สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ 20 วัตต์

Analysis of Prototype Circuits Power Audio Amplifier 20 watts



นายธนพล เรืองรัศมีโรจน์

นายวรวรรณ ช่างสุวรรณ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 123376
วัน,เดือน,ปี - 8 พย 2555

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

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ 20 วัตต์

นายธนพล เรืองรัศมีโรจน์

นายวรวรรณ ช่างสุวรรณ

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF PROTOTYPE CIRCUITS POWER AUDIO AMPLIFIER 20 WATTS

Mr.Tanapol Ruengrussameerost

Mr. Worawan Changsuwan

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ 20 วัตต์

ชื่อนักศึกษา นายธนพล เรืองรัศมีโรจน์

นายวรวรรณ ช่างสุวรรณ

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการการสอบ	ลายมือชื่อ
อ. กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	
อ. ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
อ. สุรชาติ กมลดิลก	
ผศ. สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ 20 วัตต์

ชื่อนักศึกษา นายธนพล เรืองรัศมีโรจน์

นายวรวรรณ ช่างสุวรรณ

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

เครื่องขยายกำลังต้นแบบออดิโอไฟล์ขนาด 20 วัตต์ จะประกอบด้วยวงจร 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนอินพุต (Input stage) หรือภาคขยายทรานส์คอนดัคแตนซ์ (Transconductance amplifier) ส่วนที่สองเป็นภาคขยายแรงดันไฟ (Voltage amplifier stage) หรือภาคขยายทรานส์อิมพีแดนซ์ (Transimpedance amplifier) และส่วนที่สาม คือ ภาคเอาท์พุต (Output stage) หรือภาคขยายกระแส (Current amplifier) จัดวงจรให้สมดุลกระแสเพื่อรักษารูปสัญญาณมิให้เกิดความเพี้ยน ใช้วงจรส่วนอินพุตเป็นแบบวงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลแบบสมมาตร การออกแบบจะเน้นการแก้ปัญหาที่เกิดจากวงรอบกราวด์ (Ground loop and various grounding problem) ผลการวิเคราะห์วงจรต้นแบบของเครื่องขยาย ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร $A_V = 37$ ค่าอัตราขยายกระแส $A_I \cong 1$ ที่ภาคขยายกระแส เมื่อปรับ chane VR1 $\approx 500\ \Omega$ ค่าแรงดันตกคร่อม $V_{CE8} = 1.07$ V ที่ภาคปรีไดรเว่อร์ ค่าแรงดันตกคร่อม $V_{C11} = 0.535$ V ค่ากระแสสงบของวงจร $I_{out} = 22.72$ mA ผลจากการทดสอบวัดวงจรเบื้องต้น ที่ตำแหน่งสำคัญของวงจร $V_{C11} = 0.66$ V,, $V_{CE8} = 1.259$ V , $I_{C11} = 26.36$ mA , VR1 = 350 Ω, $A_I \cong 1$, และ and $I_{out} = 0.022$ A ซึ่งผลจากการวิเคราะห์วงจรต้นแบบและผลจากการทดสอบวัดวงจรเบื้องต้น มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Analysis of Prototype circuits Power Audio Amplifier 20 watts

Students Mr.Tanapol Ruengrussameerost

Mr. Worawan Changsuwan

Degree Bachelor of Science

Program Applied Physics

Academic year 2009

Advisor Asst.Prof. Sarai Lekchaum

ABSTRACT

Power amplifier, 20 watt original audio phile are composed of 3 parts of circuit. First, Input stage. (Transconductance amplifier). Second, Voltage amplifier stage(Transimpedance amplifier). Third,Output stage (Current amplifier). It deals circuit for balanced current to keep signal appearance not to wrong and use the input circuit as symmetrical differential amplifier. Power amplifier designing focus on solving that happen from Ground loop and various grounding problem. Result of original circuit analysis of power amplifier. Voltage gain rate of circuit A_V = 37 , Current gain rate $A_I \cong 1$. Current amplifier, when chane VR1 $\approx$ 500 Ω ,V_{CE8} = 1.07 V. Pre-Driver amplifier, V_{C11} = 0.535 V , I_{out} = 22.72 mA. Result of basic measured circuit test at the important bearings of circuit V_{C11} = 0.66 V , V_{CE8} = 1.259 V , I_{C11} = 26.36 mA , VR1 = 350 Ω , $A_I \cong 1$ and I_{out} = 0.022 A. Sum up, result of the original circuit and the basic measured circuit test are similar.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องนี้สามารถเสร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้ช่วยศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ดีตลอดมาและยังเสนอแนะข้อสงสัยต่างๆทำให้ผู้คณะจัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ด้วย

ขอขอบคุณ อาจารย์เศรษฐพล เล็กชะอุ่ม ที่ให้ความรู้ความเข้าใจในการออกแบบลายวงจรตรวจสอบ แนะนำในการประกอบเครื่องขยาย อีกทั้งให้ความรู้ความเข้าใจเรื่อง กราวด์สัญญาณ และให้คำปรึกษาในการทำโครงงานพิเศษในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์สถาพร คุณีพงษ์ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการออกแบบการทดสอบวงจรเครื่องขยาย พร้อมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่จัดทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆสาขาวิชาฟิสิกส์ทุกคนที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ทุกท่านที่เมตตา ตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน ตลอดจน กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้คำปรึกษา และเป็นกำลังสำคัญในการผลักดันให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงงานพิเศษมาโดยตลอด

นายธนพล เรืองรัศมีโรจน์

นายวรวรรณ ช่างสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 บทนำ	4
2.2 แผนผังการทำงาน	7
2.3 การทำงานของวงจร	8
2.4 วิธีป้องกันสัญญาณแทรกซ้อนด้วยการกราวด์เครื่อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ขนาด 20 วัตต์	25
3.2 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรง $\pm 35\,V, 5\,A$	29
3.3 ออกแบบและสร้างลายปริ้นซ์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์	29
3.4 ประกอบอุปกรณ์และสร้างเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์	33
3.5 การทดสอบวงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การทดสอบวัดวงจรเบื้องต้น	37
4.2 การทดสอบโหลด	40
4.3 การทดสอบกับชุดการทำงานเครื่องขยาย	47
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่	2.1 แผนผังรวมทั้ง 2 ส่วน ที่มีทั้งส่วนของวงจรเพาเวอร์แอมป์ และวงจรป้องกันลำโพง	5
รูปที่	2.2 วงจรรวมทั้งหมดของเพาเวอร์แอมป์ เพอร์ฟอร์มานซ์ ซีรี่ส์ ที่ให้กำลังเอาท์พุทอยู่ที่ 20 วัตต์ 4 โอห์ม	6
รูปที่	2.3 วงจรขยายสัญญาณทางด้านอินพุตที่มี Q2 , Q3 ทำหน้าที่เป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล ส่วน Q4 , Q5 ทำหน้าที่เป็นวงจรมิร์เร่อร์แอมป์	13
รูปที่	2.4 วงจรแยกส่วนของการจ่ายกระแสคงที่ หรือวงจรคอนสแตนทีเคอร์เรนท์ซอร์	10
รูปที่	2.5 วงจรปรีไดรเว่อร์ขยายแรงดันไฟ ก่อนส่งให้กับภาคไดรเว่อร์	12
รูปที่	2.6 วงจรแยกส่วนของภาคไดรเว่อร์ พร้อมภาคเอาต์พุต และวงจรโอเว่อร์เคอร์เรนท์	14
รูปที่	2.7 วงจรป้องกันลำโพง เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันไฟดีซีส่งออกทางเอาต์พุต	16
รูปที่	2.8 วงจรภาคจ่ายไฟที่จะจ่ายให้กับวงจรเพาเวอร์แอมป์ทั้ง 2 แชนเนล	17
รูปที่	2.9 แสดงการเกิดกราวด์ลูพ	19
รูปที่	2.10 การกราวด์จุดเดียว หรือ Single point grounding	20
รูปที่	2.11 การกราวด์หลายจุด หรือ Multiple point grounding	21
รูปที่	2.12 การต่อกราวด์ลอย หรือ Floating connections	22
รูปที่	2.13 การชีลด์ระยะไกล หรือ Telescoping shields	22
รูปที่	2.14 เทคนิคกราวด์แบบผสม หรือ Combining grounding techniques in a practical system	23
รูปที่	2.15 ปลั๊กต่อที่มีหางปลาต่อกราวด์	24
รูปที่	3.1 การออกแบบวงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ 20 วัตต์	28
รูปที่	3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด $\pm 35\,V, 5\,A$	29
รูปที่	3.3 แผ่นวงจรรวมทั้งหมดของเครื่องขยาย ออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์ ด้านลายทองแดง	30
รูปที่	3.4 แผ่นวงจรรวมทั้งหมดของเครื่องขยาย ออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์ ด้านลงอุปกรณ์	31
รูปที่	3.5 แผ่นวงจรรวมทั้งหมดของเครื่องขยาย ออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์ สำหรับพิมพ์เขียว	32
รูปที่	3.6 แสดงวิธีการต่อไฟเลี้ยงเข้าชุดป้องกันลำโพง	33
รูปที่	3.7 การจัดอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดสอบโหลด	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.8 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการทำงานกับชุดเครื่องขยาย	36
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งที่สำคัญในการวัดค่าเบื้องต้น	39
รูปที่ 4.2 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบโหลด	40
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณด้านเข้าและสัญญาณด้านออกที่อยู่ในระดับปกติ 1kHz , $V_{in} = 1.8 V_{P-P}$	42
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณด้านเข้าและสัญญาณด้านออกถูกขลิบที่อยู่ในระดับ 1kHz , $V_{in} = 1.8 - 2V_{P-P}$	42
รูปที่ 4.5 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 10 Hz	43
รูปที่ 4.6 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 18 Hz	43
รูปที่ 4.7 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 170Hz	43
รูปที่ 4.8 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 312Hz	44
รูปที่ 4.9 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 600Hz	44
รูปที่ 4.10 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 1 kHz	44
รูปที่ 4.11 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 2 kHz	45
รูปที่ 4.12 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 4 kHz	45
รูปที่ 4.13 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 6 kHz	45
รูปที่ 4.14 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 20 kHz	46
รูปที่ 4.15 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่มากกว่า 20 kHz	46
รูปที่ 4.16 จัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วยเครื่องเล่น DVD	47
รูปที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วยเครื่องเล่น DVD	48
รูปที่ 4.18 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วย Notebook และ MP3	48
รูปที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วย Notebook และ MP3	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง A , B , C , D , E ของวงจรต้นแบบ	37
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบการขยายสัญญาณแรงดันด้านออกเมื่อปรับขนาดแรงดันด้านเข้า	41
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการขยายสัญญาณแรงดันด้านออกเมื่อปรับความถี่	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เครื่องขยายกำลัง (Power Amplifier) ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวัน เช่น ความบันเทิง การเรียน การสอน การสื่อสาร เป็นต้น ดังนั้นภายในเครื่องขยายกำลัง จะประกอบด้วยวงจร 3 ส่วน ด้วยกันคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนอินพุต (Input Stage) หรือภาคขยายทรานส์คอนดัคแตนซ์ (Transconductance amplifier) ส่วนที่สองเป็นภาคขยายแรงดันไฟ (Voltage amplifier stage) หรือภาคขยายทรานส์อิมพิแดนซ์ (Transimpedance amplifier) และส่วนที่สาม คือ ภาคเอาต์พุต (Output stage) หรือภาคขยายกระแส (Current amplifier) ซึ่งวงจรทั้งสามส่วนนี้เป็นต้นกำเนิดเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ 60 วัตต์ โดยเป็นโครงงานของสถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพรังสิต

เครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์หรือไฮเพอร์ฟอร์มานซ์จัดวงจรให้สมดุลกระแสเพื่อรักษารูปสัญญาณมิให้เกิดความเพี้ยนและการใช้วงจรส่วนอินพุตเป็นแบบวงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลแบบสมมาตร ดังนั้นถ้านำวงจรดังกล่าวมาประยุกต์สำหรับการออกแบบเครื่องขยายกำลังจะแบ่งการพิจารณาการออกแบบเป็น 2 รูปแบบ คือ ถ้าเป็นเครื่องขยายกำลังตามบ้านพักอาศัย จะเน้นไปที่การแก้ปัญหาการฮัม หรือปัญหาที่เกิดจากวงรอบกราวน์ (Ground loops and various grounding problems) และถ้าเป็นเครื่องขยายกำลังกลางแจ้งจะใช้แก้ปัญหาการรบกวนเนื่องจากสายสัญญาณและไมโครโฟนต้องเดินในระยะไกล

โครงงานพิเศษนี้จึงมีความสนใจที่จะวิเคราะห์วงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ขนาดเล็ก 20 วัตต์ที่ใช้กับบ้านพักอาศัย ซึ่งถูกดัดแปลงมาจากเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ขนาด 60 วัตต์ โดยจะศึกษาวิเคราะห์วงจร ได้แก่วงจรของภาคขยายทรานส์คอนดัคแตนซ์ วงจรภาคขยายแรงดันไฟ และวงจรภาคขยายกระแส วงจรป้องกันกระแสไฟเกิน วงจรป้องกันลำโพง และวงจรชดเชยคุณภาพของเสียง สำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องขยายกำลังจะประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ ขนาด 20 วัตต์

2. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ ขนาด 20 วัตต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาวงจรของเครื่องขยายกำลังต้นแบบออดิโอไฟล์
2. ศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของวงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ ขนาด 20 วัตต์
3. ออกแบบและสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง $\pm 35V, 3A$
4. ออกแบบวงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์
5. ออกแบบและสร้างลายปริ้นวงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์
6. ประกอบอุปกรณ์ของวงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์
7. ทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของวงจรต้นแบบของเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์
8. สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดสอบ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
มิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ.2553	- ค้นคว้า รวบรวมข้อมูล และ หลักการออกแบบของวงจรเครื่องขยายกำลังต้นแบบ ออดิโอไฟล์ ขนาด 20 วัตต์ - ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงในการศึกษาวิเคราะห์ และ ออกแบบ
สิงหาคม – กันยายน พ.ศ. 2553	- ออกแบบการทดลองที่ใช้ในโครงงานเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น - ตรวจสอบขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2553	- ทำการสร้าง และ ประกอบวงจรของเครื่องขยายกำลัง - รวบรวมข้อมูล ที่ได้จากการทดสอบวงจรในเบื้องต้น
มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553	- นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบวงจร มาวิเคราะห์ผล - สรุป และวิจารณ์ผลการทดลองของโครงงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถวิเคราะห์วงจรเครื่องขยายกำลังต้นแบบ ออดิโอไฟล์ ขนาด 20 วัตต์ได้
2. สามารถนำโครงสร้างของวงจรต้นแบบไปประยุกต์ใช้งาน และ เป็นแนวคิดสำหรับการออกแบบวงจรเครื่องขยายอื่น ๆ
3. สามารถเผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ที่สนใจ ให้เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางมากขึ้น และเป็นประโยชน์ในการพัฒนาวงการอิเล็กทรอนิกส์ให้ก้าวหน้าต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

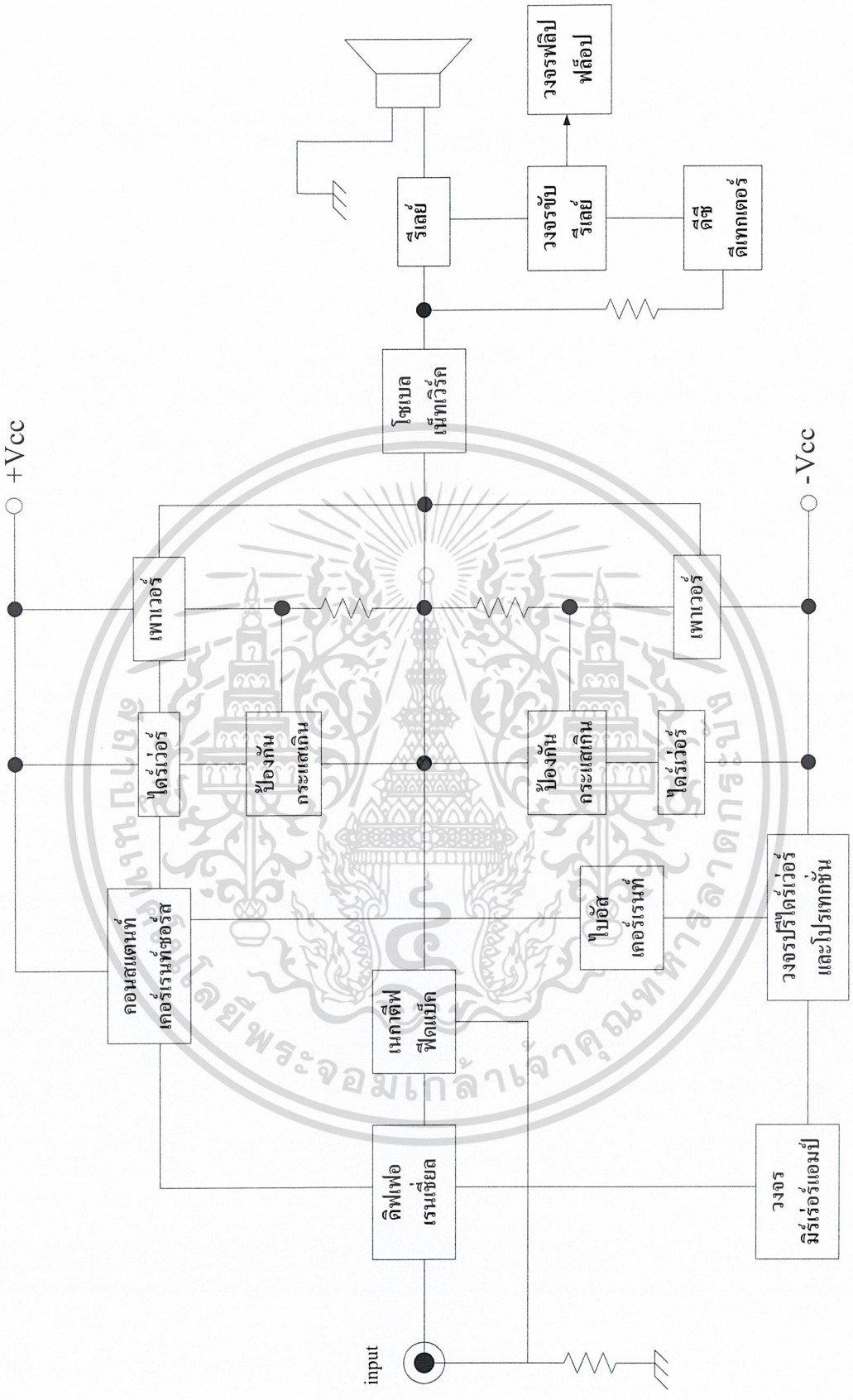
แม้ว่าปัจจุบันวงจรเครื่องขยายเสียงจะได้รับความสนใจจากบรรดาพ่อค้า นักอิเล็กทรอนิกส์นำออกมาผลิตขายกันอย่างมากมายซึ่งเป็นเรื่องที่ดี แต่ถ้าจะว่าไปแล้วมีวงจรอยู่ไม่กี่แบบ ที่มีการผลิตและจำหน่ายกัน และแบบที่ได้รับความนิยมอยู่ไม่น้อย ซึ่งมีต้นแบบมาจากวงจรเครื่องขยายเสียงในอนุกรมออดิโอไฟล์ คือ โครงงานเพาเวอร์แอมป์ออดิโอไฟล์ 60 วัตต์ ที่ต่อมาวงจรเดิมนั้นได้ถูกนำมาดัดแปลงวงจรใหม่ ให้ทำงานร่วมกับปรีแอมป์เซน จนกลายมาเป็นอินติเกรตแอมป์เลือดใหม่ในชื่อรุ่น ยังบลัด

ต่อมาวงจรอนุกรมเดียวกัน ได้ถูกนำเสนอในขนาดที่มีกำลังวัตต์สูงขึ้นเป็นรุ่นเพาเวอร์แอมป์โปรซีรี่ส์ 220 วัตต์ วงจรแม่แบบเหล่านี้ล้วนแต่ถูกนำไปผลิตขายกันอย่างกว้างขวางกลายเป็นที่นิยม ได้รับการตอบรับจากนักฟังที่ชื่นชอบในน้ำเสียง

เช่นเดียวกัน โครงงานนี้จึงนำเสนอเพาเวอร์แอมป์ในซีรี่ส์ของ ออดิโอไฟล์ เช่นเดียวกัน แต่เป็นเพาเวอร์แอมป์ขนาดเล็กที่มีกำลังวัตต์อยู่ที่ 20+20 วัตต์ ใช้ไฟเลี้ยงวงจรอยู่ที่ ±35 โวลต์ ด้วยขนาดกำลังวัตต์ขนาดนี้ แม้จะดูว่ากำลังไม่สูงโดนใจนักเล่นที่ชอบของหนัก ๆ วัตต์สูง ๆ มากนัก แต่เมื่อมันถูกชดเชยด้วยคุณภาพของเสียง ที่มีผลมาจากการออกแบบวงจรอย่างละเอียดด้วยแล้ว แอมป์ตัวนี้ก็มีความน่าสนใจขึ้นมาทันที เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้สำหรับดูหนัง ฟังเพลง ในห้องนอน ในสถานที่พักผ่อน เอาไว้อวดชม หรือใช้งานกับคอมพิวเตอร์ หรือแม้แต่นำไปใช้เป็นมอนิเตอร์ในห้องอัดขนาดเล็กก็ให้เสียงอย่างไม่ผิดหวัง

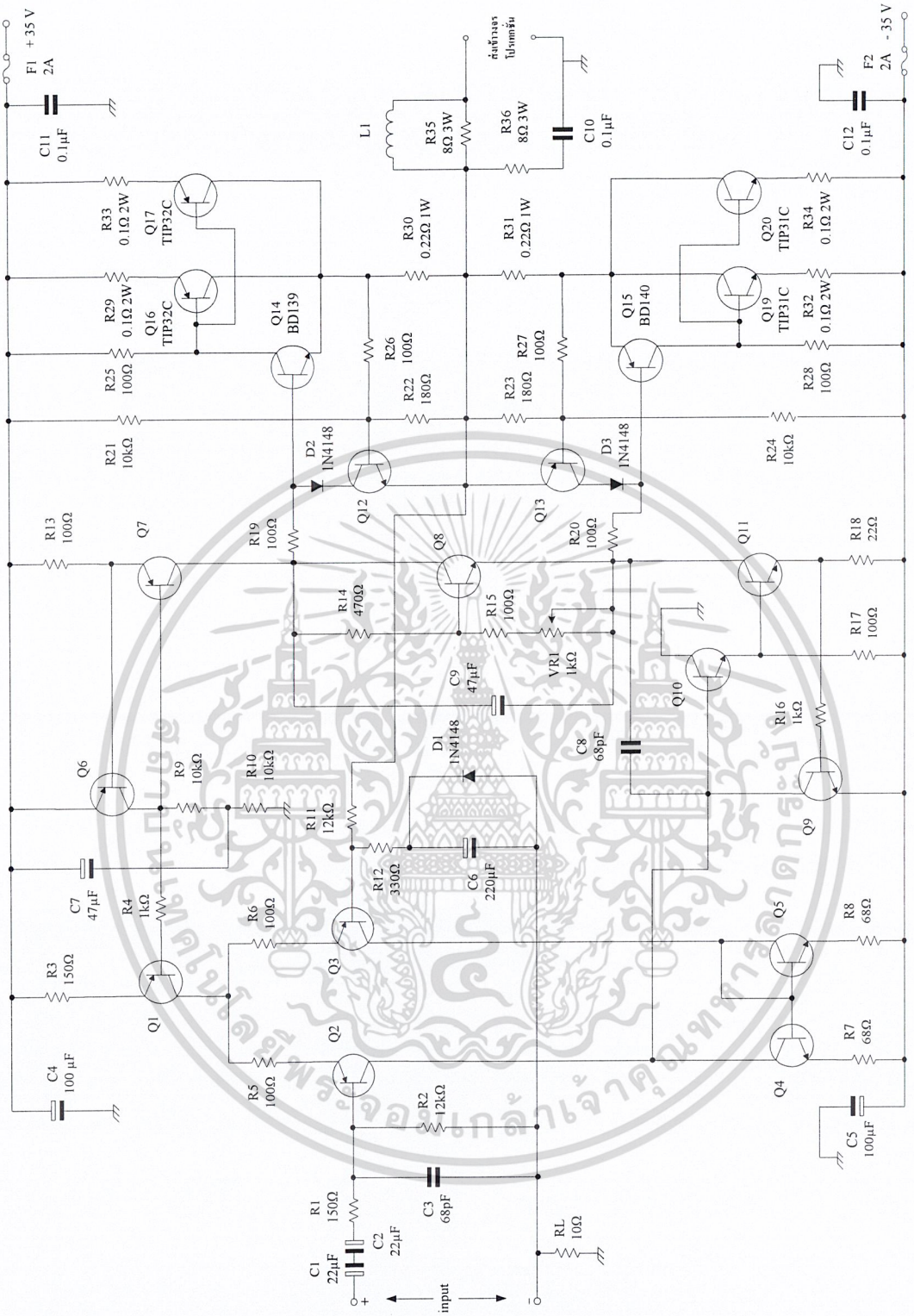
ด้วยวงจรที่ออกแบบ อุปกรณ์เทียบเท่าเครื่องใหญ่ ทำให้วงจรนี้มีจุดแข็งในการใช้งาน สามารถนำไปขับตู้ใหญ่ ๆ ได้อย่างสบาย ทั้งน้ำเสียง ก็ยังนิ่งไม่แกว่ง ไม่มีพร่าเลือน ผิดเพี้ยน ยังรักษาความเนียนจนน่านิยม ความสมบูรณ์ลงตัวอีกอย่าง ที่ทำให้โครงงานนี้มีความน่าสนใจขึ้นมา คือ วงจรได้ถูกออกแบบให้บรรจุสิ่งจำเป็นสำหรับเครื่องขยายเสียงควรมีทั้ง วงจรโอเว่อร์เคอร์เรนท์ และ วงจรป้องกันลำโพง ซึ่งทั้งหมดที่ว่ามาถูกออกแบบให้อยู่บนแผ่นวงจรเดียวกัน ซึ่งรวมทั้งภาคจ่ายไฟด้วย เรียกได้ว่าเพาเวอร์แอมป์เครื่องนี้ใครที่นำไปสร้างเพียงมีทรานส์ฟอร์เมอร์จ่ายไฟเข้าเครื่องวงจรก็ทำงานได้ ไม่ยุ่งยากในการเดินสายไฟแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนผังรวมทั้ง 2 ส่วน ที่มีทั้งส่วนของวงจรเพาเวอร์แอมป์ และวงจรป้องกันลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงจรรวมทั้งหมดของเพาเวอร์แอมป์ เพอร์ฟอร์มานซ์ ซีรี่ส์ ที่ให้กำลังเอาท์พุทอยู่ที่ 20 วัตต์ 4 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แผนผังการทำงาน

