงคุณลักษณะที่โดดเด่นของเอฟเฟค Tube Screamer คือ เสียงที่มีความคมชัดของตัวโน้ตที่เล่นไปเหลืออยู่ มีการเพิ่มวงจร Boost ที่ใช้ในการเพิ่มระดับของสัญญาณในช่วงความถี่ที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนั้นยังมีการใช้ลักษณะของเสียง Flat และ Clean เพื่อให้ได้เสียงที่มีเอกลักษณ์แตกต่างกันออกไปอีกด้วย

เอฟเฟค Multi mode Chorus เป็นเอฟเฟคประเภท Modulation ชนิดหนึ่งซึ่งก็คือ คอรัส มีหลักการทำงาน คือ การ modulation ระหว่างสัญญาณกีตาร์จริงกับสัญญาณกีตาร์ที่ถูกดีเลย์ด้วยวงจร BBD และจำกัดขนาดแบนวิดธ์ของสัญญาณที่เข้าและออกด้วยวงจร Anti-Aliasing filters และ Reconstruction filters ช่วงเวลาที่ดีเลย์ของเอฟเฟค Multi mode Chorus ประมาณ 5-50 ms ซึ่งเป็นเวลาดีเลย์ที่เหมาะสมสำหรับเอฟเฟค Chorus ทั่วไป เอฟเฟค Multi mode Chorus มีโหมดการทำงานทั้งหมด 4 โหมด คือ โหมดที่ 1 Vibrato เป็นการตัดเสียงกีตาร์ปกติออกให้เหลือแต่ส่วนของเสียงกีตาร์ที่ผ่านวงจร BBD ที่ทำการดีเลย์สัญญาณ, โหมดที่ 2 Wet Bass เป็นการเปลี่ยนวงจรงอความถี่ให้มีลักษณะเป็นแบบ LPF ที่จะเน้นเสียง, โหมดที่ 3 Chorus intensity cap เป็นการปรับค่าตัวเก็บประจุเพื่อให้เสียงมีความลึกมากขึ้น และโหมดที่ 4 Effect level เป็นการควบคุมระดับเสียงของเอฟเฟค Multi mode Chorus

จึงกล่าวได้ว่า การดำเนินการของโครงการได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตที่ตั้งไว้ อีกทั้งยังได้รับผลตามที่คาดหวัง คือ การสร้างเอฟเฟคกีตาร์ขึ้นมาใช้งานเองในราคาที่ไม่แพงเทียบเท่ากับการซื้อเอฟเฟคมาใช้งาน และได้แบบเสียงตามที่ต้องการ โดยยังคงคุณลักษณะเด่นของเอฟเฟคที่ได้ทำการศึกษาอีกด้วย

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์

ในการทดลองต่อวงจรเพื่อดูผลตอบสนองต่อสัญญาณ สัญญาณที่ได้จากการวัดผลตอบสนองไม่ตรงตามทฤษฎี ซึ่งอาจมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น อุปกรณ์ที่นำมาต่อวงจรมีค่าความผิดพลาดในตัวอุปกรณ์นั้นๆ ในบางส่วนของวงจรจึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมจำลองวงจรขึ้นมาแทน เพื่อดูผลตอบสนองต่อสัญญาณ

5.2.2 ปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ในวงจรเอฟเฟค

เอฟเฟคที่ได้ทำการศึกษา คือ เอฟเฟค Tube Screamer และ Boss CE-2 เป็นเอฟเฟคในยุคแรกๆ ซึ่งอุปกรณ์บางตัวในวงจรหาได้ยากมาก หรือไม่ได้ทำการผลิตแล้ว ผู้จัดทำจึงต้องสั่งซื้ออุปกรณ์ชนิดนั้นๆมาจากผู้ที่ทำเอฟเฟคกีตาร์ประเภท DIY เพื่อนำอุปกรณ์มาใช้ในการทดลองวงจร และสร้างเอฟเฟคกีตาร์

5.3 แนวทางในการพัฒนา

1. ในการแสดงผลการทดลองที่แม่นยำ สามารถใช้โปรแกรมในการจำลองวงจรไฟฟ้าส่วนต่างๆ เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาและความถี่ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการวงจรของเอฟเฟคที่สร้างขึ้น
2. จากทฤษฎี และหลักการออกแบบเอฟเฟคกีตาร์ที่ได้ทำการศึกษา สามารถนำไปพัฒนาเพื่อออกแบบ และสร้างเอฟเฟคกีตาร์ได้ทุกประเภท ให้มีคุณลักษณะของเสียงที่หลากหลายตามความต้องการ โดยมีราคาต่ำกว่าเอฟเฟคกีตาร์ที่ขายตามท้องตลาด
3. สามารถออกแบบเอฟเฟคกีตาร์ให้มีลักษณะรูปร่างตามรสนิยมความชอบ โดยมีตัวเลือกในการใช้งานที่หลากหลาย ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ และสะดวกในการใช้งาน