ภาพรวมทั้งหมดของเพาเวอร์แอมป์ ออดิโอไฟล์ เพอร์ฟอร์มานซ์ซีรี่ส์ นี้ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.1 โดยหากแบ่งส่วนการทำงานนั้น สามารถแบ่งได้ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของวงจรเพาเวอร์แอมป์ หรือ เมนแอมป์ที่ให้กำลังขับ 20 วัตต์ ซึ่งในแผนผังนี้ได้แสดงเอาไว้เพียงแชนเนลเดียวกับส่วนของวงจรป้องกันลำโพง หรือโปรเทกชั่น

อย่างที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้นว่าวงจรเพาเวอร์แอมป์วงจรนี้ มีการออกแบบอย่างละเอียดเน้นให้วงจรมีการทำงานที่แน่นอน มีการตรวจสอบควบคุม และการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยในรูปที่ 2.1 เป็นแผนผังที่แสดงการทำงาน แยกออกเป็นส่วนๆ โดยมีการเพิ่มความแน่นอนของการจ่ายกระแสให้กับภาคหน้าด้วย วงจรคอนสแตนท์เคอร์เรนท์ซอร์ส เป็นระบบจ่ายกระแสคงที่ให้กับวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล (ภาคอินพุตหรือ Input stage : IPS) หรือบางตัวตำราก็บอกว่าเป็นภาค “ทรานส์คอนดักแตนซ์แอมปลิฟายเออร์” และให้กับวงจรไดรเว่อร์ (ภาคขยายแรงดันไฟหรือ Voltage amplifier stage : VAS) หรือบางตำราก็เรียกว่าภาค “ทรานส์อิมพีแดนซ์แอมปลิฟายเออร์” ทำให้ทั้งแรงดันไฟและกระแสนิ่งคงที่มากที่สุด ซึ่งมีผลทำให้การขยายสัญญาณเสียงเกิดความผิดเพี้ยนต่ำด้วย

วงจรภาคดิฟเฟอเรนเชี่ยล จะรับสัญญาณเข้ามาทางอินพุต และขยายสัญญาณผ่านวงจรมิร์เร่อร์แอมป์เพื่อรักษารูปร่างของสัญญาณไม่ให้มีการเปลี่ยนรูปผิดเพี้ยนไป แล้วจึงส่งต่อไปยังวงจรปรีไดรเว่อร์หรือหน่วย “ ทรานส์อิมพีแดนซ์ ”

วงจรปรีไดรเว่อร์ ได้มีการออกแบบวงจร ให้มีวงจรควบคุมเสถียรภาพของการทำงานที่มีรูปแบบการวางวงจรคล้ายกับระบบโปรเทกชั่น วงจรนี้ใส่เข้ามาเพื่อป้องกันปัญหาการทำงานที่ยาวนานและหนักมากเกินไป และการป้องกันปัญหาความผิดพลาดจากวงจรภาคหน้า ไม่ให้มีความเสียหายลุกลามใหญ่โตไปยังภาคไดรเว่อร์และเอาต์พุต

วงจรไบอัสเคอร์เรนท์ ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมกระแสไบอัสของวงจรไดรเว่อร์ ส่วนวงจรไดรเว่อร์ทั้งซีกบนและล่าง ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ และมีกระแสเพียงพอต่อประสิทธิภาพการไบอัสของภาคเอาต์พุต ไดรเว่อร์จึงทำหน้าที่ขับกระแสต่อไปยังวงจรเอาต์พุตบนและล่าง

วงจรภาคป้องกันกระแสเกิน ทำหน้าที่ในการตรวจสอบการทำงานของภาคเอาต์พุต ว่ามีการทำงานที่เกินปกติหรือไม่ หากวงจรภาคเอาต์พุตทำงานหนักเกินปกติ วงจรป้องกันกระแสเกินปกติจะลดการทำงานของวงจรภาคไดรเว่อร์และเอาต์พุต ไม่ให้ทำงานหนักจนเกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นกับวงจรภาคเอาต์พุต จุดต่อเอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์เครื่องนี้ แยกกระแสออกเป็น 2 ทาง คือ ส่งย้อนกลับไปผ่านวงจรเนกาตีฟฟีดแบ็ค เพื่อควบคุมอัตราการขยายของวงจรเอาไว้ที่ประมาณ 37 เท่า อีกทางหนึ่งจะส่งสัญญาณผ่านวงจรโซเบลเน็ทเวิร์คไปเข้าวงจรป้องกันลำโพง

ในส่วนของวงจรป้องกันลำโพง มีการนำสัญญาณไปใช้ 2 ทาง ทางแรกโดยส่งไปรอที่รีเลย์ เมื่อรีเลย์ต่อวงจรสัญญาณเสียงจะส่งออกไปยังลำโพงเพื่อการรับฟัง และอีกทางหนึ่งส่งเข้าวงจรดีซีดีเทกเตอร์เพื่อตรวจสอบว่ามีแรงดันไฟดีซีบวกหรือลบ ออกมาจากวงจรเพาเวอร์แอมป์หรือไม่ เพราะหากมีแรงดันไฟตรงส่งออกมาจากวงจรเอาต์พุต จะมีผลทำให้ลำโพงไหม้ได้ ส่งผลการตรวจสอบไปยังวงจรขับรีเลย์ นอกจากนั้นแล้ววงจรในส่วนนี้ยังเพิ่มเติมภาคแสดงผลการทำงานของวงจรด้วยหลอดแอลอีดี ที่ควบคุมให้มีการกะพริบด้วยวงจรฟลิปฟล็อป

หากเพาเวอร์แอมป์ไม่มีแรงดันดีซีส่งออกทางเอาต์พุต วงจรขับรีเลย์จึงจะต่อสัญญาณผ่านรีเลย์ไปยังลำโพง แต่หากว่าเอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์มีแรงดันไฟดีซีส่งออกมา วงจรขับรีเลย์จะไม่ทำงาน รีเลย์จะไม่ต่อวงจร

2.3 การทำงานของวงจร

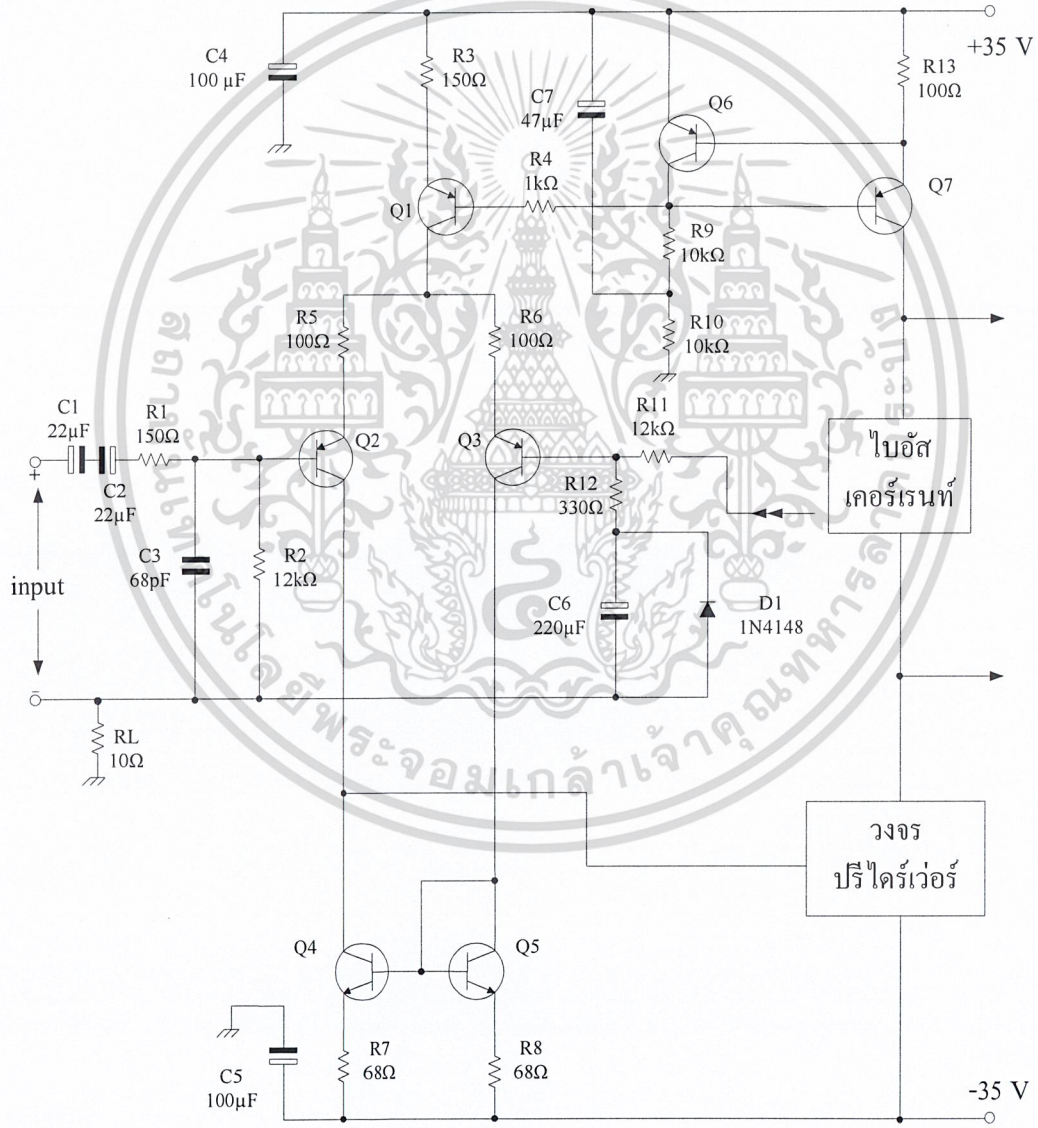
การทำงานของวงจรทั้งหมด ได้แสดงวงจรแยกส่วนเป็นวงจรขยายสัญญาณทางด้านอินพุต , วงจรคอนสแตนท์เคอร์เรนท์ซอร์ส , วงจรปรีไดรเว่อร์ , วงจรไดรเว่อร์ – เอาต์พุต และวงจรป้องกันลำโพง ซึ่งวงจรแต่ละส่วนนั้นได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.3 ถึงรูปที่ 2.7 ตามลำดับ โดยสามารถกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละวงจรได้ดังนี้

วงจรอินพุตสเตจ

วงจรส่วนแรกคือ วงจรขยายสัญญาณทางด้านอินพุต หรือที่เรียกว่า วงจรอินพุตสเตจ (Input stage) แสดงวงจรเอาไว้ในรูปที่ 2.3 โดยมีคาปาซิเตอร์ C1 และ C2 ทำหน้าที่เป็นวงจรคัปปลิ้งสัญญาณทางด้านอินพุต ต่อคาปาซิเตอร์อิเล็กทรอไลติกสลับขั้วกันในแบบไบโพล่าร์ เพื่อให้ความผิดเพี้ยนในการถ่ายทอดสัญญาณมีน้อยที่สุด ไม่ว่าวงจรที่มาต่อด้วยด้านนั้นจะเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เนื่องจากผลของความถี่มากน้อยเท่าไรก็ยังรักษารูปทรงเดิมไว้ได้ใกล้เคียงที่สุด แล้วจึงส่งผ่านรีซิสเตอร์สต็อปเปอร์ R1 ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรป้องกันสัญญาณกระโชกที่อาจส่งเข้ามาทางด้านอินพุต ทั้งยังลดความไวในการรับสัญญาณเข้ามาทางด้านอินพุตที่อาจเป็นสัญญาณรบกวนความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถึงจะมีสัญญาณรบกวนความถี่สูงซึ่งมีความแรงมาก ๆ เล็ดลอดเข้ามาได้ สัญญาณจะถูกกำจัดด้วยคาปาซิเตอร์ C3 อีกชั้นหนึ่ง R2 มีหน้าที่เป็นตัวกำหนดอินพุตอิมพีแดนซ์ให้กับวงจร สัญญาณทางด้านอินพุตจะส่งเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยลแอมป์คู่กับ Q3 ที่รับผลสัญญาณและการป้อนกลับ – ฟีดแบ็คมาจากเอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์เพื่อควบคุมอัตราการขยาย โดยมีรีซิสเตอร์ R11 และ R12 ที่จะกำหนดอัตราการขยายไว้ที่ 37 เท่า วงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล Q2 และ Q3 รับแรงดันไฟเลี้ยงมาจากทรานซิสเตอร์ Q1 ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรคอนสแตนท์เคอร์เรนท์ซอร์ส ที่จะได้แสดงวงจรแยกส่วนเอาไว้ในรูปลำดับถัดไป



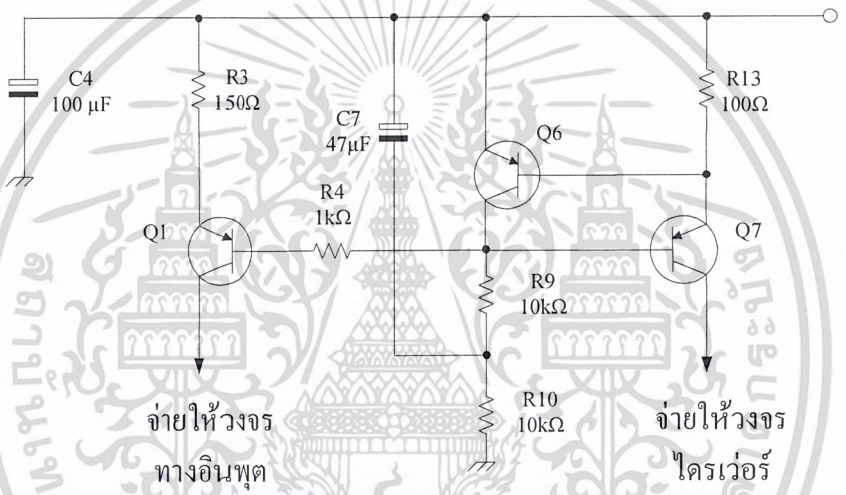
รูปที่ 2.3 วงจรขยายสัญญาณทางด้านอินพุตที่มี Q2 , Q3 ทำหน้าที่เป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล ส่วน Q4 , Q5 ทำหน้าที่เป็นวงจรมิร์เร่อร์แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ Q2 ขยายสัญญาณออกทางขาคอลเล็กเตอร์ ผ่านวงจรมิร์เร่อร์แอมป์ที่จะทำหน้าที่ในการรักษารูปทรงของสัญญาณไม่ให้มีความผิดเพี้ยน ก่อนส่งต่อไปเข้าวงจรปรีไดรเว่อร์เพื่อส่งต่อไปยังวงจรกำลังในภาคหลังต่อไป

วงจรคอนสแตนท์เคอร์เรนท์ซอร์ส

วงจรที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.4 นั้นเป็นวงจรคอนสแตนท์เคอร์เรนท์ซอร์ส ที่ทำหน้าที่ในการจ่ายกระแสให้กับวงจรทั้งหมด 2 ส่วนด้วยกันคือ วงจรขยายทางด้านอินพุต (วงจรดิเฟอเรลเชี่ยล) กับวงจรไดรเว่อร์



รูปที่ 2.4 วงจรแยกส่วนของการจ่ายกระแสคงที่ หรือวงจรคอนสแตนทีเคอร์เรนท์ซอร์ส (Constant current source)

โดยการทำงานของวงจรใช้รีซิสเตอร์ R9 และ R10 เป็นตัวต่อไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q7 มีคาปาซิเตอร์ C7 ทำหน้าที่เป็นวงจรซอฟต์สตาร์ต ให้การเริ่มต้นทำงานของทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q7 ค่อย ๆ เริ่มต้นการทำงานอย่างนุ่มนวล ไม่กระชากเดินกระแสอย่างเต็มที่ตั้งแต่ตอนเริ่มต้น นั่นหมายถึงระบบการทำงานทั้งหมดของวงจรจะค่อย ๆ เริ่มต้นการทำงานจากนำกระแสแต่เพียงน้อยตอนเปิดเครื่องแล้วเพิ่มดีกรีของกระแสมากขึ้น จนกระทั่งวงจรสามารถเซ็ตการทำงานเข้าสู่ภาวะปกติได้ ทรานซิสเตอร์ Q1 จะเป็นตัวเปิดการไบอัสของเครื่อง โดยการทำงานของวงจรซอฟต์สตาร์ตนั้นใช้การชาร์จประจุของ C7 เป็นตัวทำซอฟต์สตาร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

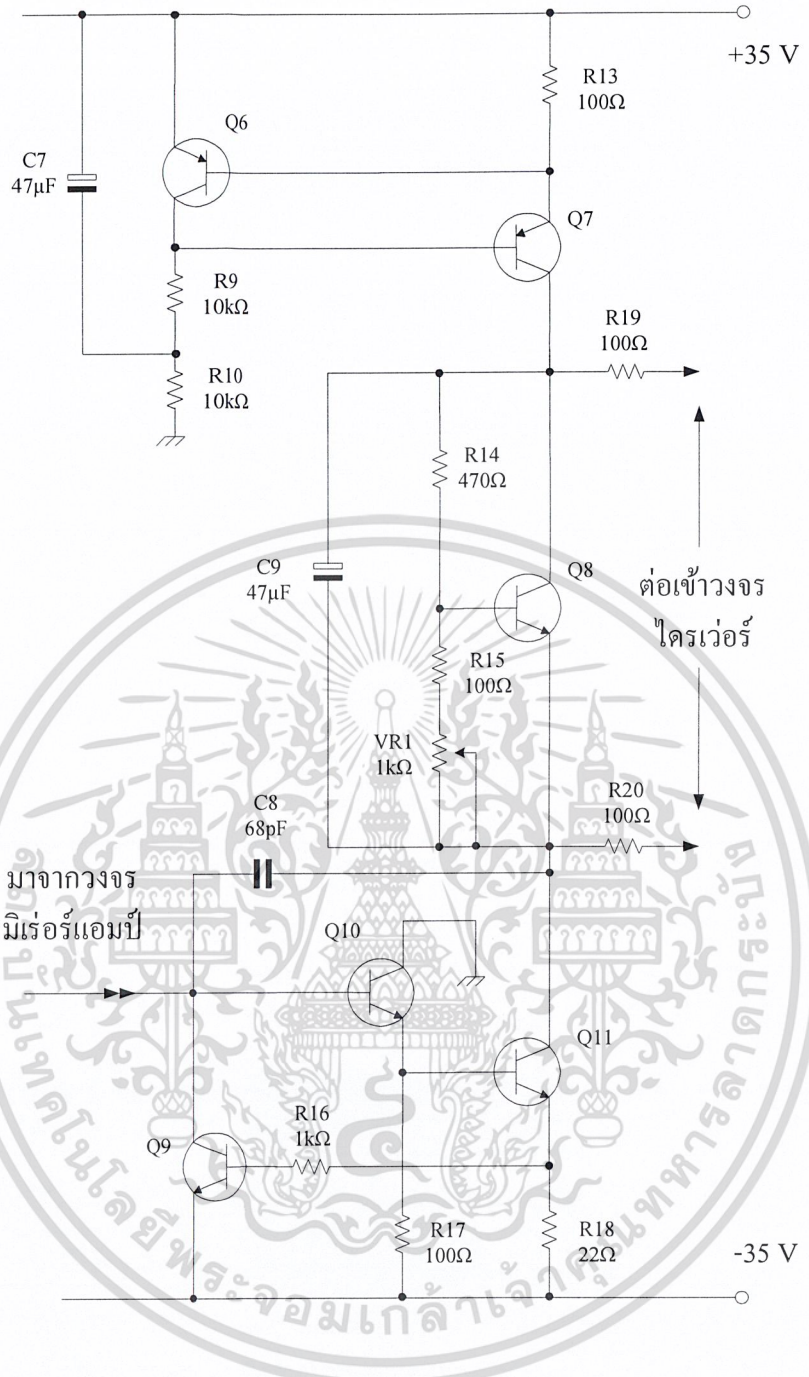
ในการควบคุมกระแสนั้นใช้การตรวจสอบจากกระแสที่ไหลผ่านรีซิสเตอร์ R13 โดยการแปลงจากค่ากระแสเป็นค่าแรงดันไฟ ซึ่งหากว่าเปิดเครื่องใช้งานเป็นเวลานาน ทรานซิสเตอร์ Q7 สะสมความร้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นเรื่องที่เข้าใจกันโดยทั่วไปแล้วว่าเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นเวลานาน ๆ ทรานซิสเตอร์อาจมีอุณหภูมิในตัวสูงขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความต้านทานภายในระหว่างขา อีมิตเตอร์ – คอลเล็กเตอร์ มีค่าลดลง ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R13 ย่อมมีค่ามากขึ้น ภาวะปกติกระแสจะไหลผ่าน R13 อยู่ที่ประมาณ 5 มิลลิแอมป์ และมีแรงดันตกคร่อมอยู่ที่ 0.5 โวลต์ จนทำให้มีแรงดันไฟตกคร่อม R13 มากขึ้นทรานซิสเตอร์ Q6 จะเริ่มมีไบอัสมากขึ้น และหากทรานซิสเตอร์ Q6 ทำงาน Q6 จะมีผลไปลดการไบอัส ของทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q7 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP เมื่อ Q1 และ Q7 ทำงานลดลง มีผลทำให้ทั้งเครื่องทำงานลดลงตามไปด้วย เพราะทรานซิสเตอร์ตัวแรกทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับวงจรส่วนหน้า ส่วนตัวหลังทำหน้าจ่ายกระแสให้วงจรส่วนหลัง การควบคุมกระแสของ Q6 จะบังคับให้กระแสของวงจรกลับไปยังภาวะปกติ นี่เป็นความเด่นของวงจรนี้ ที่มีเสถียรภาพในการจ่ายกระแสที่ค่อนข้างสูง ทำให้การทำงานของภาคหน้ามีสภาพการทำงานนิ่ง มีผลทำให้ความเพี้ยนในการขยายสัญญาณต่ำตามไปด้วย ซึ่งการออกแบบวงจรแบบนี้ถือว่าเป็นที่นิยมนำมาใช้ในเครื่องขยายชั้นสูง

วงจรขยายแรงดันไฟ

วงจรส่วนต่อมาคือวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า ที่จะรับสัญญาณจากการขยายสัญญาณของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลที่แสดงวงจรไว้ในรูปที่ 2.3 วงจรภาคขยายแรงดันไฟแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.5 โดยด้านบนมีทรานซิสเตอร์ Q7 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสคงที่ วงจรด้านล่างจะรับสัญญาณมาจากวงจรมิร์เร่อร์แอมป์เข้ามาขยายโดยทรานซิสเตอร์ Q10 แหละ Q11ที่จัดวงจรเสมือนดาร์ลิงตันโดยขยายสัญญาณออกที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ Q11 ส่งต่อให้วงจรไดรเว่อร์ทั้งซีกบนและล่าง

ทรานซิสเตอร์ Q9 ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมเสถียรภาพการทำงานของภาคนี้ให้คงที่ ป้องกันการทำงานเกินปกติที่อาจจะมีสาเหตุมาจากการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ ทำให้อุณหภูมิในตัว Q11 เพิ่มสูงขึ้น กระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q11 มากขึ้น แรงดันไฟตกคร่อม R18 มีค่าสูงขึ้น จากในภาวะปกติจะมีกระแสไหลอยู่ที่ประมาณ 20 มิลลิแอมป์ และมีแรงดันไฟตกคร่อมอยู่ที่ประมาณ 0.4 โวลต์ ถึง 0.6 โวลต์ ทรานซิสเตอร์ Q9 จะเริ่มมีไบอัส จึงส่งผลต่อเนื่องไปลดไบอัสของ Q10 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q10 และ Q11 ลดการทำงานลง เป็นระบบคงความเสถียรให้วงจรตลอดเวลาของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรปรีไดรเว่อร์ขยายแรงดันไฟ ก่อนส่งให้กับภาคไดรเว่อร์

วงจรขยายแรงดันไฟ

ในอีกรูปแบบหนึ่ง วงจรนี้คือวงจรป้องกันอีกรูปแบบหนึ่ง (Protection type) ที่เข้ามาป้องกันความเสียหายไม่ให้ลุกลาม ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากวงจรภาคหน้า ที่อาจมีการจ่ายกระแสเกินปกติ หรือลัดวงจรมา ทรานซิสเตอร์ Q9 จะเป็นตัวป้องกันไม่ให้ Q10 , Q11 รวมถึงวงจรภาคไดรเว่อร์ และเอาต์พุตได้รับความเสียหายด้วยการดึงไบอัสของวงจรส่วนนี้ให้ลดลงจนเข้าสู่พื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลอดภัย ส่วนทรานซิสเตอร์ Q8 นั้นจะทำงานร่วมกับโพเทนชิโอมิเตอร์ VR1 เป็นวงจรไบอัสเคอร์เรนท์ เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรปรับกระแสไบอัสให้กับวงจรภาคไดรเว่อร์