บรรณานุกรม

- [1] Alexander U. Case. **Sound FX Unlocking the Creative Potential of Recording Studio Effects**. Burlington : Catharine Steers. 2007.
- [2] **Basic Electronics Tutorials**. [Online].
Available : <http://www.electronics-tutorials.ws/>.
- [3] **Boss CE-2 Analysis**. [Online].
Available : <http://www.electrosmash.com/boss-ce-2-analysis>.
- [4] **Emphasis (Telecommunications)**. [Online].
Available : [http://en.wikipedia.org/wiki/Emphasis_\(telecommunications\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Emphasis_(telecommunications)).
- [5] **Filter (Signal processing)**. [Online].
Available : [http://en.wikipedia.org/wiki/Filter_\(signal_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Filter_(signal_processing)).
- [6] **Low-frequency oscillation**. [Online].
Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Low-frequency_oscillation.
- [7] **Simple R-C Filter Cutoff**. [Online].
Available : <http://www.muzique.com/schem/filter.htm>.
- [8] **Tube Screamer Analysis**. [Online].
Available : <http://www.electrosmash.com/tube-screamer-analysis>.

ภาคผนวก



การออกแบบเสียงด้วยซาวด์เอฟเฟคสำหรับกีตาร์ไฟฟ้า Sound Design with Sound Effects for Electric Guitar

1. นายกฤตชัย ทองไทย 2. นายณัฐกร สุขบุรี 3. นางสาวณิชากร กองแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างเอฟเฟคกีตาร์ที่มีเสียงที่เป็นเอกลักษณ์เพื่อใช้กับกีตาร์ไฟฟ้า โดยเอฟเฟคกีตาร์ที่สร้างมี 2 ชนิด คือ

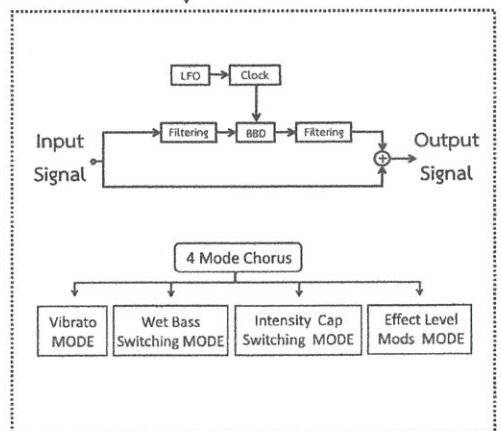
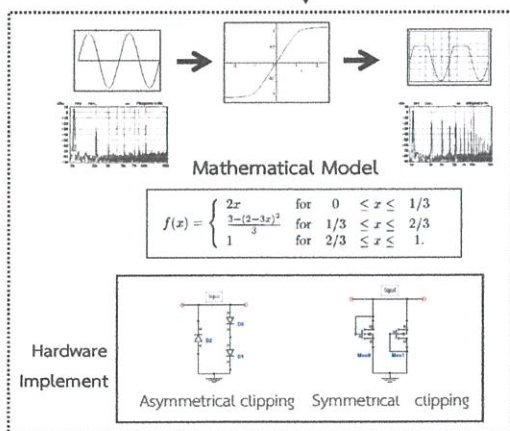
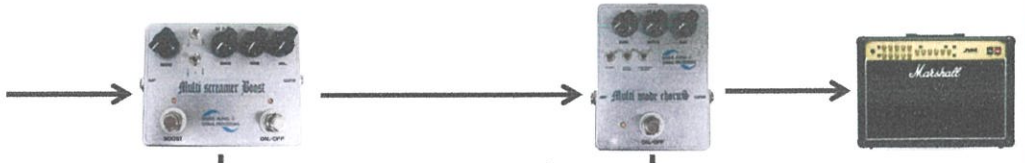
1. Overdrive/Distortion Effect สร้างด้วยวงจร Clipping อย่างง่ายและมีราคาถูกโดยใช้หลักการ Non-linear Processing เช่น วงจร Symmetrical Clipping และ Asymmetrical Clipping ในการปรับแต่งเอกลักษณ์ของเสียงโดยใช้ Pre-filter และ Post-filter ซึ่งสามารถควบคุมทั้งขนาดและจำนวนฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจากการ Clipping สัญญาณได้
2. Chorus effect เป็นการสร้างเสียงที่กังวานเหมือนกับการร้องประสานเสียง ซึ่งเกิดจากเสียงที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อย คือ เสียงจากกีตาร์ต้นฉบับและเสียงจากกีตาร์ที่ถูกหน่วงเวลาออกไปนำมารวมกัน จึงกล่าวได้ว่าการควบคุมการหน่วงเวลา และปริมาณการผสมกันระหว่างสัญญาณทั้ง 2 ชนิด เป็นการควบคุมเสียงที่เกิดจากเอฟเฟค Chorus การปรับแต่ง Chorus Effect เป็นการใช้คุณสมบัติของ Filter ประเภทต่างๆ เพื่อควบคุมลักษณะของเสียงที่ได้ออกมา เช่น Bass Boost, Treble Boost เป็นต้น



วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อวิเคราะห์วงจรของเอฟเฟคกีตาร์ว่าสามารถสร้างเสียงแต่ละประเภทได้อย่างไร
2. สามารถอธิบายหลักการการทำงานของเอฟเฟคกีตาร์แต่ละประเภทได้
3. สร้างเอฟเฟคกีตาร์ประเภทต่างๆ ที่บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้

Multi Function Effects



๑๓