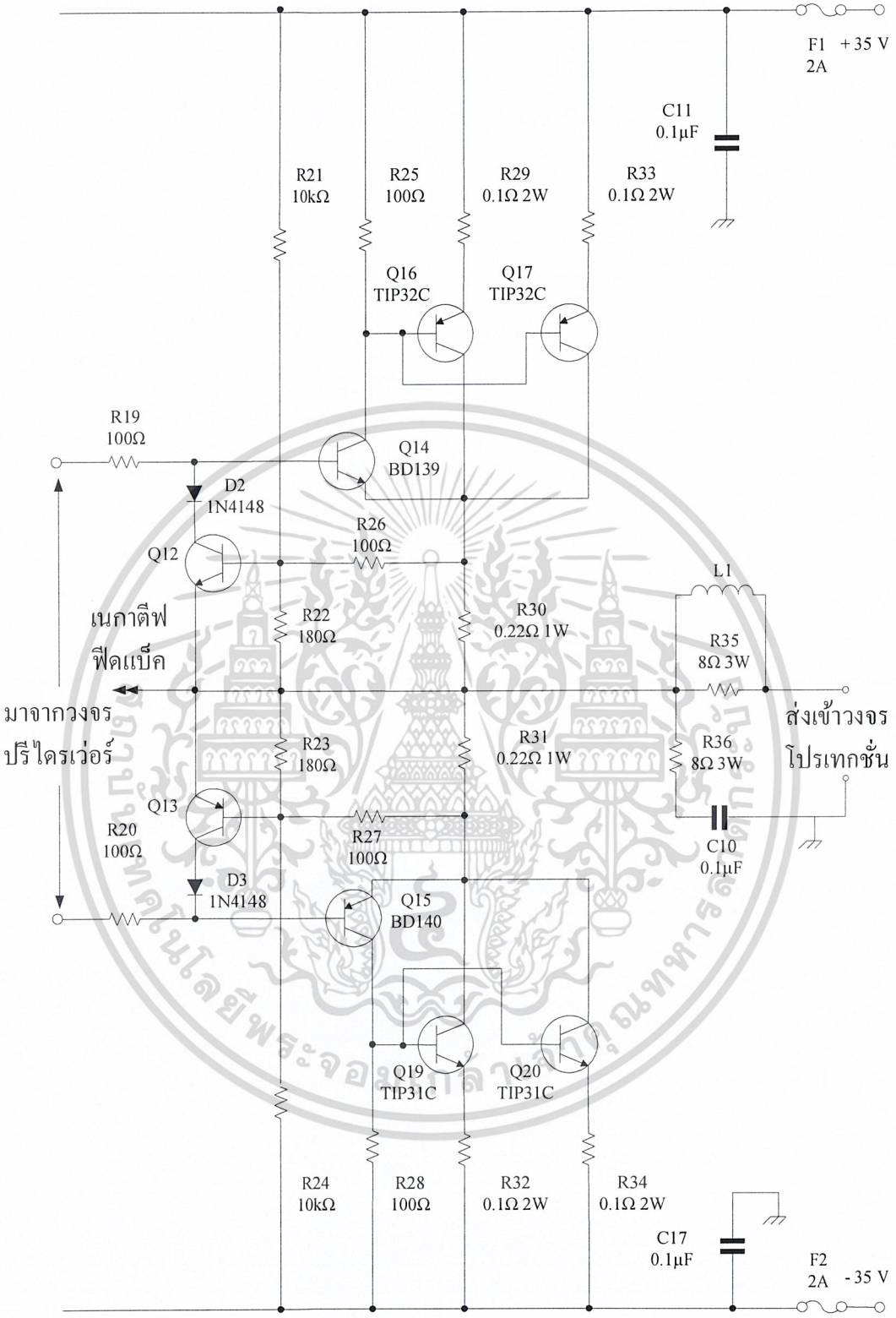
วงจรไดรเว่อร์ , เอาต์พุต และป้องกันกระแสเกินปกติ

วงจรภาคสุดท้ายในส่วนของวงจรเครื่องขยายชุดนี้ เป็นวงจรภาคไดรเว่อร์และเอาต์พุต ซึ่งวงจรนี้ออกแบบวงจรภาคเพาเวอร์เอาต์พุตเป็นแบบคอมพลีเมนตารี่ฟีดแบ็ค (Complementary Feedback Output Stage) โดยในภาคเอาต์พุตนั้นได้ขนานทรานซิสเตอร์ 2 คู่ ความโดดเด่นในการออกแบบวงจรแบบนี้อยู่ที่วงจรในภาคเอาต์พุตจะสามรถควบคุมเสถียรภาพเอาไว้ได้ ด้วยการตรวจสอบกระแสที่ไหลผ่านรีซิสเตอร์ R30 และ R31 ตามวงจรในรูปที่ 2.6โดยการนำเอาค่ากระแสที่ไหลผ่านรีซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัว แปลงค่าเป็นแรงดันไฟย้อนกลับไปควบคุมไบอัสของวงจรไดรเว่อร์ ทำให้วงจรนี้เสียงไม่ผิดเพี้ยน เนื้อเสียงที่ออกมามีความชัดเจน สามารถขับดอกลำโพงขนาดใหญ่ได้อย่างมีน้ำหนักเสียง

รายละเอียดของการควบคุมเสถียรภาพในส่วนนี้มีอยู่ว่า หากทรานซิสเตอร์เอาต์พุตทำงานมากขึ้น กระแสไหลผ่าน R30 และ R31 มากขึ้น ตัวต้านทานดังกล่าวเป็นโหลดร่วมของวงจรไดร์เว่อร์และเอาต์พุต เมื่อแรงดันไฟตกคร่อมตัวมันเพิ่มขึ้น มีผลทำให้วงจรไดร์เว่อร์ทำงานลดลงได้ด้วย ในขณะที่ภาคเอาต์พุตใช้ทรานซิสเตอร์ PNP ต่อรับแรงดันไฟบวกและให้ทำงานกับสัญญาณเฟสบวก และทรานซิสเตอร์ NPN ต่อรับไฟลบ และให้ทำงานกับสัญญาณเฟสลบ มีไดร์เว่อร์คือ Q14 , Q15 ต่อวงจรแบบคอมพลีเมนตารี่ วิธีการแบบนี้เป็นผลงานการคิดของ Sziklai จึงเรียกว่าวงจร Sziklai design หรือ Sziklai pairs

วงจรของ Sziklai ตอนหลังถูกเรียกว่า Complementary Feedback Design เพียงแต่ศัพท์คำว่า Complementary Feedback ในภาคเอาต์พุตนั้น มีความหมายลึกลงไปถึงระบบทั้งหมดของการป้อนกลับทางลบ (100 % Local Negative Feedback Loop) โดยมีจุดประสงค์สำคัญคือการรักษาอัตราขยายที่เป็นสัดส่วนหรือลิเนียริตี้ (For Linearization Purpose) ทำให้ค่า THD ของวงจรแทนที่จะอยู่ที่ 0.005 % เมื่อทำงานกับความถี่ 1 kHz เหมือนวงจรภาคเอาต์พุตที่จัดวงจรอีมิตเตอร์ฟอลโลเว่อร์กลายเป็นค่า THD ที่ 0.001 % @ 1 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรแยกส่วนของภาคไดรเว่อร์ พร้อมภาคเอาต์พุต และวงจรโอเว่อร์เคอร์เรนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

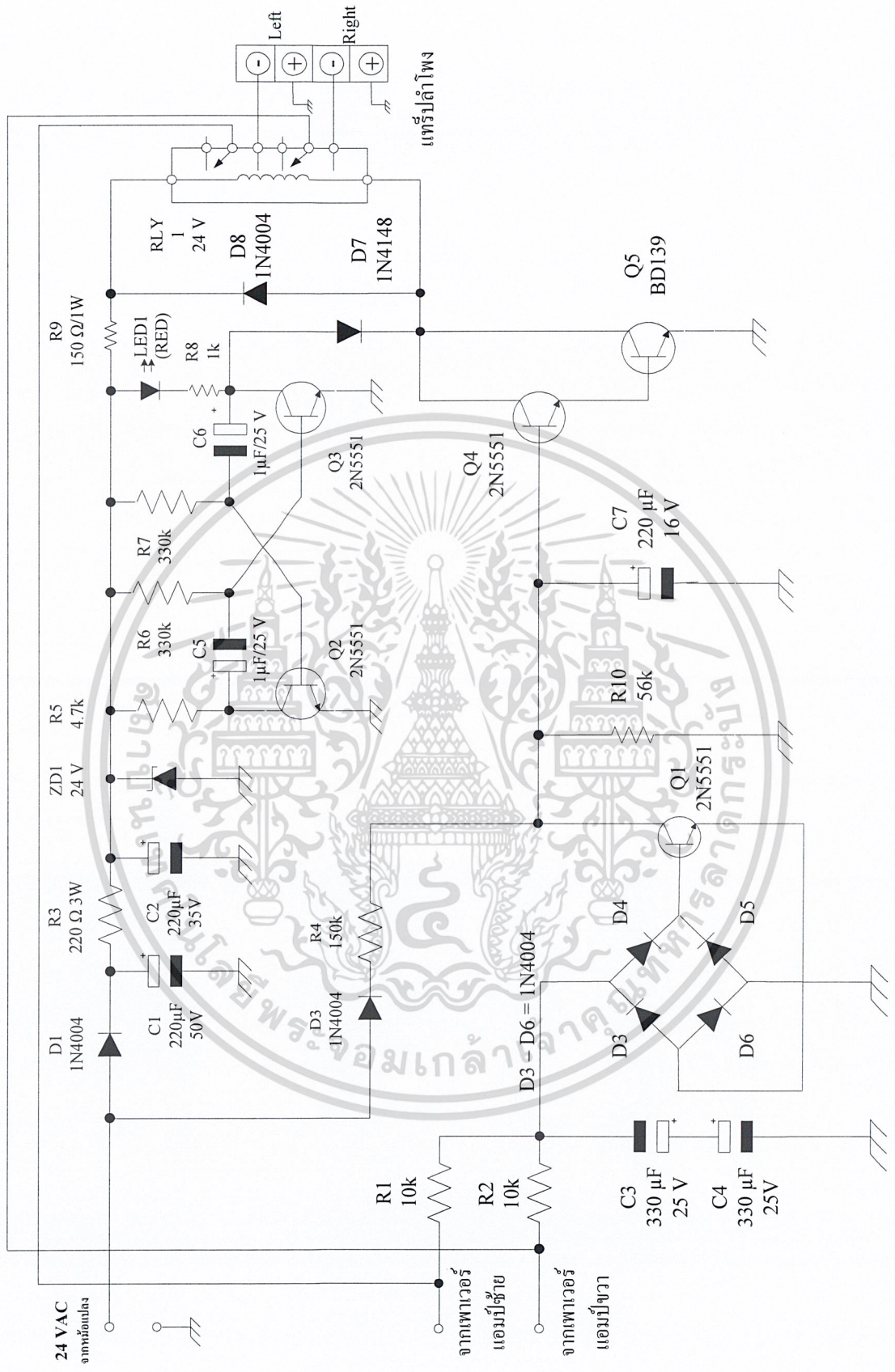
วงจรอีกส่วนหนึ่งที่อยู่ในรูปที่ 2.6 เป็นวงจรป้องกันกระแสเกินปกติ ในกรณีวอยซ์คอยลำโพงเบียด – ชอร์ต หรือสายลำโพงชอร์ต หรือมีการต่อลำโพงขนานกันมากเกินไป โดยการทำงานนั้นจะใช้วิธีการตรวจสอบกระแสที่ไหลผ่าน R30 และ R31 แปลงค่าเป็นแรงดันไฟ แล้วส่งย้อนกลับไปเข้าที่ทรานซิสเตอร์ Q12 และ Q13 ในภาวะปกติแรงดันตกคร่อมรีซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะมีค่าต่ำมาก ไม่เพียงพอที่จะส่งไปไบอัสทรานซิสเตอร์ Q12 และ Q13 แต่หากมีกระแสไหลมากเกินปกติ จนทำให้แรงดันไฟที่ตกคร่อม R30 และ R31 มีค่าสูงขึ้น และทำให้ทรานซิสเตอร์ Q12 และ Q13 นำกระแสได้ ส่งผลทำให้ทรานซิสเตอร์ภาคไดรเว่อร์ Q14 และ Q15 ลดการทำงานลง ทำให้วงจรภาคเอาต์พุตลดการทำงานตามไปด้วย

วงจรป้องกันลำโพง

วงจรอีกส่วนที่ถือว่าหากขาดหายไปแล้ว จะทำให้เครื่องขยายเสียงเครื่องนั้นขาดความสมบูรณ์ไปนั่นคือวงจรป้องกันลำโพง ซึ่งได้แสดงวงจรแยกส่วนเอาไว้ในรูปที่ 2.7 โดยมี C3 และ C4 ทำหน้าที่เป็นตัวลดความไวในการทำงานของวงจรดีซีดีเทกเตอร์ ให้วงจรดีซีดีเทกเตอร์ทำงานกับแรงดันไฟดีซีเพียงอย่างเดียว เพราะวงจรนี้เป็นตัวบอกว่ามีไฟรั่วออกไปยังจุดต่อลำโพงหรือไม่ หากมีสัญญาณส่งเข้าสัญญาณที่ผ่านตัวต้านทานมายัง C3 , C4 จะส่งผ่านค่าคาปาซิแตนซ์ที่ใกล้เคียงศูนย์ของทั้งสองตัวไปครบลูพ โดยกระแสไม่พอสำหรับการทำงานของวงจรไดโอด D3-D6 ที่มาต่อขนานในส่วนถัดมา ไดโอด D3 ถึง D6 ทำหน้าที่เป็นวงจรตรวจสอบแรงดัน และเรียงทิศทางกระแสไฟดีซี โดยเมื่อเอาต์พุตของเครื่องขยายเกิดลัดวงจรหรือทำงานผิดปกติ เกิดแรงดันไฟดีซีออกไปยังจุดต่อลำโพง วงจรคาปาซิเตอร์ C3 , C4 เกิดการประจุทำให้มีการต้านกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอดทั้ง 4 ตัวนี้ ส่งเป็นไบอัสให้เกิดขึ้นกับ Q1 ส่วน Q4 และ Q5 ทำหน้าที่เป็นวงจรขับรีเลย์ มีคาปาซิเตอร์ C7 ทำหน้าที่ในการหน่วงเวลาการต่อรีเลย์ตอนเปิดเครื่องครั้งแรก ส่วนทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 เป็นวงจรฟลิปฟล็อปทำหน้าที่ในการขับกะพริบหลอดแอลอีดีเพื่อแสดงผลเตือนให้รู้ในเวลาผิดปกติ มีคาปาซิเตอร์ C5 , C6 ร่วมกับ R6 , R7 ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความเร็วในการกะพริบของหลอด LED 1

สัญญาณจากเอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์ทั้ง 2 แชนเนล จะส่งตรงไปรอที่สวิตซ์รีเลย์ หากเพาเวอร์แอมป์เป็นปกติ คือ ไม่มีแรงดันไฟดีซีรั่วออกมาทางเอาต์พุต ทรานซิสเตอร์ Q4 และ Q5 จะขับกระแสให้รีเลย์ต่อหน้าสัมผัสเข้าด้วยกัน สัญญาณเสียงที่มาจากการทำงานของเครื่องขยาย จึงส่งออกไปยังไบดิ้งโพสต์ (ขั้วต่อแบบขันเกลียว) หรือแท็ป (ตัวต่อสายลำโพงแบบหนีบ) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรป้องกันลำโพง เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันไฟดีซีส่งออกทางเอาต์พุต

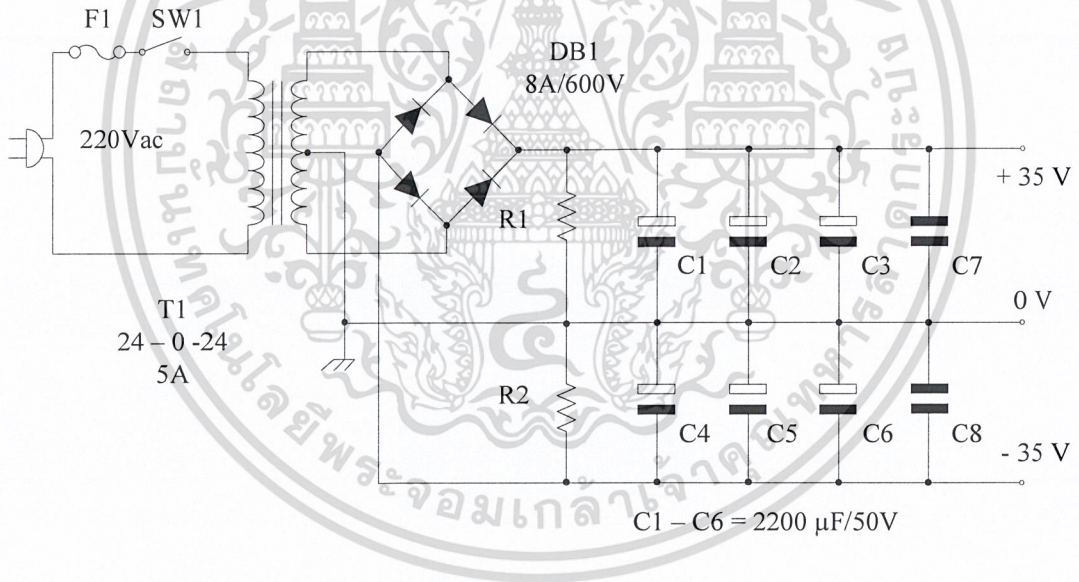
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ลำโพงได้ D1 , C1 , R3 , C2 และ ZD1 ทำหน้าที่เป็นวงจรเร็กติไฟเออร์ และเรกูเลเตอร์ ให้เกิดแรงดันไฟ 24 โวลต์ จ่ายให้กับวงจรป้องกันลำโพงทั้งหมด

วงจรภาคจ่ายไฟ

วงจรภาคจ่ายไฟที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.8 เป็นวงจรที่ออกแบบให้กับวงจรแบบสเตอริโอ โดยวงจรนี้ใช้แรงดันไฟที่ 24x2 โวลต์ (24 V – 0 V – 24 V) กระแส 5 แอมป์ มีไดโอดบริดจ์ 8 แอมป์ (BD1) เป็นตัวเรียงกระแสจากไฟกระแสสลับ 24 โวลต์ เป็นแรงดันไฟกระแสตรง ส่วนคาปาซิเตอร์ C1 ถึง C6 ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองแรงดันไฟ และสำรองแรงดันไฟให้กับวงจรเพาเวอร์แอมป์ทั้ง 2 แชนเนล ได้แรงดันไฟทางออกอยู่ที่ประมาณ 35โวลต์และเป็นภาคจ่ายไฟอิมพีแดนซ์ต่ำ



รูปที่ 2.8 วงจรภาคจ่ายไฟที่จะจ่ายให้กับวงจรเพาเวอร์แอมป์ทั้ง 2 แชนเนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
123376

2.4 วิธีป้องกันสัญญาณแทรกซ้อนด้วยการกราวด์เครื่อง (Grounding or Ground Compensation)

แม้ว่าแรกเริ่มเดิมทีนั้นกราวด์หรือสายดิน หมายถึงตัวเทียบศักย์ไฟฟ้าให้กับแรงดันไฟ แต่ในความจริงของเครื่องขยายเสียงนั้น มีความแตกต่างในเรื่องของกราวด์อยู่หลายแบบ เพราะเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์มิใช่เครื่องมือที่ทำงานด้วยการนำกระแสไฟฟ้าในบ้านจ่ายเข้าไป แล้วสามารถทำงานได้ แต่ยังมีระบบแยกย่อย (Subsystems) อีกหลายระบบ

ปัญหาของกราวด์ก็คือ เมื่อกราวด์คือการเทียบศักย์ไฟฟ้า เมื่อนำมาเรื่องดังกล่าวมาใช้กับระบบเสียง มีการเทียบศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไปหลายเรื่องด้วยกัน ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์ระบบเสียงมิใช่เครื่องมือเดี่ยวๆ โดด ๆ แต่เป็นเครื่องมือที่ต้องผนวกการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ อีกหลายอย่าง เมื่อมีการนำเอาอุปกรณ์แต่ละชนิดมาต่อร่วม การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ต้องใช้การเทียบศักย์ไฟฟ้าต่อกันให้เกิดศักย์เหมือนกัน จึงจะถ่ายทอดสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความชัดเจน ไม่มีสัญญาณอื่นแทรกซ้อน

ในทางปฏิบัติ เมื่อคิดถึงความเป็นระบบ (System) มี การแยกกราวด์ออกได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. กราวด์สัญญาณ (Signal ground) เป็นจุดเทียบศักย์ของสัญญาณเฉพาะเครื่องมือหรือกลุ่มเครื่องมือ

2. กราวด์ดิน (Earth ground) เป็นศักย์ไฟฟ้าภายในที่เทียบกับดินหรือสายดิน โดยถือว่าดินมีศักย์เป็นกลาง จึงเป็นศักย์ที่ใช้อ้างอิงกับไฟฟ้าที่ใช้ในบ้าน หรือไฟฟ้าต้นกำลังซึ่งเป็นไฟฟ้าที่นำมาใช้เพื่อเลี้ยงเครื่องใช้ทั่วไป ปกติกราวด์ดินที่ถูกต้องต้องมีการตอกสายดิน (เรียกว่าแท่งกราวด์รีอด)

3. กราวด์แท่น (Chassis ground) เป็นจุดต่อเข้ากับแท่นเครื่องแต่ละแท่น ในกรณีที่ไฟบ้านเป็นระบบปลั๊กสามตาแท่นเครื่องจะต้องต่อกับกราวด์ดิน

“ การต่อลอยคือวิธีการแยกกราวด์สัญญาณออกจากกราวด์แท่น เป็นการไอโซเลตกราวด์สัญญาณออกจากกราวด์ดิน เพื่อเน้นการกำจัดสัญญาณรบกวนที่วิ่งวนเข้ามากับสายสัญญาณเป็นสำคัญ ”

การกราวด์ดูเหมือนจะเป็นปัญหาสำหรับคนทำงานระบบเสียง หลายคนอาจเข้าใจเพียงว่าการกราวด์มีไว้เพื่อความปลอดภัย ป้องกันไม่ให้ไฟดูด หลายคนเข้าใจมากไปกว่านั้น นั่นคือการจัดกราวด์ที่ถูกต้องใช้เพื่อแก้ปัญหาการฮัมและสัญญาณรบกวน (Hum and noise suppression) แต่มีคนจำนวนไม่มากที่รู้ถึงวิธีแก้ไข วิธีการจัดการกับแรงดันไฟกระแสสลับที่เป็นไฟต้นทางซึ่งจ่ายให้เครื่องเสียงทั้งระบบ

การวนกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในความจริงแล้ว หากสัญญาณเสียงส่งผ่านสายนำสัญญาณ สายนำที่เป็นโลหะมีโอกาสเหนี่ยวนำเอาสัญญาณอื่นอย่างเช่นความถี่วิทยุ (RF) ความถี่ของไฟบ้าน (AC power lines) เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เป็นสวิตช์ (Switching device) มอเตอร์ (Motor) และอื่นๆ เข้ามาด้วย ดังนั้นสายสัญญาณจึงต้องมีสายถักเป็นชีลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนเหล่านี้ ให้ชีลด์เป็นตัวถ่ายสัญญาณรบกวนลงกราวด์โดยตรง

แต่เนื่องจากสายมีระยะยาว การลดทอน และการเพิ่มขึ้นของค่าคามต้านทานเป็นสิ่งที่ตามมา ทำให้แม้จะมีการต่อกราวด์ที่สายสัญญาณแล้ว ก็ยังมีปัญหาตามมาเป็นเรื่องของกราวด์ลูพ ดังที่ได้กล่าวถึงไปบ้างแล้วในตอนแรกการแก้ปัญหาในภาพรวมจึงต้องเริ่มที่ระบบไฟ หรือกราวด์ทั้ง 3 แบบ ซึ่งได้เขียนผังออกมาง่าย ๆ ตามรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีอุปกรณ์ทางเสียง 2 ชนิด แต่ละอุปกรณ์ประกอบด้วยกราวด์ 3 ชนิด ส่งสัญญาณหรือข้อมูลด้วยสายที่มีการหุ้มชีลด์โดยปกติ เมื่อคำนึงการเทียบศักย์ไฟฟ้า ระบบเสียงทั่วไปจึงใช้การรวบกราวด์เข้าด้วยกันจึงทำให้เกิดปัญหาการวนกราวด์จากกราวด์ของสัญญาณที่มากับสายชีลด์ผนวกเข้ากับกราวด์ดินระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัว



รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดกราวด์ลูพ

การแก้ปัญหากราวด์ขั้นพื้นฐาน

ในระดับพื้นฐาน วิศวกรเสียงต้องศึกษารูปแบบการแก้ปัญหาเบื้องต้น 4 รูปแบบ คือ

1. การกราวด์จุดเดียว (Single point grounding)
2. การกราวด์หลายจุด (Multiple point grounding)
3. การต่อลอย (Floating connections)
4. การชีลด์ระยะไกล (Telescoping shields)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

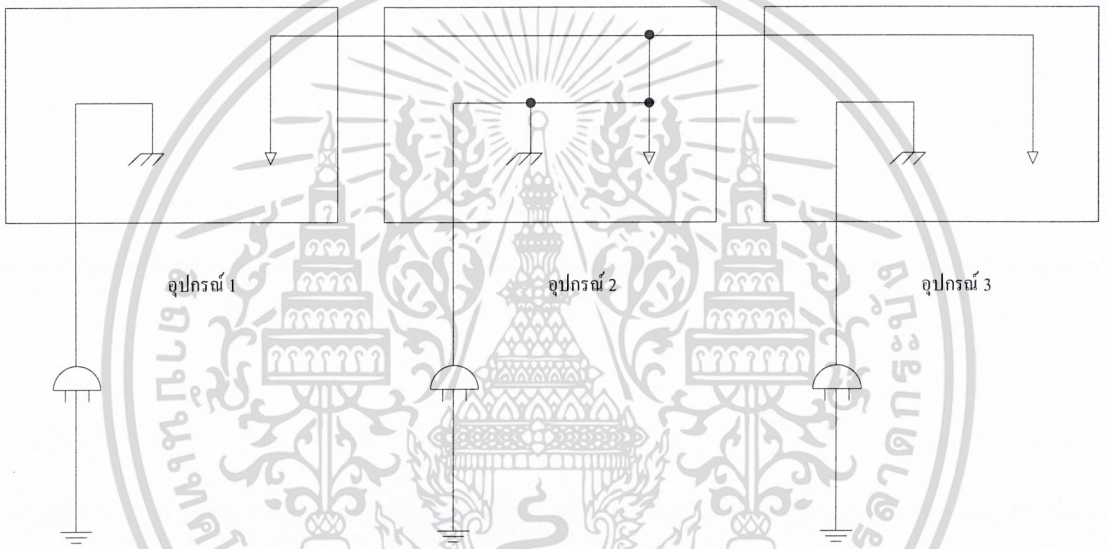
การกราวด์จุดเดียว (Single point grounding)

รูปแบบการกราวด์จุดเดียวหรือซิงเกิลพอยต์กราวดิงเป็นไปดังรูปที่ 2.10 หลักการคือ

- อุปกรณ์ต่อละตัว ให้ต่อแท่นเข้ากับกราวด์ดิน
- เฉพาะอุปกรณ์ตัวกึ่งกลาง ให้ต่อกราวด์สัญญาณเข้ากับดิน หรือเข้ากับแท่น

วิธีการนี้ใช้กำจัดการฮัมจากความถี่ที่มาจากสายไฟและสัญญาณกวนของสวิตชิ่ง (ปัจจุบันเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์มักเป็นเครื่องประหยัดพลังงาน จึงใช้ภาคจ่ายไฟสวิตชิ่ง ไม่ว่าจะเป็นเครื่องขยายเสียง เครื่องเล่นซีดี – ดีวีดี) เหมาะกับการติดตั้งเครื่องคงที่

กราวด์แบบนี้นิยมใช้กับห้องงานสตูดิโอ ห้องบันทึกเสียงหรืองานที่มีการใส่อุปกรณ์ไว้ในชั้นวาง (ใส่แร็ค) และระบบไม่ซับซ้อนมาก



รูปที่ 2.10 การกราวด์จุดเดียว หรือ Single point grounding

การกราวด์หลายจุด (Multiple point grounding)

รูปแบบการกราวด์หลายจุด หรือมัลติเปิลพอยต์กราวดิง แสดงรูปแบบง่ายๆ ดังรูปที่ 2.11 หลักการคือ

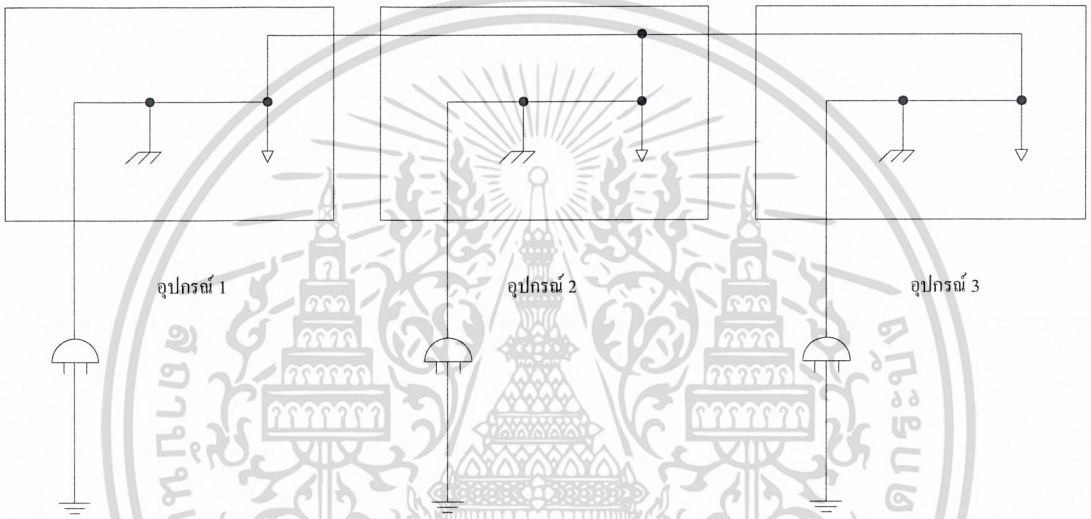
- ต่อกราวด์สัญญาณของแต่ละอุปกรณ์เข้ากับกราวด์แท่นเครื่อง
- ต่อกราวด์แท่นของแต่ละอุปกรณ์เข้ากับกราวด์ดิน

ข้อเด่นของวิธีการนี้คือ เป็นระบบการต่อที่ง่าย เพราะทุกอุปกรณ์ต่อแบบเดียวกันหมด ข้อจำกัดคือแก้ปัญหาความถี่ได้ไม่ทั้งหมด ใช้กับการต่อสายสัญญาณแบบอันบาลานซ์ซึ่งมักเกิดปัญหากราวด์ลูพ เสียงฮัมและสัญญาณกวนที่วิเคราะห์แหล่งที่มาได้ยากซึ่งเกิดขึ้นตอนที่เสียบสายเข้าหรือเอาสายออก ปัญหาอย่างนี้เป็นเรื่องยากมากว่าจะใช้การกำจัดด้วยวิธีไอโซเลต (แยกกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากกัน) หรือจะใช้การต่อระบบคงที่ การกราวด์หลายจุดอาจจะนำมาใช้กับการเข้าสายสัญญาณแบบบาลานซ์ก็ได้ หากว่าการออกแบบเครื่องใช้ตัวนั้นออกแบบกราวด์ภายในเครื่องดี ไม่เกิดสัญญาณรบกวน (No special noise problem)

นั่นหมายถึงว่า หากเครื่องมืออุปกรณ์นั้นออกแบบถูกต้องตามหลักวิชา ตั้งแต่การออกแบบลายพริ้นต์ การกราวด์ การใช้อุปกรณ์ ฯลฯ ย่อมทำให้แก้ปัญหาบางเรื่องที่แปลกปลอม แหวกแนวได้ทางหนึ่งอุปกรณ์ระบบเสียง หากเครื่องถูกออกแบบมาอย่างดี ลายพริ้นต์ถูกต้อง การกราวด์ถูกต้องใช้อุปกรณ์ ถูกต้องจัดวางอุปกรณ์ถูกต้อง จะแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนและการฮัมได้อีกทางหนึ่ง



รูปที่ 2.11 การกราวด์หลายจุด หรือ Multiple point grounding

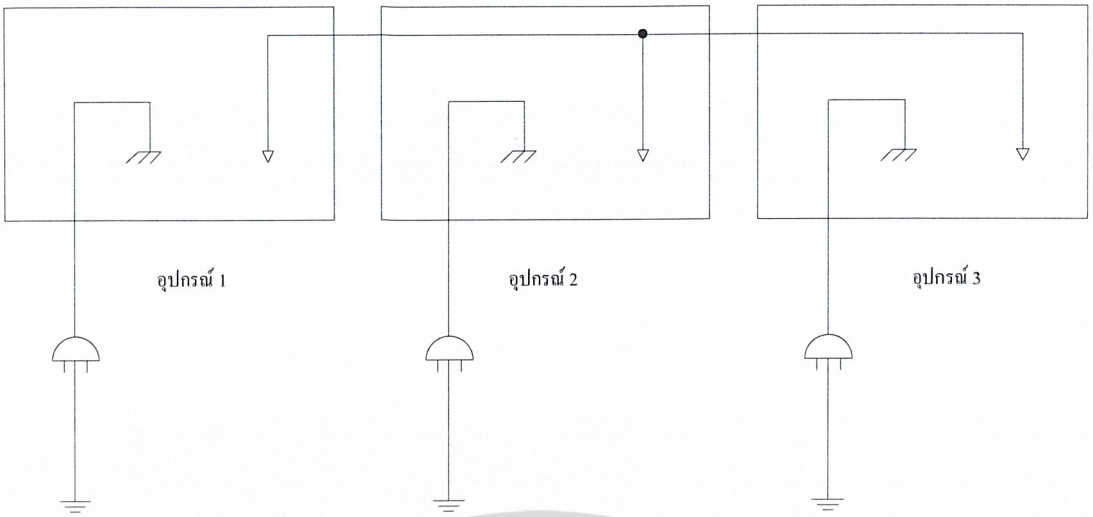
การต่อลอย (Floating connections)

การต่อลอยคือวิธีการแยกกราวด์สัญญาณออกจากกราวด์แท่น เรียกว่าการไอโซเลตกราวด์สัญญาณออกจากกราวด์ดิน ดังแสดงด้วยรูปที่ 5 วิธีการนี้ใช้เพื่อเน้นการกำจัดสัญญาณรบกวนที่วิ่งวนเข้ามากับสายสัญญาณเป็นสำคัญ (กำจัดด้วยการเหนี่ยวนำหักล้างในชีลด์ของสาย)

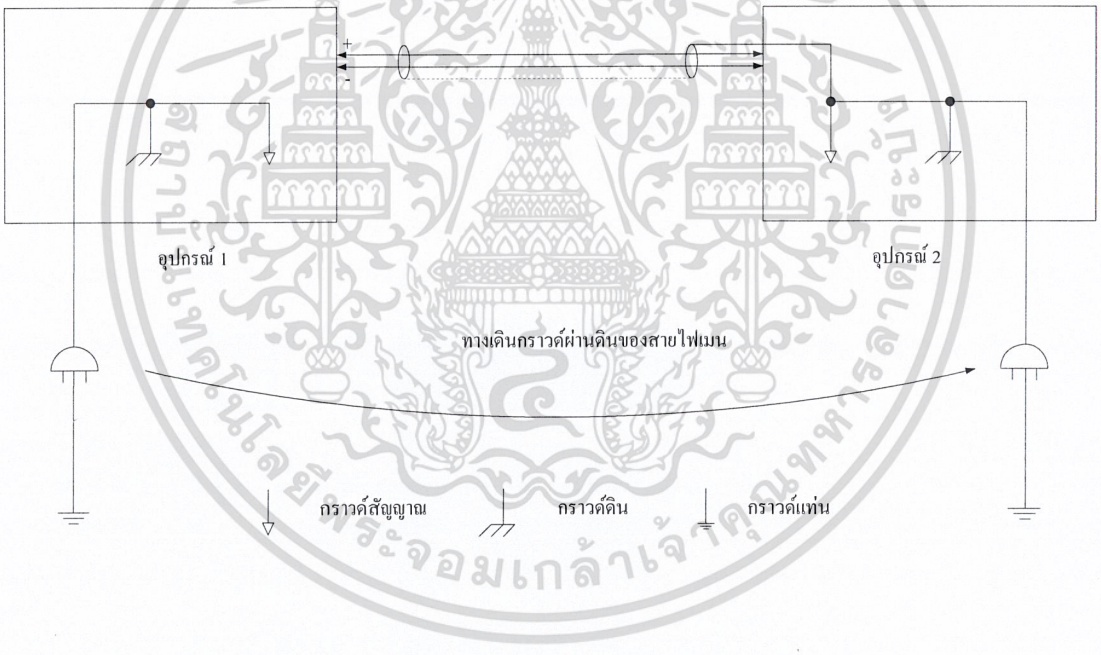
การชีลด์ระยะไกล (Telescoping shields)

วิธีการชีลด์ระยะไกลเป็นไปตามรูปที่ 2.12 คือเมื่อเครื่องใช้แต่ละตัวมีระยะห่างจากกันมาก ๆ ปัญหาการเกิดกราวด์ลูพจะตามมาอย่างเลี่ยงได้ยาก จึงต้องใช้สายชีลด์ต่อเข้ากับกราวด์ดิน ไม่ให้สัญญาณกวนมีการเหนี่ยวนำ หรือในระบบสายยาวไกลอาจจะใช้หม้อแปลงไอโซเลต แบบที่ใช้กับสเน็คบ็อกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การต่อกราวด์ลอย หรือ Floating connections



รูปที่ 2.13 การชีลด์ระยะไกล หรือ Telescoping shields

เทคนิคกราวด์แบบผสม (Combining grounding techniques)

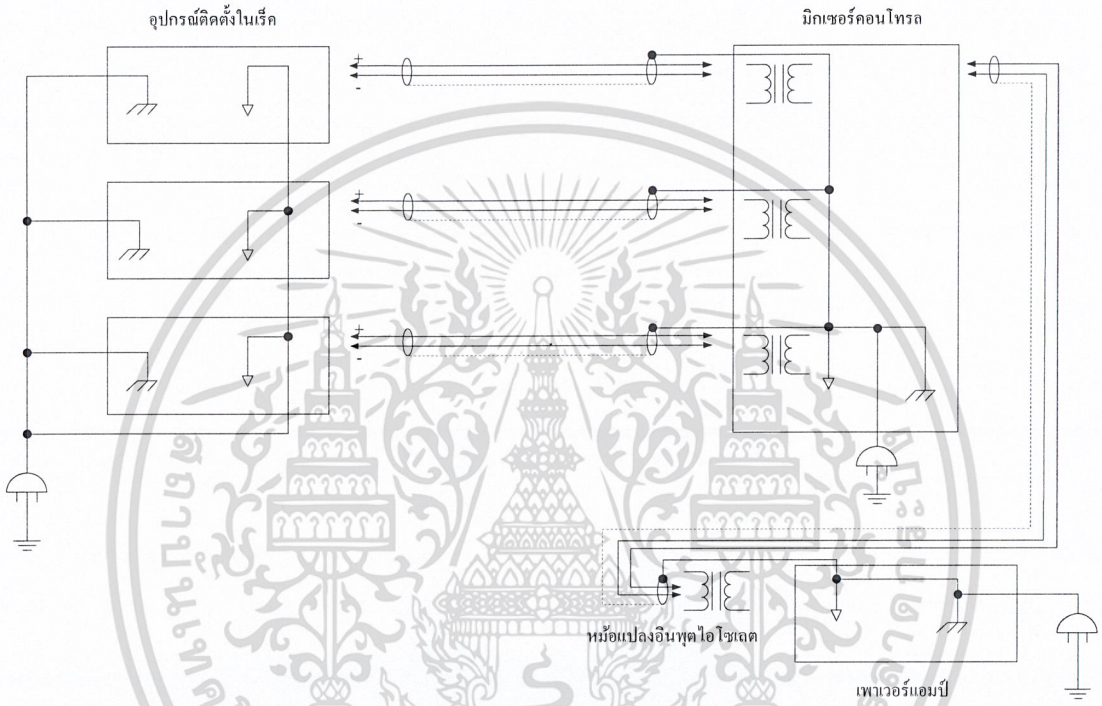
ในทางปฏิบัติงานระบบเสียงอาจต้องเคลื่อนย้ายติดตั้ง รื้อถอน อุปกรณ์ระบบเสียงต่าง เช่น อีควอไลเซอร์คอมเพรสเซอร์ – ลิมิตเตอร์ และเอฟเฟ็กซ์ต่างๆ จะถูกติดตั้งเข้ากับแร็ค โดยมีมิกเซอร์คอนโซลเป็นอุปกรณ์เชื่อมตรงกลางเพื่อส่งสัญญาณไปยังเพาเวอร์แอมป์เป็นขั้นตอนสุดท้ายระบบกราวด์ผสมอย่างที่เห็นในรูปที่ 2.13 เป็นที่นิยมใช้ โดยมีหลักว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการแรก เป็นการแยกระบบย่อย หรือเครื่องมือออกจากระบบใหญ่ โดยอาศัยการถ่ายหรือชีลด์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าลงดิน

ประการที่สอง ต่อกราวด์สัญญาณของแต่ละเครื่องเข้าด้วยกัน เพื่อให้ศักย์สัญญาณเทียบกันได้ดี ก่อนต่อกับกราวด์ดินเพียงจุดเดียว

ประการที่สาม มีหม้อแปลงไอโซเลตที่มีขนาดใหญ่พอสำหรับแยกระบบย่อยกับระบบใหญ่ออกจากกัน ทำให้เกิดการต่อลอยบาลานซ์ที่สมบูรณ์

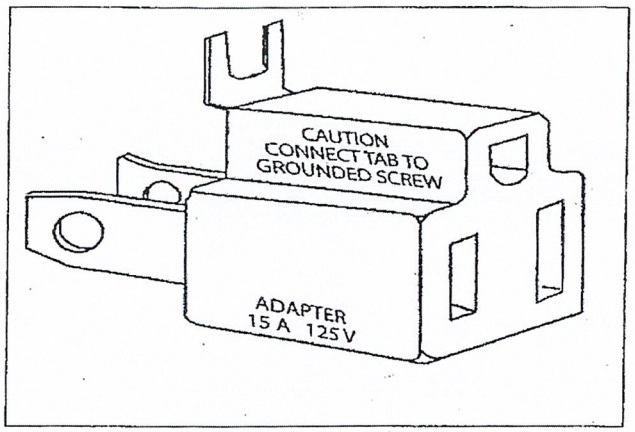


รูปที่ 2.14 เทคนิคกราวด์แบบผสม หรือ Combining grounding techniques in a practical system

ปัจจุบันมีคนคิดหม้อแปลงเอซีไอโอเซตออกมาใช้ทั้งกับงานในบ้าน (เพิ่มเติมจากที่เคยใช้ไลน์ฟิลเตอร์) และงานบันเทิง นอกจากเพื่อการแยกกราวด์หรือลอยกราวด์ออกจากกันแล้ว ยังมีอุปกรณ์ซัพเพรสเซอร์เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนอยู่ในตัวอีกทางหนึ่งด้วย

แต่สำหรับงานทั่ว ๆ ไปในบ้านเรา หากสามารถหาเซฟตี้ปลั๊กอย่างที่เห็นในรูปที่ 2.14 มาใช้งานได้ก็น่าจะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดี เพราะปลั๊กดังกล่าวมีหางปลาเพื่อให้เราต่อสายดินได้สะดวก จะเห็นว่าการทำระบบเสียงเบื้องต้นนั้น เราละเลยเรื่องของกราวด์ไป มองเพียงว่ามีเสียงเท่านั้นเป็นพอ แต่เมื่อคนฟังพัฒนาโสตสัมผัสมากขึ้น ต้องการฟังเสียงที่ชัด ใส คนทำระบบเสียงต้องพัฒนาเรื่องกราวด์เบื้องต้นต้องรู้และทำให้ดีก่อน เพราะมีระบบเชิงลึกที่ใช้เพื่อแก้ปัญหาซับซ้อนอีก 3 – 4 รูปแบบให้เราศึกษาในลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ปลั๊กต่อที่มีหางปลาต่อกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟลด์ขนาด 20 วัตต์ จะมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ขนาด 20 วัตต์

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด $\pm 35\,V, 5\,A$

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและสร้างลายปริ้นซ์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์

ขั้นตอนที่ 4 ประกอบอุปกรณ์และสร้างเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟลด์ขนาด 20 วัตต์

วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟลด์ขนาด 20 วัตต์ จะประกอบด้วยวงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลแบบสมมาตร วงจรภาคขยายแรงดัน วงจรภาคขยายกระแส วงจรป้องกันกระแสเกิน วงจรป้องกันลำโพง และวงจรชดเชยคุณภาพของเสียง ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3.1

หลักการทำงานของวงจร

วงจรภาคดิฟเฟอเรนเชียลจะรับสัญญาณเข้ามาทางอินพุตที่ขั้วเบสของ Q_2 ส่วน Q_3 จะรับสัญญาณอินพุตที่ขั้วเบสจากการป้อนกลับของวงจรขยายกำลังซึ่งมี R_1, R_2 เป็นตัวกำหนดค่าอัตราการขยายของวงจรนี้โดยมี Q_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรจ่ายกระแสคงที่ และสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดจะขยายสัญญาณผ่านวงจรมิร์เร่อร์แอมป์โดยมี Q_4, Q_5 ทำหน้าที่รักษารูปร่างของสัญญาณไม่ให้มีการเปลี่ยนรูปผิดเพี้ยนไป แล้วจึงส่งต่อไปยังวงจรปรีไดรเว่อร์เพื่อทำหน้าที่ขยายแรงดันโดยจัดวงจร Q_{10}, Q_{11} เป็นเสมือนวงจรดาร์ลิงตันแบบวงจรร่วมอิมิตเตอร์แต่ Q_9 จะทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมเสถียรภาพการทำงานให้คงที่ให้กับ Q_{10}, Q_{11} รวมถึงจะทำหน้าที่เป็นวงจรป้องกันอันเนื่องจากวงจรขยายส่วนหน้ามีการจ่ายกระแสเกินปกติหรืออาจเกิดการลัดวงจรเข้ามา ดังนั้น Q_9 จะเป็นตัวป้องกันไม่ให้ Q_{10}, Q_{11} รวมถึงภาคไดเวอร์ และเอาต์พุตได้รับความเสียหาย จากนั้นสัญญาณแรงดันตกคร่อม V_{C11}, V_{C7} โดยมี Q_7, Q_{11} ทำหน้าที่ส่งต่อไปยังภาคขยายกระแส ส่วน Q_8 กับ VR1 เป็นวงจรไบแอสกระแสคงที่ให้วงจรขยายกระแสซึ่งจะทำหน้าที่ขับกระแสให้กับลำโพงโดยมี Q_{14}, Q_{15} เป็นภาคไดเวอร์และต่อแบบวงจรป้อนกลับแบบคอมพลีเมนตารี่(Complementary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

feedback) คลาส B โดยที่ Q_{14} ทำหน้าที่ขยายกำลังด้านลบส่วน Q_{15} ทำหน้าที่ขยายสัญญาณด้านบวก

จะวิเคราะห์และคำนวณหาค่าอัตราการขยายแรงดันของวงจร แรงดันตกคร่อม กระแส ของภาคขยายดิฟเฟอเรนเชียล ภาคปรีไดรเว่อร์ และภาคขยายกระแส ได้ดังนี้

หาค่าอัตราการขยายแรงดันของวงจร คือ

$$A_V = 1+\frac{R_{11}}{R_{12}} \qquad \text{.....(3.1)}$$

$$A_V = 1+\frac{12\,\text{k}\Omega}{0.33\,\text{k}\Omega}$$

$$A_V = 37$$

ที่ภาคขยายกระแส

เมื่อปรับ $VR1 \approx 500\ \Omega$ หาค่าแรงดันตกคร่อม V_{CE8} ได้คือ

จากวงจรแบ่งแรงดัน $$V_{BE8(on)} = \frac{R_{15}+VR1}{R_{14}+R_{15}+VR1}\cdot V_{CE8} \qquad \text{.....(3.2)}$$

$$V_{CE8} = \frac{R_{14}+R_{15}+VR1}{R_{15}+VR1}\cdot V_{BE8(on)}$$

$$V_{CE8} = \frac{470\,\Omega+100\Omega+500\Omega}{100\Omega+500\Omega}\cdot(0.6\,\text{V})$$

$$V_{CE8} = 1.07\ \text{V}$$

ที่ภาคปรีไดรเว่อร์

หาค่าแรงดันตกคร่อม V_{C11} ได้คือ

$$V_{C11} = \frac{V_{CE8}}{2} = \frac{1.07\,\text{V}}{2}$$

$$V_{C11} = 0.535\ \text{V}$$

ดังนั้น $$V_{E8} = V_{C11} = 0.535\ \text{V}$$

เมื่อ $V_{E11} = -34.43$ V หาค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ I_{C11} ผ่าน Q_{11} หรือ I_{C8} นั่นคือ

$$V_{E11} = I_{C11}R_{18}+V^- \qquad \text{.....(3.3)}$$

$$I_{C11} = \frac{V_{E11}-V^-}{R_{18}}$$

$$I_{C11} = \frac{-34.43\,\text{V}+35\,\text{V}}{0.022\,\text{k}\Omega} = 25.91\ \text{mA}$$

ที่ภาคขยายดิฟเฟอเรนเชียล

หาขนาดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด A คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{E4} = I_{CQ4}R_7 + V^- \quad \text{.....(3.4)}$$

หาค่ากระแส I_{CQ4} ได้คือ

$$I_{CQ4} = \frac{V_{E1}}{2R_5} \quad \text{.....(3.5)}$$

$$I_{CQ4} = \frac{0.8\,V}{2(0.1\,k\Omega)} = 4 \quad mA$$

$$V_{E4} = I_{CQ4}R_7 + V^-$$

$$V_{E4} = (4\,mA)(0.068\,k\Omega) - 35V$$

$$V_{E4} = -34.73 \quad V$$

จากวงจร $V_{E4} = V_{E5}$ และ $V_{CE4} = V_{CE5}$

หาค่าแรงดันที่ตกคร่อม V_{C4} ได้ดังนี้

$$V_{B10} = 2V_{BE(on)10-11} + V_{E11} \quad \text{.....(3.6)}$$

$$V_{B10} = 2(0.6\,V) - 34.43V = -33.23 \quad V$$

หาค่าแรงดันที่ตกคร่อม V_{C2} ที่จุด A คือ

$$V_{C2} = V_{C4} = V_{B10} = -33.23 \quad V$$

หาค่าแรงดันตกคร่อม V_{CE4} ได้คือ

$$V_{C4} = V_{CE4} + I_{E4}R_7 + V^- \quad \text{.....(3.7)}$$

$$V_{CE4} = V_{C4} - I_{E4}R_7 - V^-$$

$$V_{CE4} = -33.23\,V - (4\,mA)(0.068\,k\Omega) + 35\,V$$

$$V_{CE4} = 1.5 \quad V$$

หาค่าอัตราการขยายกระแสของภาคขยายกระแส ได้ดังนี้

ตามคุณสมบัติของวงจรขยายคลาส B จะปรับกระแสสงบให้มีค่าแรงดันตกคร่อมไม่เกิน 18 mV

กำหนด $V_{out} = 10$ mV หาค่ากระแสสงบของวงจรที่ไหลผ่าน R_{30}, R_{31} ได้คือ

$$V_{out} = I_{out}(R_{30} + R_{31})$$

$$I_{out} = \frac{10\,mV}{0.44\,\Omega} = 22.72 \quad mA$$

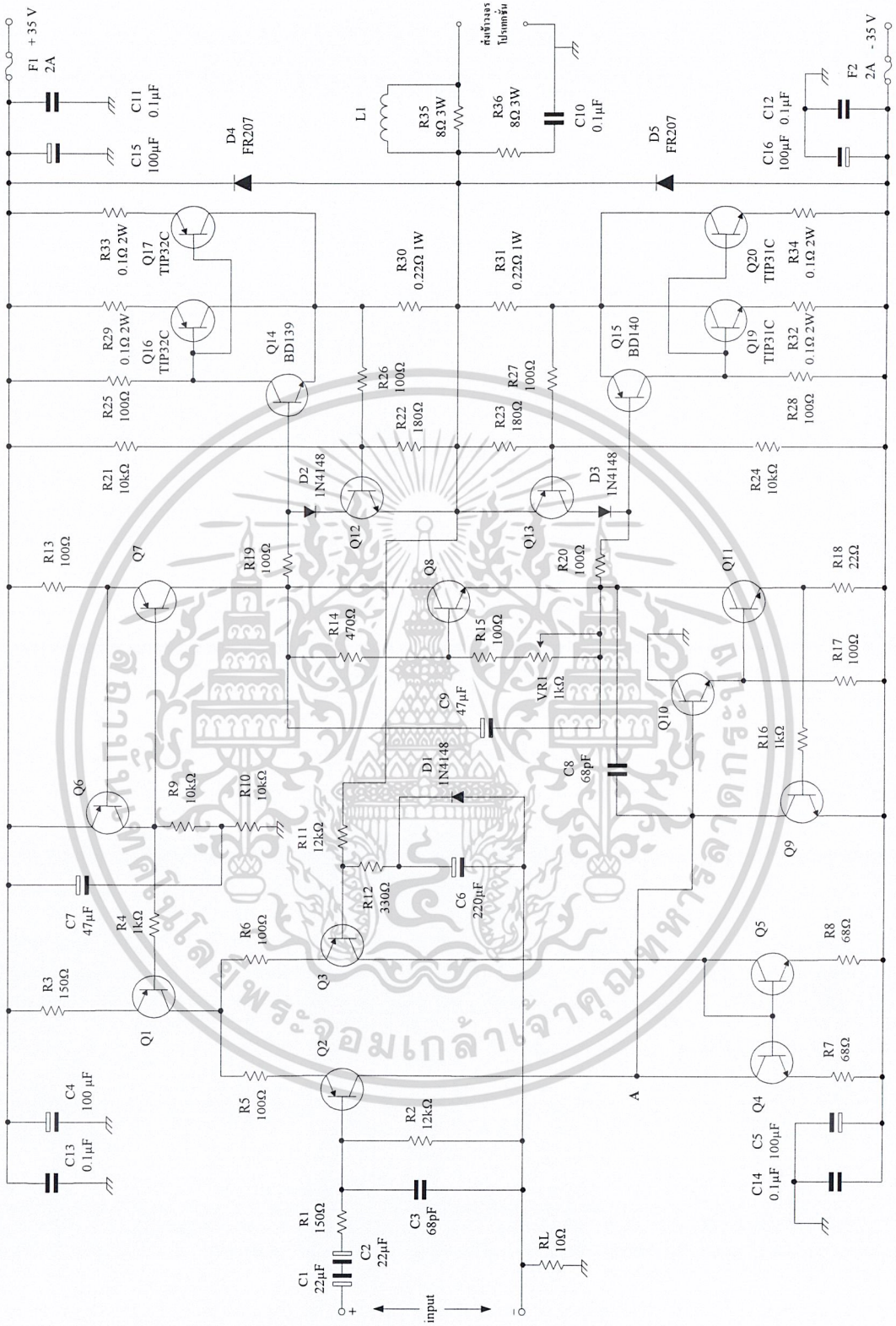
หาค่าอัตราการขยายกระแสได้คือ

$$A_I = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{I_{E14}}{I_{E8}}$$

เมื่อ $I_{in} = I_{C8} = I_{E8} = I_{C11}$ และ $I_{out} = I_{E14} = I_{E15}$

$$A_I = \frac{22.72\,mA}{25.91\,mA} \cong 1$$

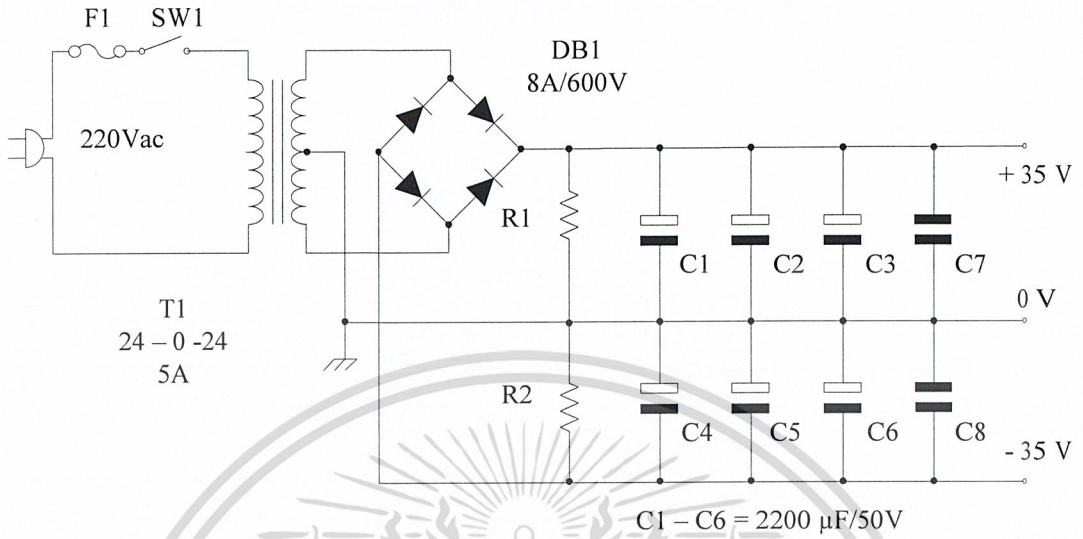
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การออกแบบวงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ 20 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด $\pm 35\,V, 5\,A$



รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด $\pm 35\,V, 5\,A$

หลักของการกำหนดค่าหม้อแปลง แรงดันไฟของหม้อแปลงที่ส่งออกมาเป็นแรงดันไฟกระแสสลับที่มีค่าเป็นโวลต์ RMS นั้นคิดคำนวณจากสูตรง่าย ๆ โดยการนำเอาค่าของแรงดันไฟตรง ที่จ่ายเลี้ยงวงจรเครื่องขยายเสียงมาคำนวณค่าหม้อแปลง ในโครงงานนี้เป็นเพาเวอร์แอมป์ขนาด 20 วัตต์ ที่รับไฟเลี้ยงวงจรอยู่ที่ ±35 โวลล์ ซึ่งเมื่อคำนวณด้วยสูตรง่าย ๆ จะได้ออกมาดังนี้

$$V_{ac} = 0.707\,V_{DC} = 0.707 \times 35\,V = 24.7\ V$$

เมื่อ V_{ac} คือ ค่าแรงดันไฟกระแสสลับซึ่งออกจากหม้อแปลง

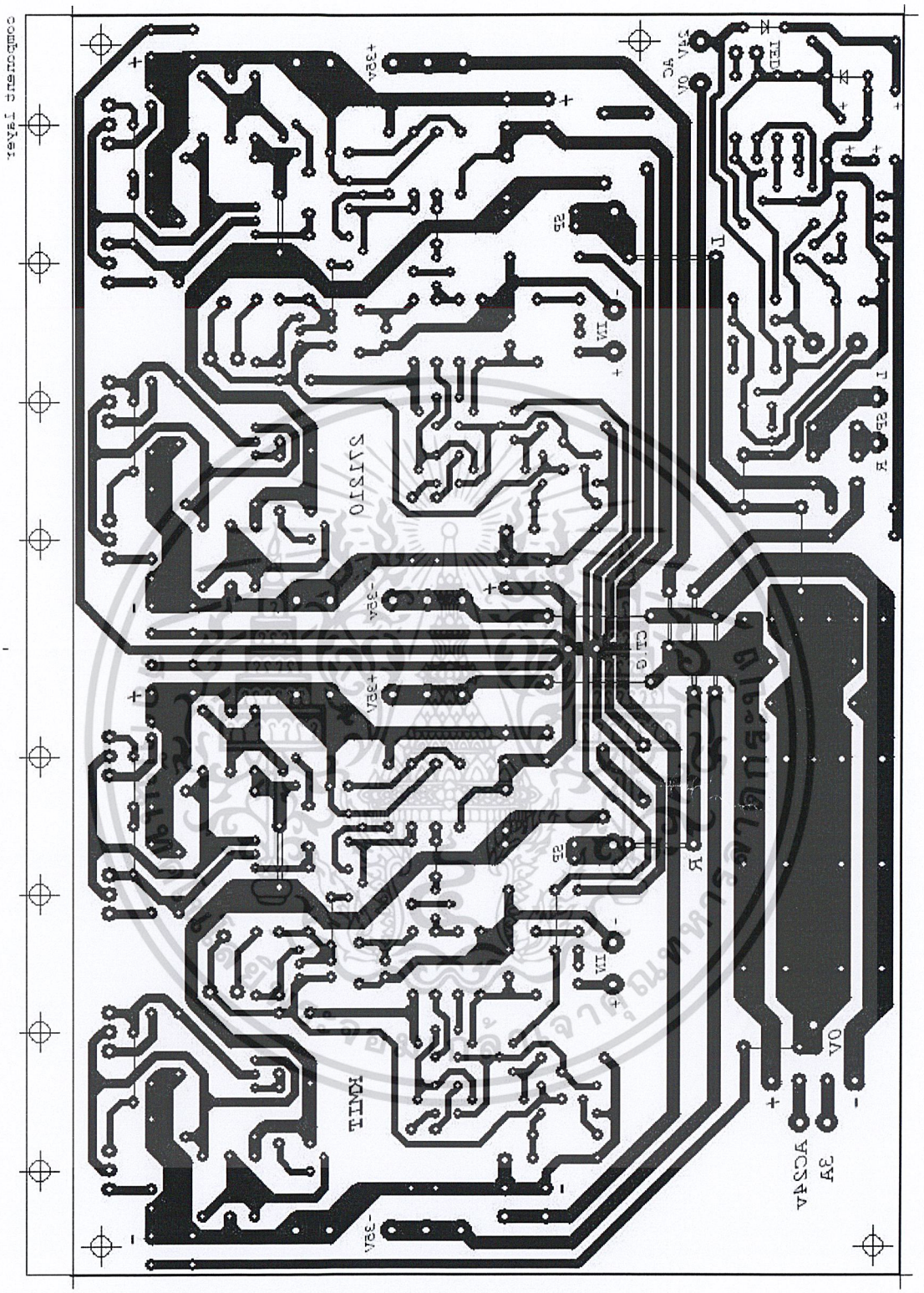
V_{DC} คือ ค่าแรงดันไฟที่ใช้เลี้ยงวงจรเครื่องขยาย

จากการคำนวณหม้อแปลงที่เลือกใช้ในวงจรเท่ากับ $24 – 0 – 24\ V_{ac}$

3.3 ออกแบบและสร้างลายปริ้นซ์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟลด์

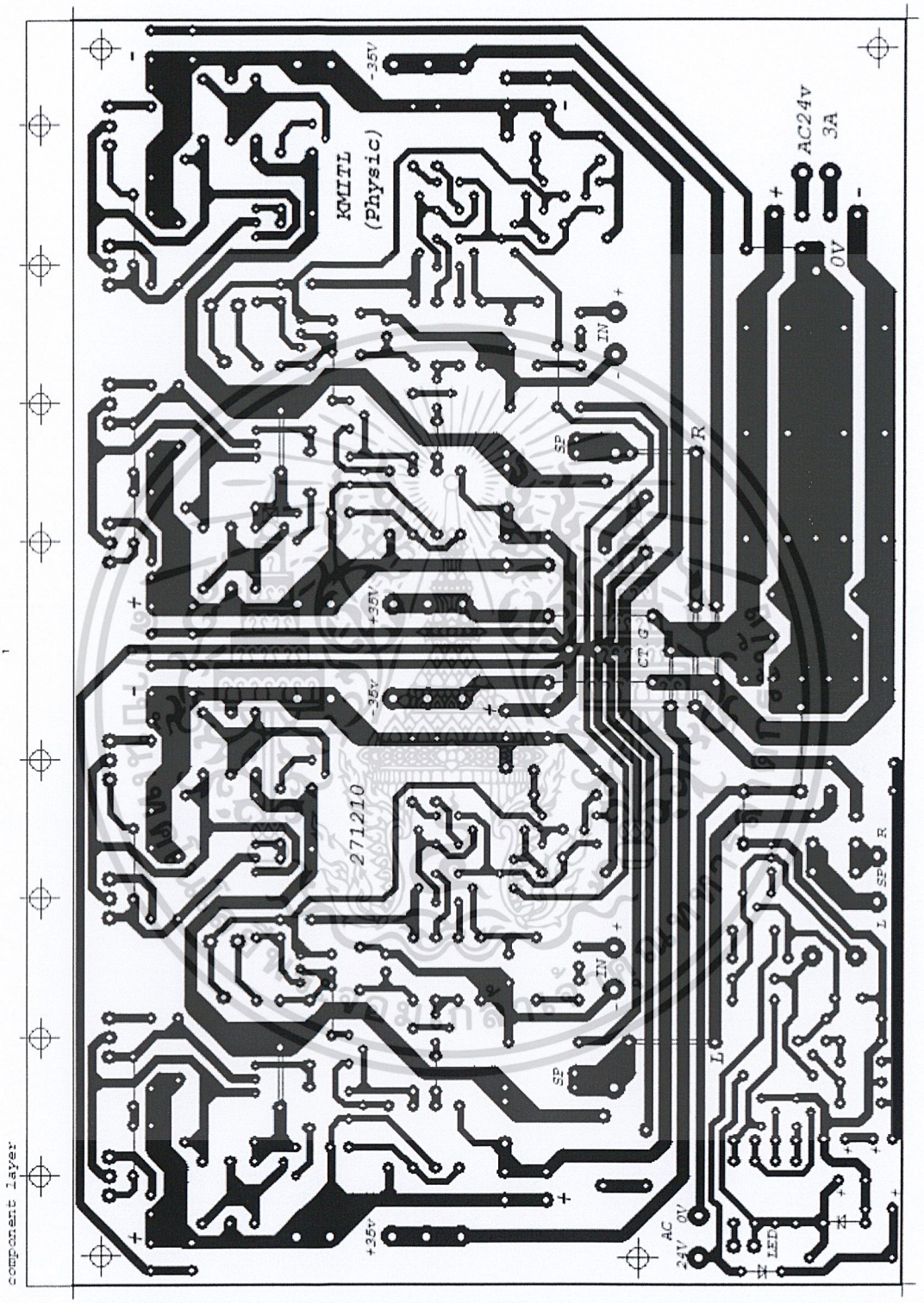
การออกแบบลายปริ้นซ์ของวงจรต้นแบบจะใช้แผ่นทองแดงขนาด 23×15.7 ซม. และออกแบบลายปริ้นซ์ด้วยโปรแกรม PCB Design ดังรูปที่ 3.3 รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



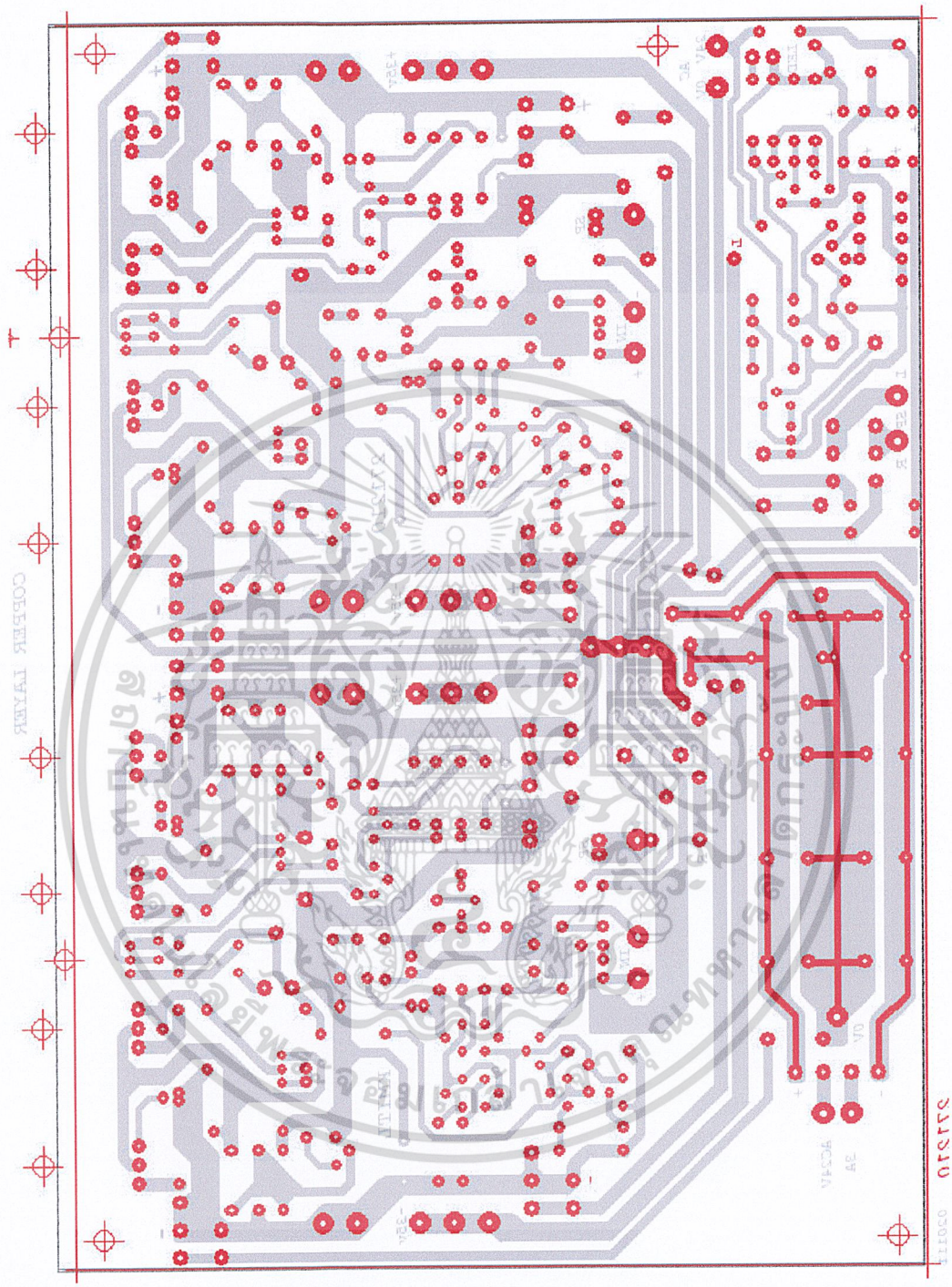
รูปที่ 3.3 แผ่นวงจรรวมทั้งหมดของเครื่องขยาย ออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์ ด้านลายทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผ่นวงจรรวมทั้งหมดของเครื่องขยาย ออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์ ด้านลงอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

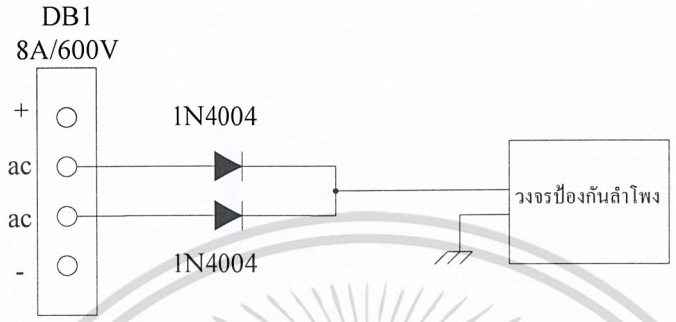


รูปที่ 3.5 แผ่นวงจรรวมทั้งหมดของเครื่องขยาย ออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์ สำหรับพิมพ์เขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ประกอบอุปกรณ์และสร้างเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์

เมื่อเข้าใจหลักการทำงานทั้งหมดของวงจรแล้ว สำหรับแรงดันไฟที่จ่ายให้กับชุดป้องกันลำโพงซึ่งมีค่า 24 V_{ac} จะใช้การประยุกต์โดยการนำแรงดันไฟจากหม้อแปลงผ่านไดโอด 1N4004 ไปเข้าวงจรป้องกันลำโพง ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงวิธีการต่อไฟเลี้ยงเข้าชุดป้องกันลำโพง

หลังจากที่ได้สร้างแผ่นวงจรที่ออกมาตามที่ออกแบบไว้ในโครงงานนี้เป็นลายวงจรเท่าขนาดจริงดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 คือด้านลายทองแดง จึงนำมาตรวจสอบลายวงจรว่ามีการขาด ชอร์ต หรือ ข้ามลายอยู่หรือไม่ เมื่อทำการตรวจสอบเสร็จสิ้นแล้ว ให้นำมาเจาะรูลงอุปกรณ์ แล้วเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบแผ่นวงจร เพื่อล้างคราบไขมัน สิ่งสกปรก และ กันสนิม เมื่อใช้งานไปนาน ๆ เมื่อน้ำยาเคลือบแผ่นวงจรแห้งสนิทแล้ว จึงนำมาลงอุปกรณ์ตามตำแหน่งการลงอุปกรณ์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 โดยลงอุปกรณ์ที่มีขนาดเตี้ยที่สุดไปหาอุปกรณ์ที่มีขนาดสูงขึ้น ขั้นตอนแรกต้องลงจั้มเปอร์หรือลวดโยงลายปริ้นซ์ก่อนเป็นอันดับแรก ในการลงรีซิสเตอร์นั้นจะต้องอ่านค่าให้ถูกต้อง ควรใช้มิเตอร์วัดหาค่าจะเป็นการดีที่สุด เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง

ส่วนอุปกรณ์ที่มีขั้วไม่ว่าจะเป็นคาปาซิเตอร์, ไดโอด และ ทรานซิสเตอร์ ต้องตรวจสอบขั้วให้ถูกต้อง เบอร์ของทรานซิสเตอร์ต้องตรวจสอบให้ถูกต้อง ทรานซิสเตอร์คู่ดิฟเฟอเรนเชียล และมิร์เร่อร์แอมป์ ในวงจรออกแบบให้หันหน้าตัดประกบเข้าด้วยกัน เพื่อชดเชยเรื่องอุณหภูมิในการทำงานที่ต้องสมมาตรทุกประการ และใช้ท่อหดรัดทั้งคู่เข้าด้วยกัน ขดลวด L1 ใช้ลวดเบอร์ 18 พันรอบแกนขนาดที่สามารถสอด R ค่า 8 โอมห์ 3 วัตต์ได้ แล้วนำปลายมาบัดกรีเข้าด้วยกันจึงเสียบลงแผ่นปริ้น ลงอุปกรณ์ให้ครบทุกตัว ยกเว้นทรานซิสเตอร์เอาท์พุตทั้ง 10 ตัว เพราะต้องติดตั้งกับแผ่นระบายความร้อน และเมื่อประกอบอุปกรณ์บนแผ่นวงจรเรียบร้อยแล้ว จึงนำแผ่นระบายความร้อนมาเจาะรูยึดเข้ากับแผ่นปริ้นซ์และทรานซิสเตอร์ โดยทรานซิสเตอร์เอาท์พุตต้องดัดขาเป็นมุมฉากเพื่อจะติดตั้งแบบนอนรองแผ่นฉนวนไมก้า หรือฉนวนยางซิลิโคนก่อน แล้วจึงจะยึดทรานซิสเตอร์เอาท์พุตทั้ง 10 ตัว โดยต้องสวมบูสต์กันชอร์ตระหว่างตัวถังของทรานซิสเตอร์กับนอตแล้วจึงบัดกรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประกอบอุปกรณ์บนแผ่นวงจรทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบทั้งการลงอุปกรณ์ ลายวงจร และการบัดกรีทั้งหมด เพื่อตรวจให้แน่ใจว่าทุกอย่างถูกต้องเพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

3.5 การทดสอบวงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ ขนาด 20+20 วัตต์

การทดสอบวงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ จะแบ่งการทดสอบ 3 ตอน ด้วยกัน คือ การทดสอบวงจรเบื้องต้น การทดสอบโหลด และการทดสอบกับชุดการทำงานของเครื่องขยาย ดังต่อไปนี้

3.5.1 การทดสอบวงจรเบื้องต้น

1) ทำการวัดค่าความต้านทานระหว่างตัวถังของทรานซิสเตอร์เอาท์พุตทั้ง 8 ตัว เทียบกับแผ่นระบายความร้อนโดยยังไม่จ่ายไฟเข้าเครื่อง และดูว่ามีตัวไหนชอร์ตกับแผ่นระบายความร้อนบ้าง โดยปกติแล้วการวัดค่าความต้านทานของทรานซิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว จะต้องได้ค่าความต้านทานสูงเป็นอินฟินิตี้ แต่หากตัวไหนวัดได้ค่าความต้านทานต่ำ ถือว่ารั่วหรือ ชอร์ต ซึ่งต้องไม่ให้เกิดเป็นอันขาด

2) ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ VR1 ไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง

3) ต่อไฟเลี้ยงวงจรจากหม้อแปลง เข้าที่ชุดการทำงานต่าง ๆ

4) สังเกตความผิดปกติต่าง ๆ เช่น กลิ่น ควัน ความร้อน ว่าปกติหรือไม่ซึ่งต้องตรวจสอบและแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนจะทดสอบในลำดับถัดไป

5) สังเกตที่การทำงานของวงจรโปรเทกชั่น โดยดูที่การทำงานของหลอด LED ว่ามีการกระพริบหรือไม่ ในสภาวะปกติแล้วหลอด LED จะกระพริบประมาณ 5 วินาทีและจะติดสว่างตลอด แสดงว่าวงจรมีความสมบูรณ์พร้อมใช้งานได้แต่ถ้าหลอด LED ไม่ติดเลยให้ทำการตรวจสอบตั้งแต่ไฟเลี้ยงของวงจรป้องกันลำโพง การลงอุปกรณ์ของวงจรป้องกันลำโพง และในส่วนอื่น ๆ

6) ในกรณีที่หลอด LED มีการติดกระพริบตลอดแสดงว่าวงจรมีการทำงานผิดปกติ ให้ทำการวัดแรงดันไฟที่จุดเอาท์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ทั้ง 2 แชนเนล ว่ามีแรงดันไฟดีซีรั่วออกมาหรือไม่ โดยใช้มิเตอร์วัดที่ R ค่า 8 โอมห์ ที่มีลวดพันคร่อมอยู่ ปกติแล้วต้องไม่มีไฟรั่วออกมา และหากที่แชนเนลไหนมีไฟรั่วออกมาให้ตรวจสอบการลงอุปกรณ์ของแชนเนลนั้นและทดลองใหม่อีกครั้ง

7) ทำการทดลองจ่ายสัญญาณเข้าวงจร และต่อลำโพงเพื่อทดลองฟังเสียงก่อนว่าทั้ง 2 แชนเนล สามารถขยายสัญญาณได้เป็นปกติหรือไม่ฟังจากคุณภาพของเสียง และถ้าเสียงที่ได้จากการขยายเป็นไปตามปกติ ไม่มีความผิดเพี้ยน จึงทำการปรับกระแสสงบในลำดับถัดไป

8) การปรับกระแสสงบ ให้ถอดสายสัญญาณและสายลำโพงออกก่อน เพราะการวัดกระแสสงบ คือการวัดกระแสที่ไหลในวงจรภาคเอาท์พุตขณะที่ไม่มีการขยายสัญญาณ โดยวัดที่แรงดันไฟที่ตกคร่อมรีซิสเตอร์จำกัดกระแส ซึ่งคือ R30 และ R31 ของทั้ง 2 แชนเนล ซึ่งจะวัดคร่อม

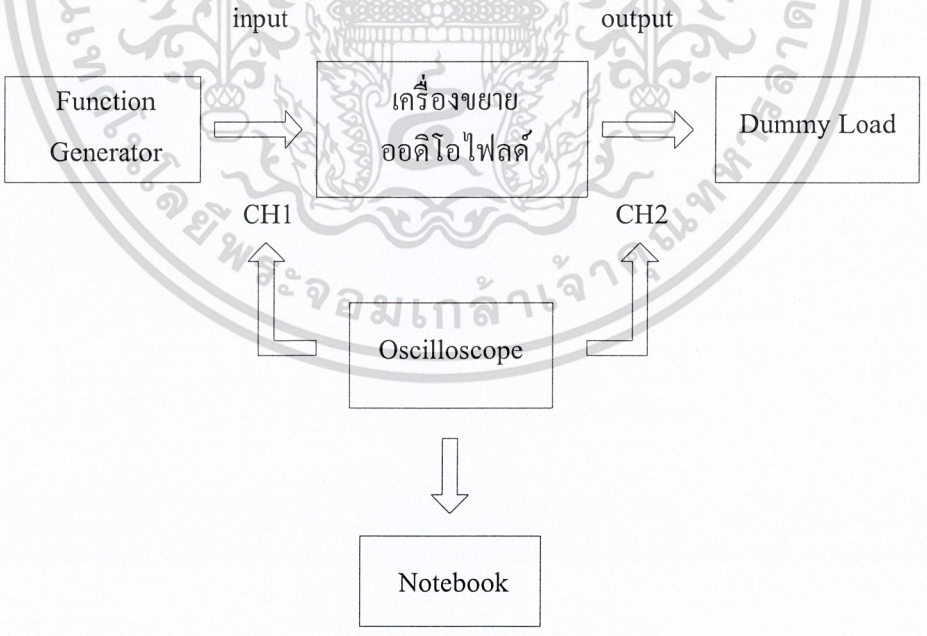
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทานรวมทั้ง 2 ตัว ตั้งช่วงการวัดมิเตอร์ไว้ที่ 250mV แล้วปรับที่ VR1 ให้ได้แรงดันไฟตกคร่อมที่ประมาณ 10 mV ซึ่งหากคิดคำนวณตามกฎของโอมห์จะได้กระแสสงบอยู่ที่ 22.7 mA ซึ่งเป็นค่ากระแสที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานกับวงจรภาคเอาท์พุตแบบคอมพรีเมนตารี่ฟีดแบ็ค

เนื่องจากวงจรทางด้านอินพุตมีรีซิสเตอร์ RL ค่า 10 โอมห์ ต่อแยกกราวด์ไว้ ทำหน้าที่เป็นรีซิสเตอร์ไอโซเลตเพื่อแก้ปัญหาเรื่องกราวด์ลูพซึ่งจะทำให้เกิดเสียงฮัมและจะช่วยป้องกันปัญหาของการออสซิเลตอีกลำดับหนึ่ง ดังนั้นในการเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าเครื่องนั้นจะต้องต่อสายกราวด์สัญญาณมาที่อินพุตของกราวด์สัญญาณโดยตรงไม่ใช่ต่ออินพุตสัญญาณไปที่กราวด์ของภาคจ่ายไฟ ซึ่งหากต่อกราวด์สัญญาณไปเข้าที่กราวด์ที่ภาคจ่ายไฟจะทำให้รีซิสเตอร์ RL ไหม้ และลุกลามทำให้ให้วงจรส่วนอื่นๆ เสียหายตามไปด้วย ทั้งหมดนี้เป็นเพียงการทดสอบวงจรของเครื่องขยายออดิโอไฟล์ขนาด 20+20 วัตต์ ในเบื้องต้นเท่านั้น

3.5.2 การทดสอบโหลด

เมื่อเราทำการทดสอบวงจรของเครื่องขยาย และผลที่ได้คือสามารถทำงานได้ตามปกติไม่มีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบกับโหลดซึ่ง จะทำการจำลองการทำงานของเครื่องขยาย โดย ใช้ function generator เป็นตัวป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุตเพื่อกำหนดค่าความถี่ต่างๆ ที่จะใช้ในการทดสอบการทำงาน และที่โหลดเป็นการประยุกต์ใช้ตัวต้านมาต่อขนานกัน เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานและวัตต์สูงพอใกล้เคียงกับคุณสมบัติของโหลดจริงคือลำโพง ซึ่งการจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบสามารถดูในรูปที่ 3.7



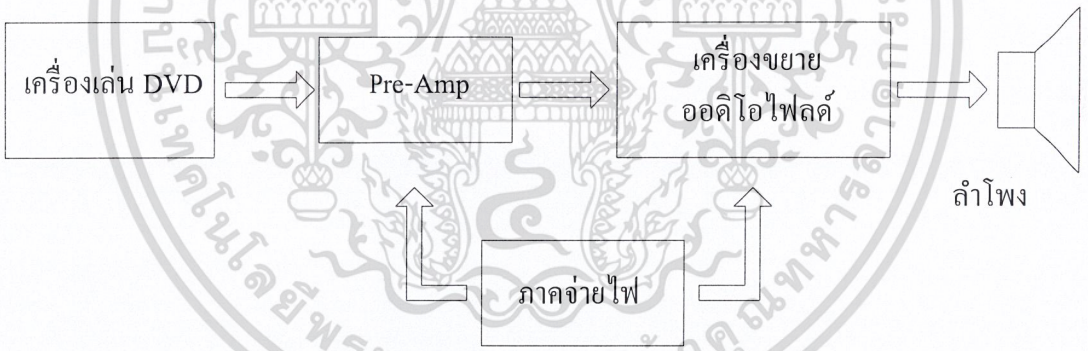
รูปที่ 3.7 การจัดอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดสอบโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dummy Load ที่ใช้ในการทดสอบ มีค่า 100 โอมห์ มีวัตต์สูง ทำการป้อนสัญญาณอินพุต จาก function generator ในค่าต่างๆ ในการวัดค่าสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตนั้นจะใช้ oscilloscope ทำการวัด โดยกำหนดการวัดสัญญาณทางด้านอินพุตที่ CH1 และวัดสัญญาณทางด้านเอาท์พุตเป็น CH2 ค่าอินพุตที่เราเราในการทดสอบจะอยู่ในช่วงความถี่ที่หูของคนเราสามารถตอบสนองได้ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 20Hz – 20kHz และในการทดสอบค่าความถี่ที่เรากำหนดจะปรับตามค่าอีควอไลเซอร์ของเครื่องเสียงในช่วงนั้น

3.5.3 การทดสอบกับชุดการทำงานของเครื่องขยาย

การทดสอบกับชุดการทำงานของเครื่องเสียงเป็นการทดสอบคุณภาพของเสียงที่ออกมาเมื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ คุณภาพของเสียงที่ขยายออกมามีความชัดเจนอย่างไร ซึ่งก็คือความผิดเพี้ยนในการขยายสัญญาณว่ามีมากน้อยเพียงใดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาณทางด้านอินพุตด้วยว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับใด ความรู้สึกที่ได้จากการฟังจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของเสียงที่ทำการขยายออกมานี้ ในการทดสอบนี้จะเป็นการทำงานร่วมกับภาคขยายเสียงเบื้องต้น (Pre-Amp) และจึงส่งต่อไปยังเครื่องขยายเสียงเพื่อขับออกลำโพงต่อไป รูปที่ 3.8 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบกับชุดการทำงานของเครื่องขยาย



รูปที่ 3.8 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการทำงานกับชุดเครื่องขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลังออดิโอไฟล์ ขนาด 20 วัตต์ จะแบ่งการทดสอบ 3 ตอน คือ การทดสอบวัดวงจรเบื้องต้น การทดสอบโหลด และการทดสอบกับชุดการทำงานเครื่องขยาย และผลการทดสอบจะมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การทดสอบวัดวงจรเบื้องต้น

4.1.1 การทดสอบวัดวงจรการทำงานจะมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดตำแหน่งลงบนวงจรต้นแบบ ดังรูปที่ 4.1
2) เปิดสวิตช์ไฟของเครื่องเพื่อจ่ายแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับวงจรต้นแบบ
3) วัดแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง A, B, C, D, E บันทึกผลลงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่ตำแหน่ง A, B, C, D, E ของวงจรต้นแบบ

ตำแหน่ง	สัญลักษณ์	แรงดัน (V)
A	V_{C4}	-33.18
B	V_{C11}	0.66
	V_{E11}	-34.42
C-B	V_{C8}	0.602
	V_{E8}	0.567
	V_{B8}	0.616
D-E	$V_{D-E(14,\ 15)}$	0.0097
Q_1	V_{C1}	0.829
Q_6	V_{C6}	33.33
Q_8	V_{CE8}	1.259
Q_{11}	V_{B11}	-33.83
Q_{12}	V_{C12}	0.599
Q_{15}	V_{C15}	-34.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการวัด

จากตารางที่ 4.1 จะวิเคราะห์ผลการคำนวณหาค่า กระแสสงบ ค่าความต้านทาน VR1 และอัตราการขยายกระแสได้ดังต่อไปนี้

ที่ภาคขยายกระแส

คำนวณหาค่าความต้านทาน VR1 ได้คือ

$$V_{B8} = \frac{R_{15} + VR1}{R_{14} + R_{15} + VR1} \cdot V_{CE8}$$

$$(R_{14} + R_{15} + VR1) \cdot \frac{V_{E8}}{V_{CE8}} = R_{15} + VR1$$

$$(570\Omega + VR1) \cdot \frac{0.616\,V}{1.259V} = 100\Omega + VR1$$

$$0.489(570\Omega + VR1) = 100\Omega + VR1$$

$$VR1 = \frac{178.73\Omega}{(1 - 0.489)}$$

$$VR1 = 350 \quad \Omega$$

ที่ภาคปรีไดรเว่อร์

คำนวณหาค่ากระแส I_{C11} ที่ไหลผ่าน Q_8 คือ

$$I_{C11} = \frac{V_{E11} + V^-}{R_{18}}$$

$$I_{C11} = \frac{-34.42\,V + 35\,V}{0.022\,k\Omega}$$

$$I_{C11} = 26.36 \quad mA$$

คำนวณหาค่ากระแสสงบ คือ

$$I_{out} = \frac{V_{D-E}}{R_{30} + R_{31}}$$

$$I_{out} = \frac{0.0097\,V}{0.44\Omega}$$

$$I_{out} = 0.022 \quad A$$

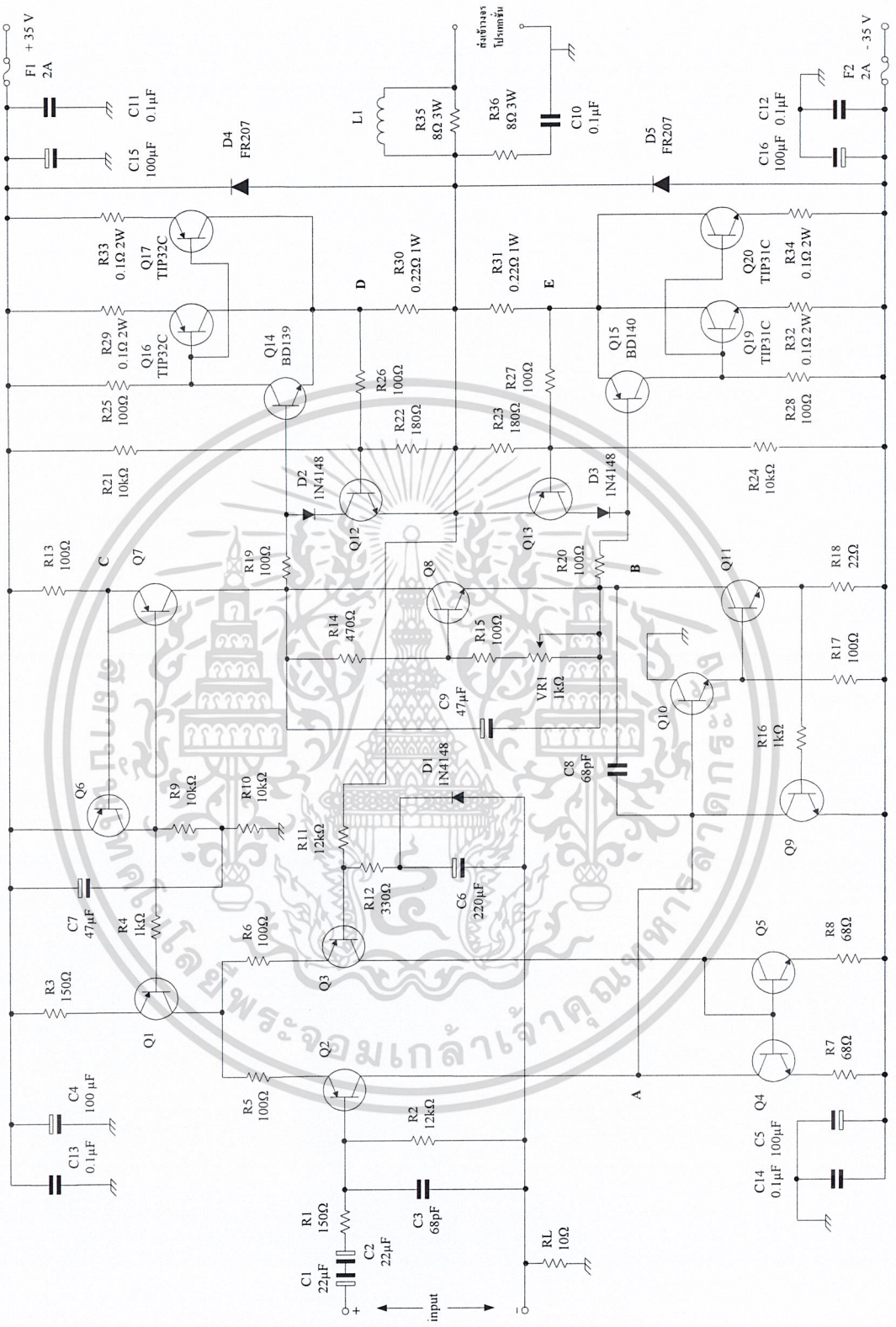
คำนวณหาค่าอัตราการขยายกระแสได้คือ

$$A_I = \frac{I_{out}}{I_{C11}}$$

$$A_I = \frac{22\,mA}{26.36\,mA}$$

$$A_I \cong 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งที่สำคัญในการวัดค่าเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

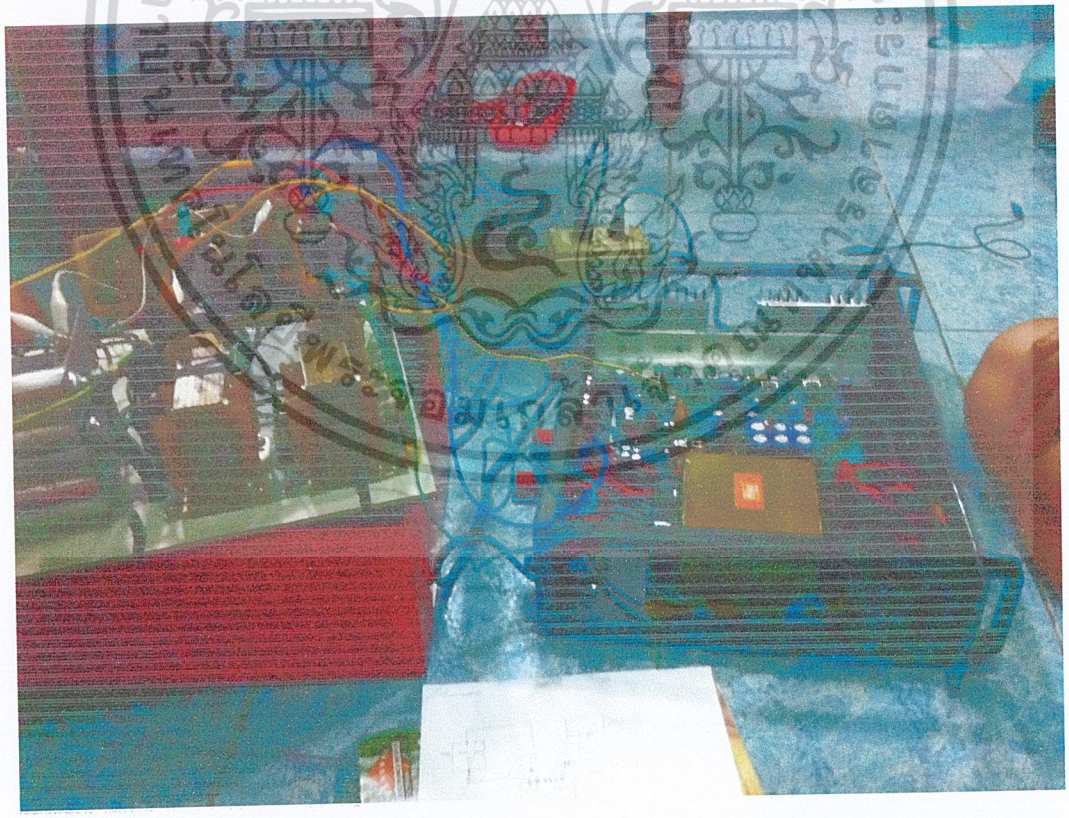
4.2 การทดสอบโหลด

อุปกรณ์ในการทดสอบ

1) Function Generator model 8102
2) Oscilloscope model Tektronix TDS 10022B
3) Dummy Load 100Ω/10W (Load Power Electronics)
4) Notebook

4.2.1 การทดสอบการทำงานจะมีขั้นตอนดังนี้

1) ต่ออุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.2
2) ทำการปรับค่ากระแสสงบให้ต่ำสุด
3) ปรับความถี่รูปคลื่นไซน์จาก Function Generator ให้มีความถี่คงที่เท่ากับ 1 kHz
4) ปรับขนาดแรงดันด้านเข้าและสังเกตผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออกโดยวัดด้วย Oscilloscope CH1 และ CH2 ตามลำดับ บันทึกผลขนาดแรงดันที่วัดลงในตารางที่ 4.2 และขนาดรูปสัญญาณ ดังรูปที่ 4.3
5) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 4) แต่ปรับแรงดันด้านเข้าจนสังเกตผลการขยายสัญญาณด้านออกถูกบิดเบือนจากการวัด ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ปรับแรงดันด้านเข้าคงที่ 1.7 V_{P-P} จากนั้นปรับความถี่ 10 Hz สังเกตผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออกโดยวัดด้วย Oscilloscope CH1 และ CH2 ตามลำดับ บันทึกผลขนาดแรงดันที่วัดลงในตารางที่ 4.3 และขนาดรูปสัญญาณดังรูปที่ 4.5

7) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 6) แต่ปรับเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 10 Hz จนถึงค่ามากกว่า 20 kHz บันทึกผลขนาดแรงดันที่วัดลงในตารางที่ 4.3 และขนาดรูปสัญญาณดังรูปที่ 4.6-4.15

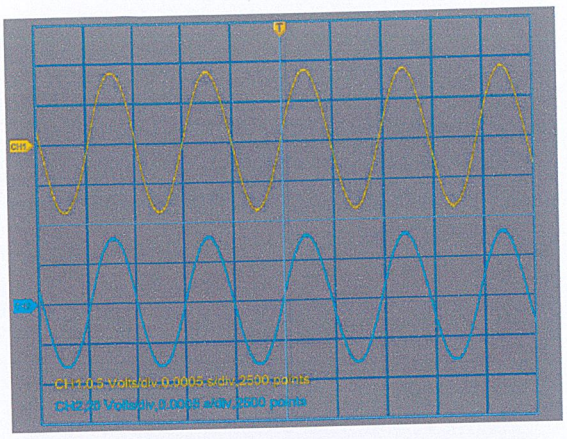
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับขนาดแรงดันด้านเข้า

ความถี่	แรงดันด้านเข้า	แรงดันด้านออก
1 kHz	1.70 V_{P-P}	62.4 V_{P-P}
1 kHz	1.80 V_{P-P}	64.8 V_{P-P}
1 kHz	1.88 V_{P-P}	64.8 V_{P-P}
1 kHz	2.00 V_{P-P}	

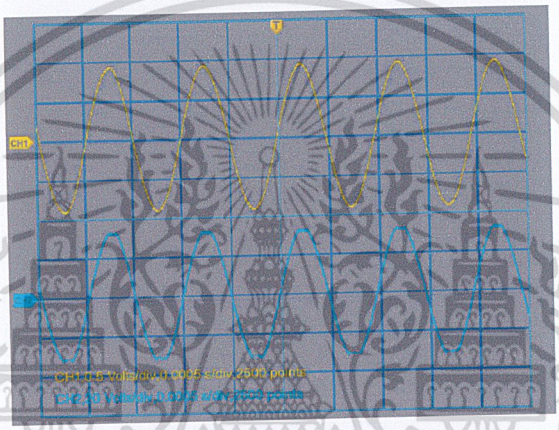
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่

ความถี่	แรงดันด้านเข้า	แรงดันด้านออก
10 Hz	1.70 V_{P-P}	62.0 V_{P-P}
20 Hz	1.70 V_{P-P}	62.6 V_{P-P}
60 Hz	1.70 V_{P-P}	62.8 V_{P-P}
310 Hz	1.70 V_{P-P}	62.8 V_{P-P}
600 Hz	1.70 V_{P-P}	62.8 V_{P-P}
1 kHz	1.70 V_{P-P}	62.8 V_{P-P}
2 kHz	1.70 V_{P-P}	62.8 V_{P-P}
4 kHz	1.76 V_{P-P}	62.4 V_{P-P}
6 kHz	1.76 V_{P-P}	62.4 V_{P-P}
12 kHz	1.76 V_{P-P}	62.4 V_{P-P}
14 kHz	1.76 V_{P-P}	62.4 V_{P-P}
18 kHz	1.76 V_{P-P}	62.6 V_{P-P}
20 kHz	1.76 V_{P-P}	62.6 V_{P-P}
>20 kHz	1.70 V_{P-P}	-

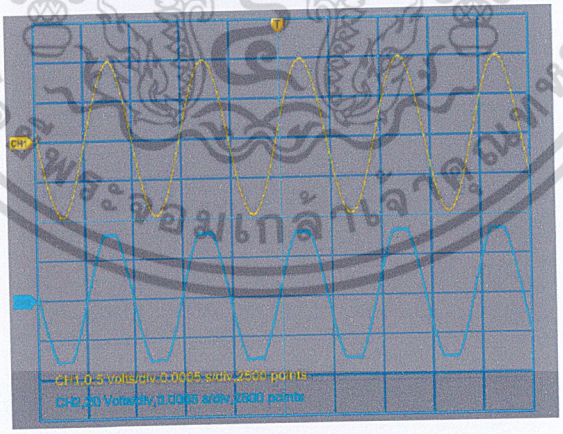
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณด้านเข้าและสัญญาณด้านออกที่อยู่ในระดับปกติ 1kHz, $V_{in} = 1.8 V_{P-P}$



1kHz, $V_{in} = 1.8 V_{P-P}$

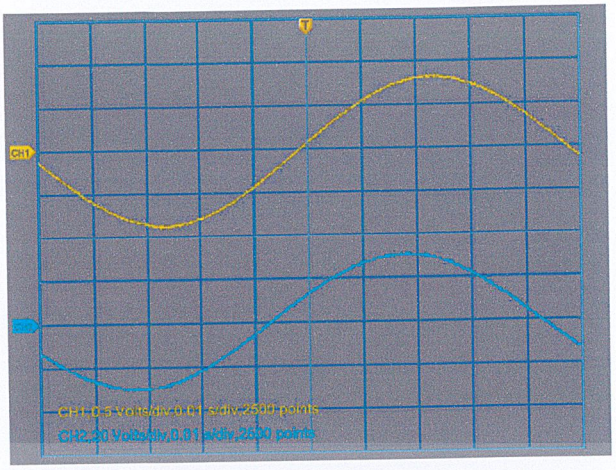


1kHz, $V_{in} = 2.0 V_{P-P}$

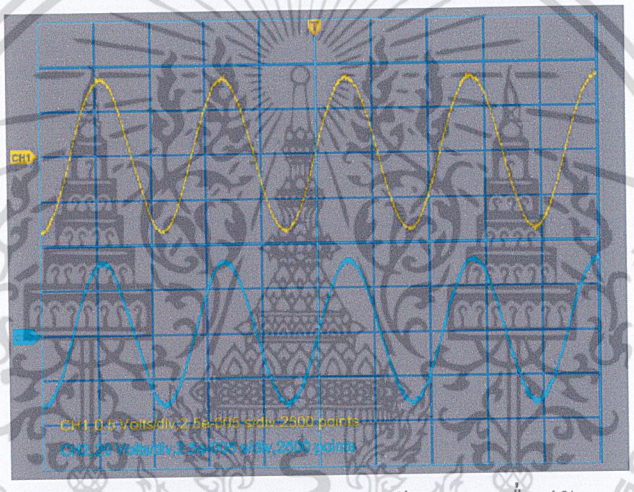
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณด้านเข้าและสัญญาณด้านออกถูกขลิบ

ที่อยู่ในระดับ 1kHz, $V_{in} = 1.8 - 2 V_{P-P}$

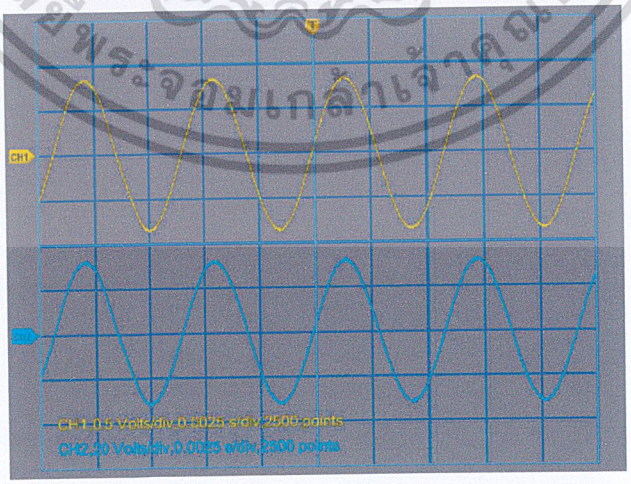
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก
เมื่อปรับความถี่ 10 Hz

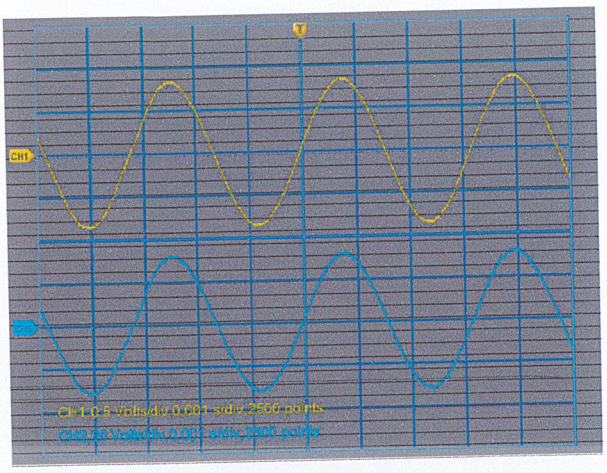


รูปที่ 4.6 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 18 Hz

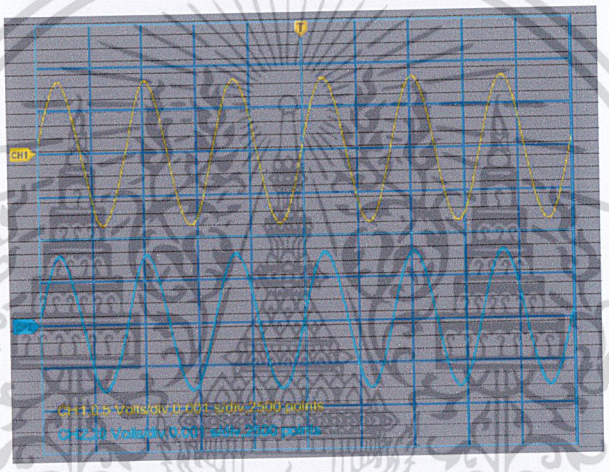


รูปที่ 4.7 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 170Hz

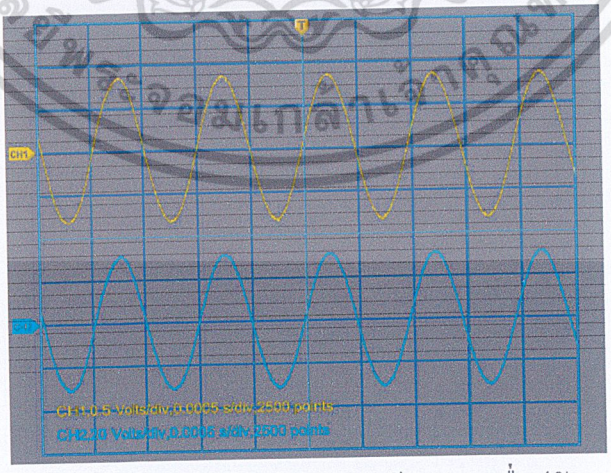
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 312Hz

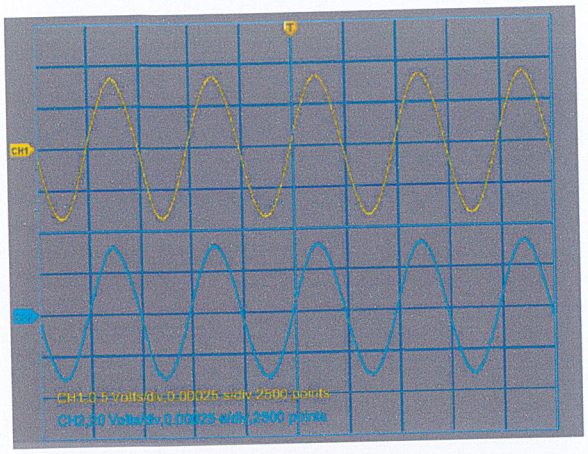


รูปที่ 4.9 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 600Hz

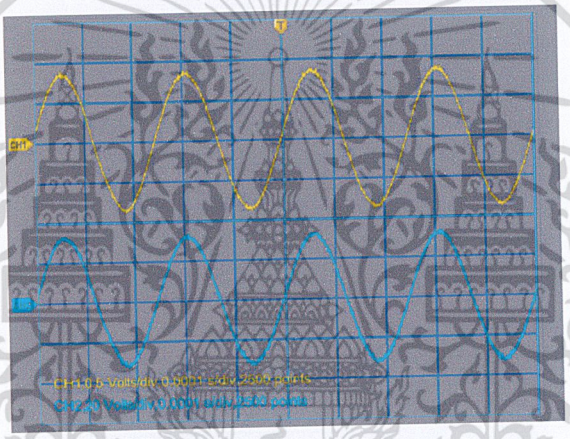


รูปที่ 4.10 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 1 kHz

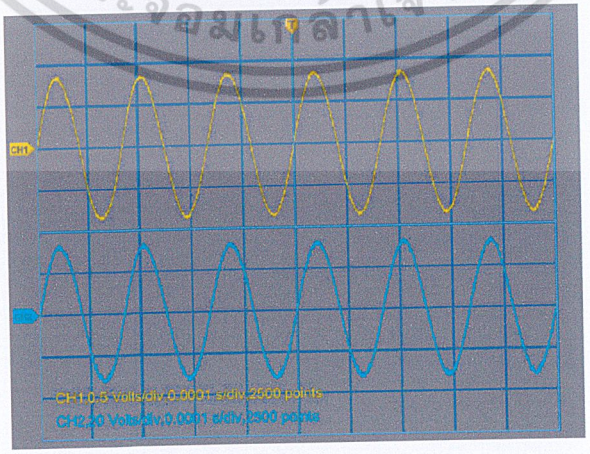
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 2 kHz

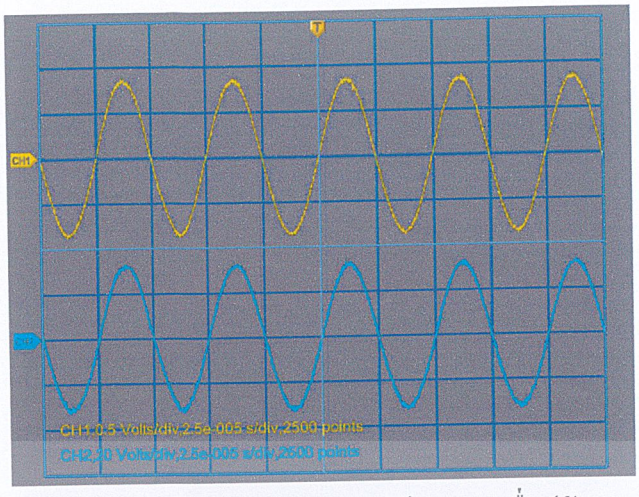


รูปที่ 4.12 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 4 kHz

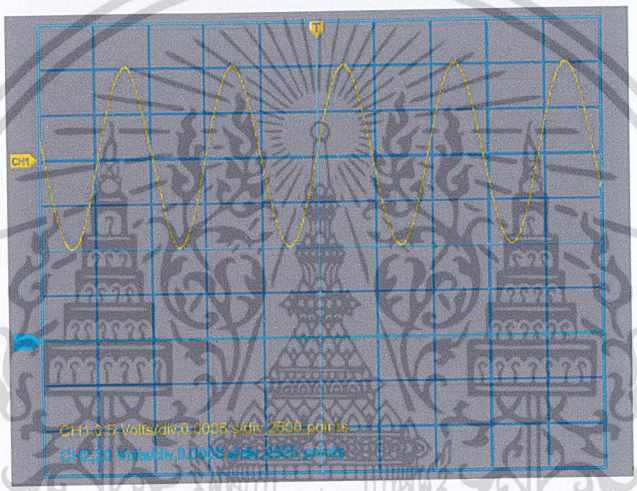


รูปที่ 4.13 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 6 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่ 20 kHz



รูปที่ 4.15 แสดงผลการขยายสัญญาณแรงดันด้านออก เมื่อปรับความถี่มากกว่า 20 kHz

4.2.2 การวิเคราะห์หากำลังของวงจรต้นแบบเครื่องขยายออดิโอไฟล์

สำหรับการวิเคราะห์หากำลังของวงจรต้นแบบเครื่องขยายออดิโอไฟล์ จากตาราง ที่ 4.3 จะคำนวณหาค่ากำลังของวงจรต้นแบบได้ดังนี้

ที่ 1 kHz ค่าแรงดันด้านออกเท่ากับ 62.8 V_{P-P} และค่าความต้านทานของ Dummy Load 33 Ω คำนวณหาค่า V_P ได้คือ

$$V_P = \frac{V_{P-P}}{2}$$

$$V_P = \frac{62.8\,V}{2} = 31.4\ V$$

คำนวณหาแรงดันด้านออกในหน่วย V_{RMS} ได้คือ

$$V_{RMS} = 0.707 V_P$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาแรงดันด้านออกในหน่วย V_{RMS} ได้คือ

$$V_{RMS} = 0.707V_P$$
$$V_{RMS} = 0.707(31.4V) = 22.2 \ V$$

คำนวณหาค่ากำลังของวงจรต้นแบบ ได้คือ

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$
$$P = \frac{(22.2V)^2}{33\Omega} = 15 \ W$$

4.3 การทดสอบกับชุดการทำงานเครื่องขยาย

อุปกรณ์ในการทดสอบ

1) Pre-Amp
2) เครื่องเล่น DVD
3) เครื่องขยายออดิโอไฟล์
4) ลำโพง
5) แผ่นเสียง DVD และ MP3
6) Notebook
7) Oscilloscope model Tektronix TDS 10022B

ขั้นตอนการทดสอบ

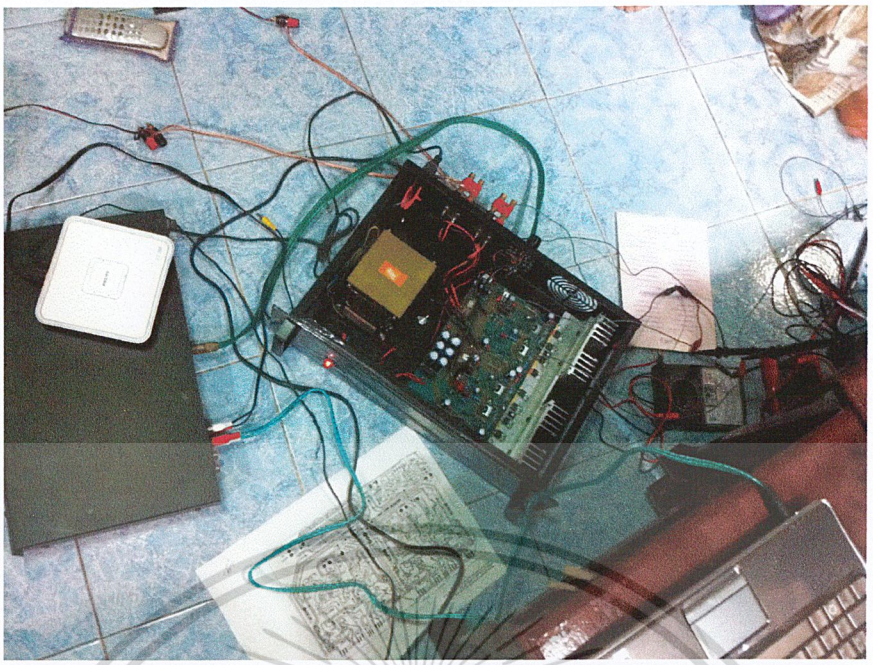
1) จัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบดังรูปที่ 4.16

2) เปิดสวิตช์ Pre-Amp เครื่องขยายออดิโอไฟล์ เครื่องเล่น DVD และใส่แผ่นเสียง DVD ลงในเครื่องเล่นกดปุ่ม Play และใช้ Oscilloscope วัดการทำงาน บันทึกผลการวัดดังรูปที่ 4.17

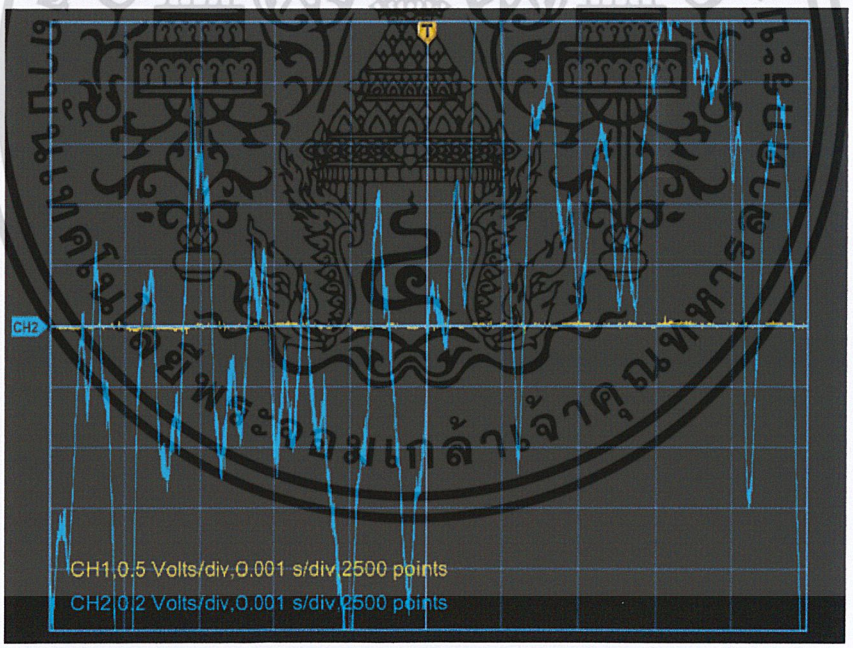
3) จัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบดังรูปที่ 4.18

4) เปิดสวิตช์ Pre-Amp เครื่องขยายออดิโอไฟล์ และเปิด Notebook และใส่ MP3 ลงใน Notebook ทำการเปิดเครื่องเล่น MP3 และใช้ Oscilloscope วัดผลการทำงานและทำการบันทึกผลการวัด ดังรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 จัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วยเครื่องเล่น DVD

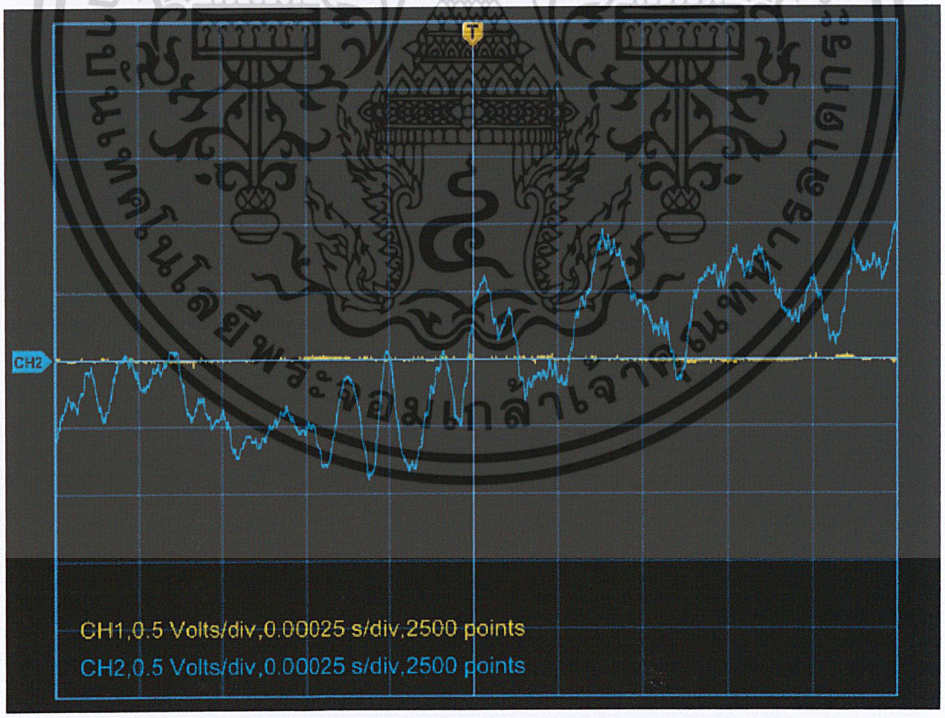


รูปที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วยเครื่องเล่น DVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วย Notebook และ MP3



รูปที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบเครื่องขยายกำลังด้วย Notebook และ MP3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลองจากวัดและวิเคราะห์

การวิเคราะห์เครื่องขยายกำลังต้นแบบออดิโอไฟล์ขนาด 20 วัตต์ ประกอบด้วยวงจร 3 ส่วนด้วยกัน คือ ภาคอินพุต ภาคขยายแรงดันไฟ และภาคเอาท์พุต ซึ่งทำงานร่วมกับวงจรป้องกันลำโพง และภาคจ่ายไฟ การออกแบบลายวงจรจะเน้นไปที่การแก้ปัญหาที่เกิดจากกราวด์สัญญาณ วงจรส่วนต่างถูกออกแบบให้อยู่ในแผ่นปริ้นซ์เดียวกัน การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ การทดสอบวงจรเบื้องต้น การทดสอบโหลด และการทดสอบกับชุดการทำงานของเครื่องขยาย

การวิเคราะห์วงจรต้นแบบคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร $A_V = 37$ เท่า ที่ภาคขยายกระแส เมื่อกำหนด $VR1 \approx 500\,\Omega$ ค่าแรงดันตกคร่อม $V_{CE8} = 1.07$ V ที่ภาคไดรเว่อร์ ค่าแรงดันตกคร่อม $V_{C11} = 0.535$ V และค่ากระแส $I_{C11} = 25.91$ mA ที่ภาคขยายดิฟเฟอเรนเชียล $I_{CQ4} = 4$ mA , $V_{E4} = -34.73$ V เมื่อปรับกระแสสงบให้มีค่าแรงดันตกคร่อม $V_{out} = 10$ mV จะได้ค่ากระแสสงบ $I_{out} = 22.72$ mA และหาค่าอัตราขยายกระแส $A_I \cong 1$ จากผลการทดสอบวัดวงจรเบื้องต้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1 นำมาวิเคราะห์ผลการคำนวณจะได้ $VR1 = 350\,\Omega$, $I_{C11} = 26.36$ mA , $I_{out} = 0.022$ A และค่าอัตราการขยายกระแส $A_I \cong 1$

การทดสอบโหลดโดยใช้ Function generator ป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุตที่ค่าความถี่ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.2 ที่ 1 kHz สัญญาณด้านเข้าและด้านออกที่อยู่ในระดับปกติคือ $V_{in} = 1.8\,V_{P-P}$ สัญญาณด้านเข้าและสัญญาณด้านออกถูกขลิบจะอยู่ในระดับที่ $V_{in} = 1.8 - 2.0\,V_{P-P}$ รูปที่ 4.5 – 4.15 แสดงผลการขยายสัญญาณที่ค่าความถี่ต่าง ๆ

การทดสอบกับชุดการทำงานของเครื่องขยาย รับสัญญาณด้านอินพุตจากเครื่องเล่น DVD , Notebook MP3 ผ่านปรีแอมป์เข้าเครื่องขยาย และต่อออกลำโพง เสียงที่ได้จากการทดลองฟังมีความนิ่ง ชัดเจน ไม่ผิดเพี้ยนแต่อย่างใด ซึ่งรูปสัญญาณแส่งอยู่ในรูปที่ 4.18 และ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์วงจรต้นแบบเครื่องขยายกำลัง ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบวัดวงจรเบื้องต้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ไม่สามารถกำหนดได้แม่นยำตามหลักทางทฤษฎีการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องขยายที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในระดับที่ดีเมื่อดูจากผลการวิเคราะห์วงจรเบื้องต้น

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบลายวงจรของเครื่องขยายที่ใช้ในการทดสอบต้องอาศัยความชำนาญเป็นอย่างมาก ในการออกแบบควรปรึกษาผู้ที่มีความชำนาญซึ่งจะช่วยทำให้มีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น ใช้เวลาในการออกแบบน้อยลง และมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องขยายอยู่ในระดับที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติพจน์ โตสินธุ์. 2549. เครื่องขยายออดิโอไฟล์ พิมพ์ครั้งที่ 1 ปทุมธานี : สถาบันอิเลคทรอนิกส์ กรุงเทพรังสิต

[2] นภัทร วัจนเทพินทร์ 2545 เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพ : บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด

[3] เจน สงสมพันธุ์ 2552 เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ พิมพ์ครั้งที่ 3 ปทุมธานี : สถาบันอิเลคทรอนิกส์ กรุงเทพรังสิต

[4] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง 2552 เซียนเครื่องเสียง พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพ : Smart Learning ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ทเลิร์นนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน 0.25 วัตต์ 1 %

10 Ω	2 ตัว	RL x 2
22 Ω	2 ตัว	R 18 , R54
68 Ω	4 ตัว	R7 , R8 , R43 , R44
100 Ω	18 ตัว	R5 , R6 , R13 , R15 , R17 ,R19 , R20 , R25 , R28 , R41 , R42 , R49 , R51 , R53 , R55 , R56 , R61 , R64
150 Ω	4 ตัว	R1 , R3 , R37 , R39
180 Ω	8 ตัว	R22 , R23 , R26 , R27 , R58 , R59 , R62 , R63
330 Ω	2 ตัว	R12 , R48
470 Ω	2 ตัว	R14 , R50
1k Ω	4 ตัว	R4 , R16 , R40 , R52
10kΩ	8 ตัว	R9 , R10 , R21 , R24 , R45 , R46 , R57 , R60
12kΩ	4 ตัว	R2 , R11 , R38 , R7
0.1 Ω / 0.5 W	2 ตัว	R29 , R32 , R33 , R34 , R65 , R68 , R69 , R70
0.22 Ω / 1 W	4 ตัว	R30 , R31 , R66 , R67
8 Ω / 1 W	4 ตัว	R35 , R36 , R71 , R72

โพเทนชิโอมิเตอร์เกือกม้าตัวนอน 1kΩ 2 ตัว VR1 , VR2

ตัวเก็บประจุ

68 pF	4 ตัว	C3 , C8 , C15 , C20	เซรามิก
0.1 µF / 100 V	6 ตัว	C10 ,C11 ,C12,C22 ,C23 ,C24	ไมล่าร์หรือโพลีเอสเตอร์
22 µF / 25 V	4 ตัว	C1 , C2 , C13 , C14	อิเล็กทรอไลติก
47 µF / 25 V	4 ตัว	C7 , C9 , C19 , C21	อิเล็กทรอไลติก
100 µF / 50 V	4 ตัว	C4 , C5 , C16 , C17	อิเล็กทรอไลติก
220 µF / 50 V	2 ตัว	C6 , C18	อิเล็กทรอไลติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

1N4148	6 ตัว	D1 - D6	ซิกแนลไดโอด
BC546	12 ตัว	Q4 , Q5 , Q7 , Q10 , Q11 , Q12 , Q23 , Q24 , Q26 , Q29 , Q30 , Q31	ทรานซิสเตอร์
BC556	12 ตัว	Q1 – Q3 , Q6 , Q8 , Q13 , Q20 – Q22 , Q25 , Q27 , Q32	ทรานซิสเตอร์
BD139	4 ตัว	Q9 , Q14 , Q28 , Q33	ทรานซิสเตอร์
BD140	2 ตัว	Q15 , Q34	ทรานซิสเตอร์
TIP32	4 ตัว	Q16 , Q18 , Q35 , Q37	ทรานซิสเตอร์
TIP31	4 ตัว	Q17 , Q19 , Q36 , Q40	ทรานซิสเตอร์
FR207	4 ตัว	D4 , D5	ไดโอด

อุปกรณ์อื่นๆ

ตัวยึดฟิวส์พร้อมฟิวส์ 3 แอมป์ 4 ชุด

ขดลวดเบอร์ 18 พันรอบปากกา 12 รอบ 2 ตัว L1 , L2

ฮีตซิงค์เล็ก แบบร่องตัวยู ขนาด 1 นิ้ว 4 ชิ้น

ฮีตซิงค์ใหญ่ แบบตัวแอล ครีบ 5 ครีบ ยึดเอาต์พุต ความยาว 25 ซม. 1 ชิ้น

ตัวต้านทาน 0.25 วัตต์ 1 %

1 kΩ	1 ตัว	R31
4.7 kΩ	1ตัว	R78
10 kΩ	2 ตัว	R73 , R74
56 kΩ	1 ตัว	R76
150 kΩ	2 ตัว	R75
330 kΩ	1 ตัว	R79 , R80
150 Ω / 1 W	1 ตัว	R32
220 Ω / 3 W	1 ตัว	R77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ

1 µF / 25 V	2 ตัว	C30 , C31	อิเล็กทรอไลติก
330 µF / 25 V	3 ตัว	C25 , C26 , C29	อิเล็กทรอไลติก
220 µF / 50 V	2 ตัว	C27 , C2	อิเล็กทรอไลติก
2200 µF / 50 V	6 ตัว	C32 - C37	อิเล็กทรอไลติก

สารกึ่งตัวนำ

1N4148	5 ตัว	D7 – D10 , D13	ไดโอด
1N4004	3 ตัว	D11 , D12 , D14	ไดโอด
ZD24V/1W	1 ตัว	ZD1	ซีเนอร์ไดโอด
2N5551	4 ตัว	Q39 , Q40 , Q42 , Q43	ทรานซิสเตอร์
BD139	1 ตัว	Q41	ทรานซิสเตอร์
BU808G	1 ตัว	BD1	ไดโอดบริดจ์

อุปกรณ์อื่น ๆ

รีเลย์ 24 V / 5 A	8 ขา	
สายไฟ		
กระบอกฟิวส์พร้อมฟิวส์ 5 แอมป์	1	ชุด
ทรานส์ฟอร์เมอร์ 24 – 0 – 24 โวลต์ / 3 แอมป์	1	ชุด
แท็ปลำโพง แบบสเตอริโอ ลงพริ้นต์	1	ชุด
คอนเน็กเตอร์หรือตาไก่ 1.5 มม.	4	ตัว
เทอร์มินอล 3 ขา	1	อัน
เทอร์มินอล 2 ขา	1	อัน

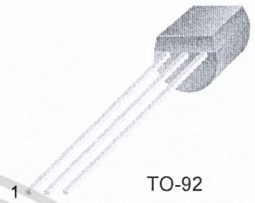
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, V_{CEO}=65V
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



TO-92

1. Collector 2. Base 3. Emitter

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_a=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter		Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: BC546	80	V
		: BC547/550	50	V
		: BC548/549	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: BC546	65	V
		: BC547/550	45	V
		: BC548/549	30	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	: BC546/547	6	V
		: BC548/549/550	5	V
I_C	Collector Current (DC)		100	mA
P_C	Collector Power Dissipation		500	mW
T_J	Junction Temperature		150	°C
T_{STG}	Storage Temperature		-65 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_a=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter		Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current		V_{CB}=30V, I_E=0			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain		V_{CE}=5V, I_C=2mA	110		800	
V_{CE} (sat)	Collector-Emitter Saturation Voltage		I_C=10mA, I_B=0.5mA		90	250	mV
			I_C=100mA, I_B=5mA		200	600	mV
V_{BE} (sat)	Base-Emitter Saturation Voltage		I_C=10mA, I_B=0.5mA		700		mV
			I_C=100mA, I_B=5mA		900		mV
V_{BE} (on)	Base-Emitter On Voltage		V_{CE}=5V, I_C=2mA	580	660	700	mV
			V_{CE}=5V, I_C=10mA			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product		V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance		V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance		V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz		9		pF
NF	Noise Figure	: BC546/547/548	V_{CE}=5V, I_C=200μA		2	10	dB
		: BC549/550	f=1KHz, R_G=2KΩ		1.2	4	dB
		: BC549	V_{CE}=5V, I_C=200μA		1.4	4	dB
		: BC550	R_G=2KΩ, f=30~15000MHz		1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Rev. A2, August 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

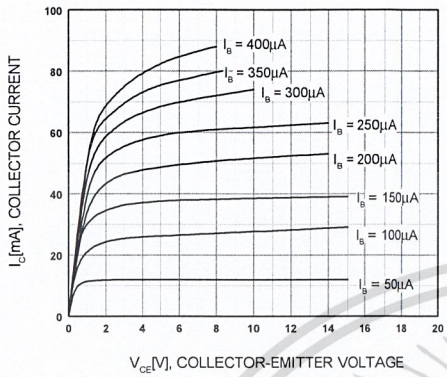


Figure 1. Static Characteristic

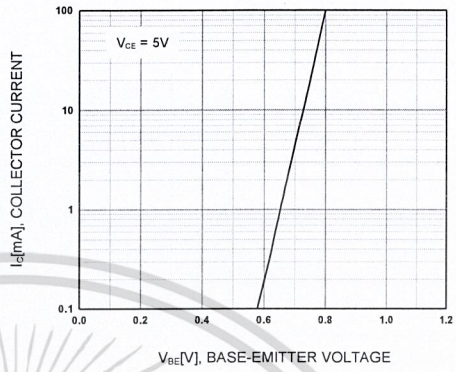


Figure 2. Transfer Characteristic

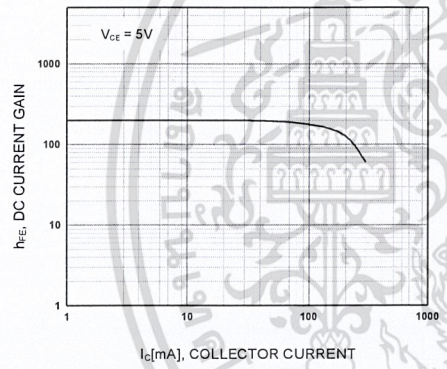


Figure 3. DC current Gain

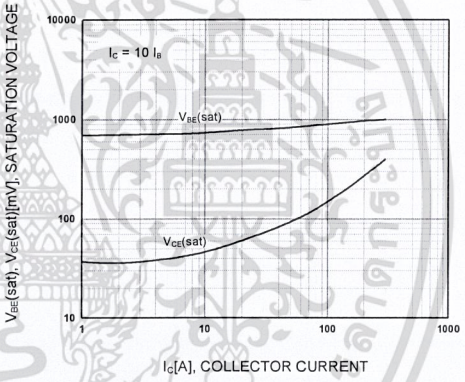


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage Collector-Emitter Saturation Voltage

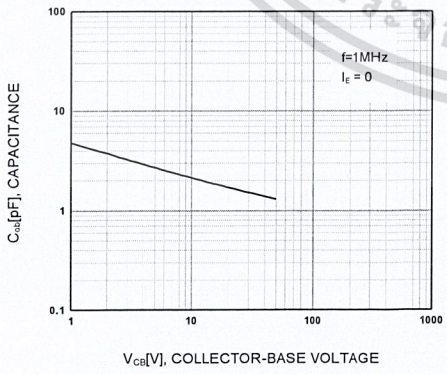


Figure 5. Output Capacitance

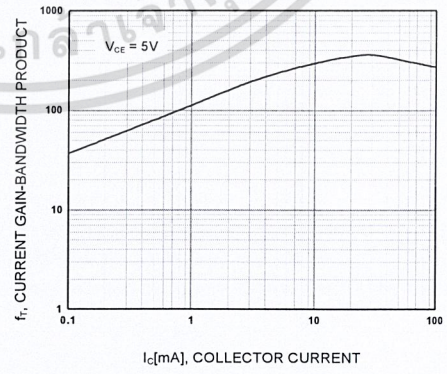


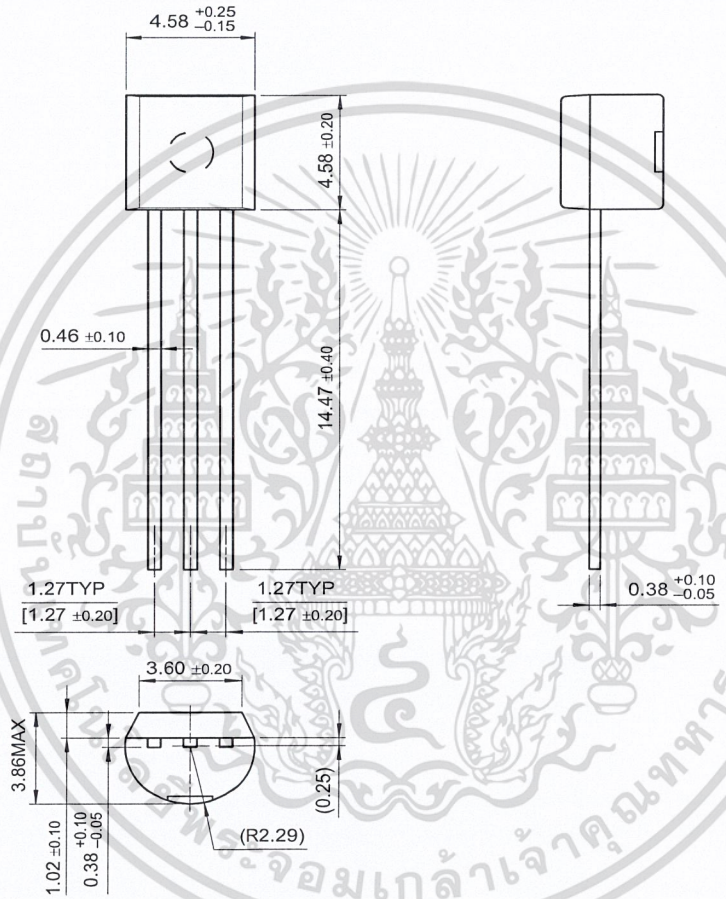
Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FACT™	ImpliedDisconnect™	PACMAN™	SPM™
ActiveArray™	FACT Quiet series™	ISOPLANAR™	POP™	Stealth™
Bottomless™	FAST®	LittleFET™	Power247™	SuperSOT™-3
CoolFET™	FASTr™	MicroFET™	PowerTrench®	SuperSOT™-6
CROSSVOLT™	FRFET™	MicroPak™	QFET™	SuperSOT™-8
DOME™	GlobalOptoisolator™	MICROWIRE™	QS™	SyncFET™
EcoSPARK™	GTO™	MSX™	QT Optoelectronics™	TinyLogic™
E^2CMOS™	HiSeC™	MSXPro™	Quiet Series™	TruTranslation™
EnSigna™	I^2C™	OCX™	RapidConfigure™	UHC™
Across the board. Around the world.™		OCXPro™	RapidConnect™	UltraFET®
The Power Franchise™		OPTOLOGIC®	SILENT SWITCHER®	VCX™
Programmable Active Droop™		OPTOPLANAR™	SMART START™	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

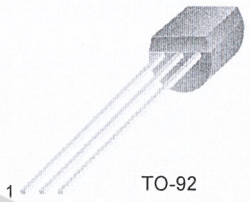
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

BC556/557/558/559/560

Switching and Amplifier

- High Voltage: BC556, V_{CEO}= -65V
- Low Noise: BC559, BC560
- Complement to BC546 ... BC 550



1

TO-92

1. Collector 2. Base 3. Emitter

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_a=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage		
	: BC556	-80	V
	: BC557/560	-50	V
	: BC558/559	-30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC556	-65	V
	: BC557/560	-45	V
	: BC558/559	-30	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_a=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	V_{CB}= -30V, I_E=0			-15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	V_{CE}= -5V, I_C=2mA	110		800	
V_{CE} (sat)	Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C= -10mA, I_B= -0.5mA		-90	-300	mV
		I_C= -100mA, I_B= -5mA		-250	-650	mV
V_{BE} (sat)	Collector-Base Saturation Voltage	I_C= -10mA, I_B= -0.5mA		-700		mV
		I_C= -100mA, I_B= -5mA		-900		mV
V_{BE} (on)	Base-Emitter On Voltage	V_{CE}= -5V, I_C= -2mA	-600	-660	-750	mV
		V_{CE}= -5V, I_C= -10mA			-800	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE}= -5V, I_C= -10mA, f=10MHz		150		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	V_{CB}= -10V, I_E=0, f=1MHz			6	pF
NF	Noise Figure : BC556/557/558	V_{CE}= -5V, I_C= -200μA		2	10	dB
	: BC559/560	f=1KHz, R_G=2KΩ		1	4	dB
	: BC559	V_{CE}= -5V, I_C= -200μA		1.2	4	dB
	: BC560	R_G=2KΩ, f=30~15000MHz		1.2	2	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Rev. A2, August 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

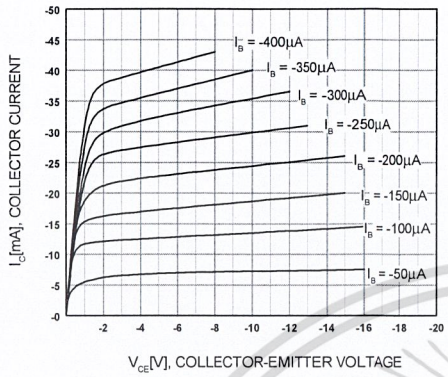


Figure 1. Static Characteristic

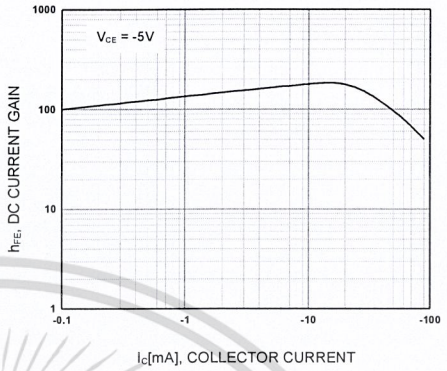


Figure 2. DC current Gain

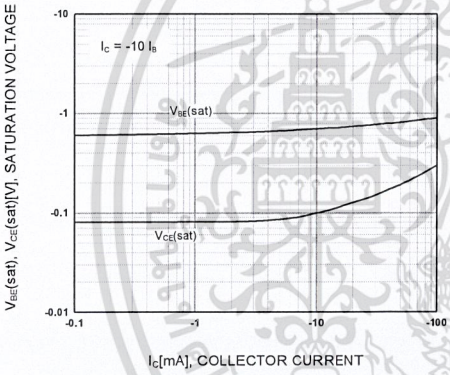


Figure 3. Base-Emitter Saturation Voltage Collector-Emitter Saturation Voltage

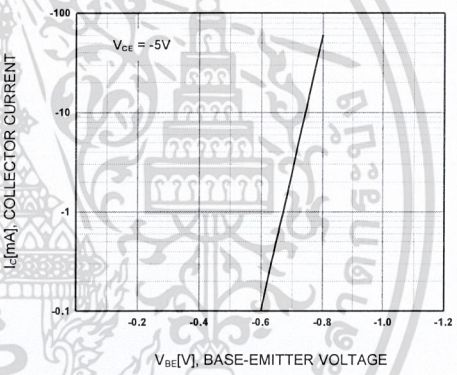


Figure 4. Base-Emitter On Voltage

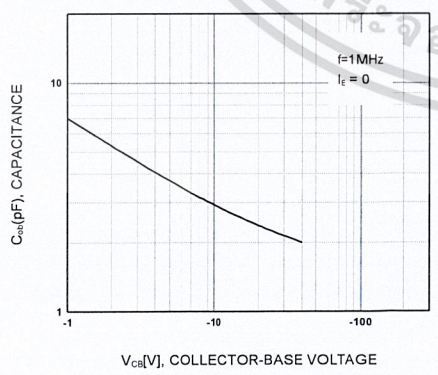


Figure 5. Collector Output Capacitance

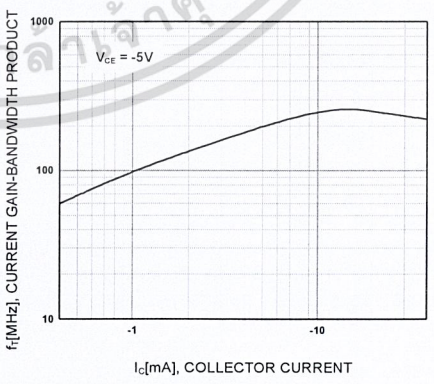


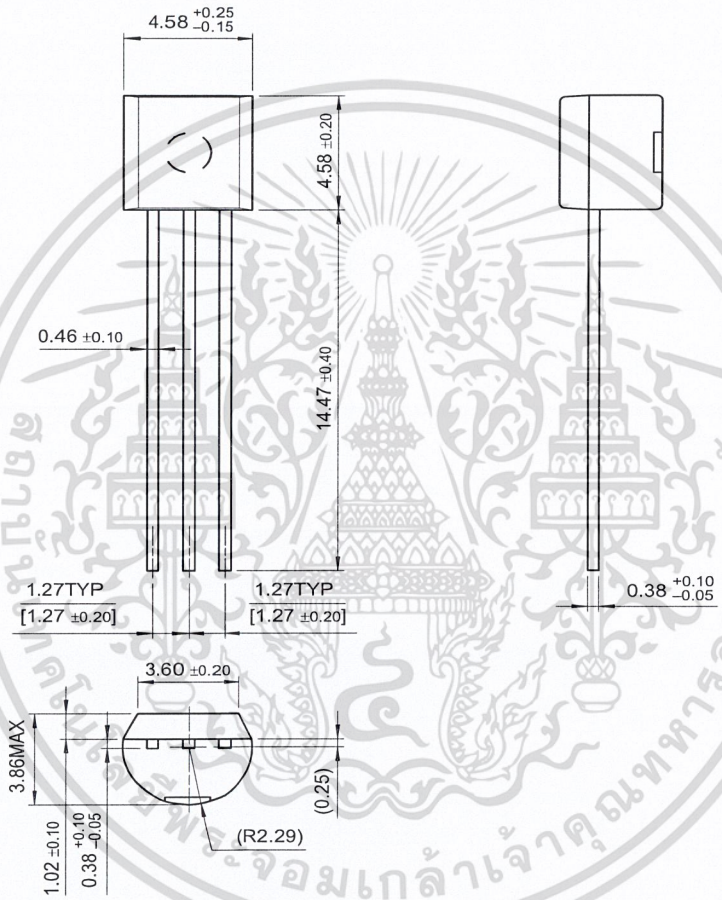
Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FACT™	ImpliedDisconnect™	PACMAN™	SPM™
ActiveArray™	FACT Quiet series™	ISOPLANAR™	POP™	Stealth™
Bottomless™	FAST®	LittleFET™	Power247™	SuperSOT™-3
CoolFET™	FASTr™	MicroFET™	PowerTrench®	SuperSOT™-6
CROSSVOLT™	FRFET™	MicroPak™	QFET™	SuperSOT™-8
DOME™	GlobalOptoisolator™	MICROWIRE™	QS™	SyncFET™
EcoSPARK™	GTO™	MSX™	QT Optoelectronics™	TinyLogic™
E^2CMOS™	HiSeC™	MSXPro™	Quiet Series™	TruTranslation™
EnSigna™	I^2C™	OCX™	RapidConfigure™	UHC™
Across the board. Around the world.™		OCXPro™	RapidConnect™	UltraFET®
The Power Franchise™		OPTOLOGIC®	SILENT SWITCHER®	VCX™
Programmable Active Droop™		OPTOPLANAR™	SMART START™	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

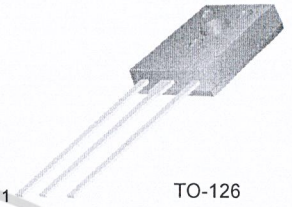
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR TM

BD135/137/139

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD136, BD138 and BD140 respectively



1

TO-126

1. Emitter 2.Collector 3.Base

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter		Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: BD135	45	V
		: BD137	60	V
		: BD139	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: BD135	45	V
		: BD137	60	V
		: BD139	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage		5	V
I_C	Collector Current (DC)		1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)		3.0	A
I_B	Base Current		0.5	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)		12.5	W
P_C	Collector Dissipation (T_a=25°C)		1.25	W
T_J	Junction Temperature		150	°C
T_{STG}	Storage Temperature		- 55 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	Collector-Emitter Sustaining Voltage					
	: BD135	I_C = 30mA, I_B = 0	45			V
	: BD137		60			V
	: BD139		80			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	V_{CB} = 30V, I_E = 0			0.1	µA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = 5V, I_C = 0			10	µA
h_{FE1}	DC Current Gain : ALL DEVICE	V_{CE} = 2V, I_C = 5mA	25			
h_{FE2}	: ALL DEVICE	V_{CE} = 2V, I_C = 0.5A	25			
h_{FE3}	: BD135	V_{CE} = 2V, I_C = 150mA	40		250	
	: BD137, BD139		40		160	
V_{CE}(sat)	Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = 500mA, I_B = 50mA			0.5	V
V_{BE}(on)	Base-Emitter ON Voltage	V_{CE} = 2V, I_C = 0.5A			1	V

h_{FE} Classification

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

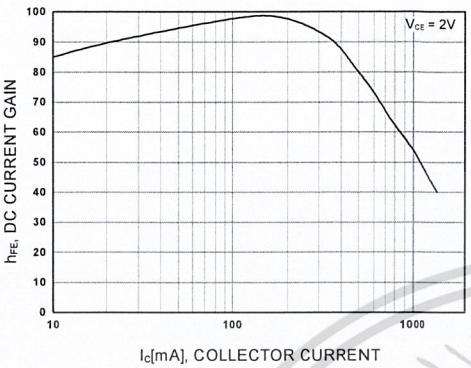


Figure 1. DC current Gain

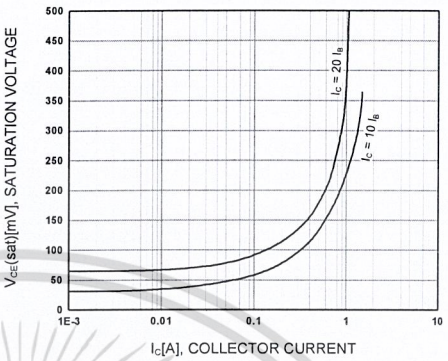


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

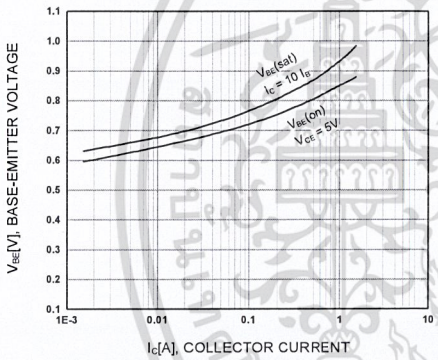


Figure 3. Base-Emitter Voltage

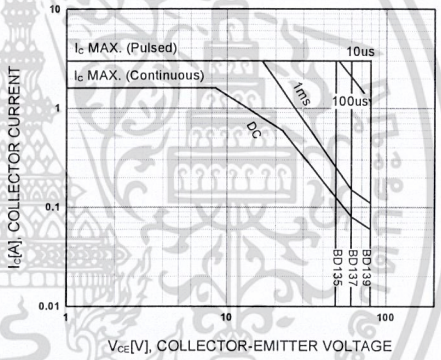


Figure 4. Safe Operating Area

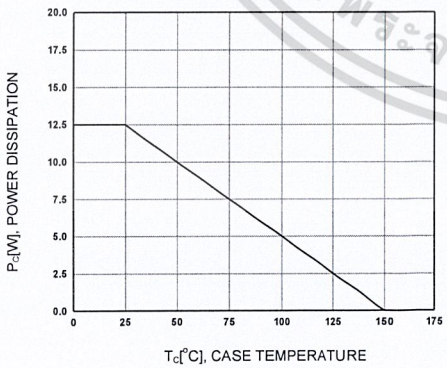


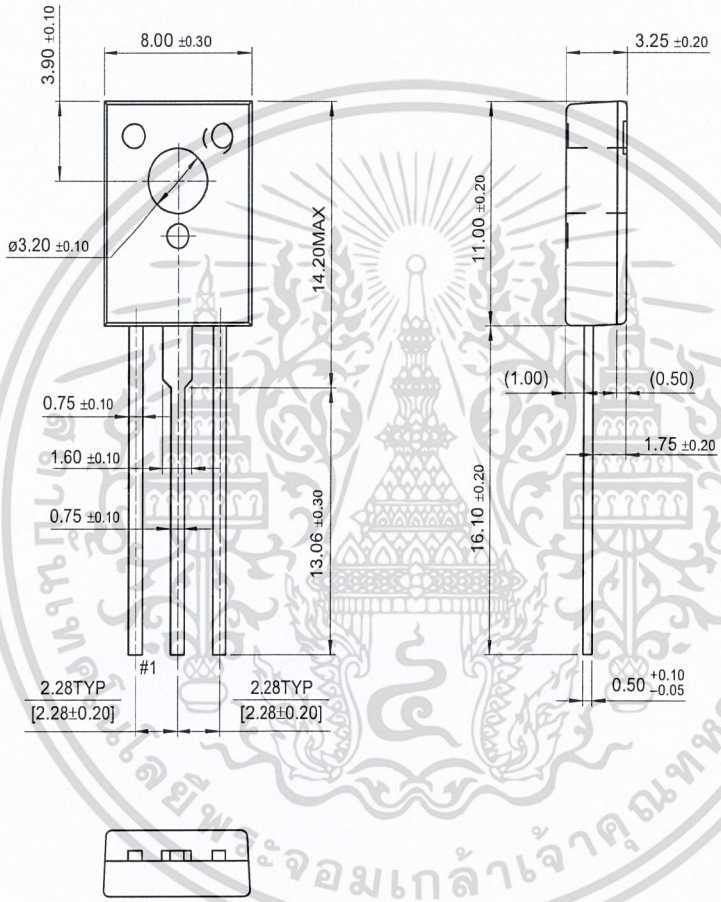
Figure 5. Power Derating

©2000 Fairchild Semiconductor International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

©2000 Fairchild Semiconductor International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™
Bottomless™
CoolFET™
CROSSVOLT™
E^2CMOS™
FACT™
FACT Quiet Series™
FAST®
FASTr™
GTO™
HiSeC™
ISOPLANAR™
MICROWIRE™
POP™
PowerTrench®
QFET™
QS™
Quiet Series™
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6
SuperSOT™-8
SyncFET™
TinyLogic™
UHC™
VCX™

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2000 Fairchild Semiconductor International

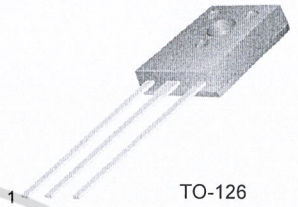
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR TM

BD136/138/140

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD135, BD137 and BD139 respectively



1

TO-126

1. Emitter 2.Collector 3.Base

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter		Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: BD136	- 45	V
		: BD138	- 60	V
		: BD140	- 80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: BD136	- 45	V
		: BD138	- 60	V
		: BD140	- 80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage		- 5	V
I_C	Collector Current (DC)		- 1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)		- 3.0	A
I_B	Base Current		- 0.5	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)		12.5	W
P_C	Collector Dissipation (T_a=25°C)		1.25	W
T_J	Junction Temperature		150	°C
T_{STG}	Storage Temperature		- 55 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage					
	: BD136	I_C = - 30mA, I_B = 0	- 45			V
	: BD138		- 60			V
	: BD140		- 80			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	V_{CB} = - 30V, I_E = 0			- 0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = - 5V, I_C = 0			- 10	μA
h_{FE1}	* DC Current Gain	V_{CE} = - 2V, I_C = - 5mA	25			
h_{FE2}		V_{CE} = - 2V, I_C = - 0.5A	25			
h_{FE3}		V_{CE} = - 2V, I_C = - 150mA	40		250	
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = - 500mA, I_B = - 50mA			- 0.5	V
V_{BE}(on)	* Base-Emitter ON Voltage	V_{CE} = - 2V, I_C = - 0.5A			- 1	V

* Pulse Test: PW=350μs, duty Cycle=2% Pulsed

h_{FE} Classificntion

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

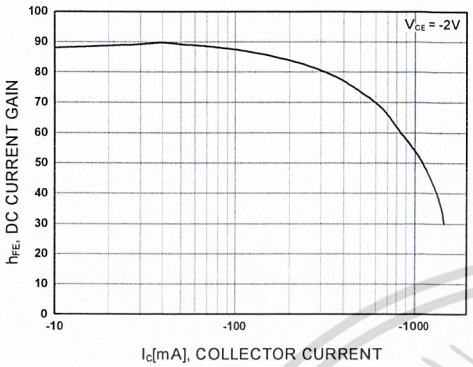


Figure 1. DC current Gain

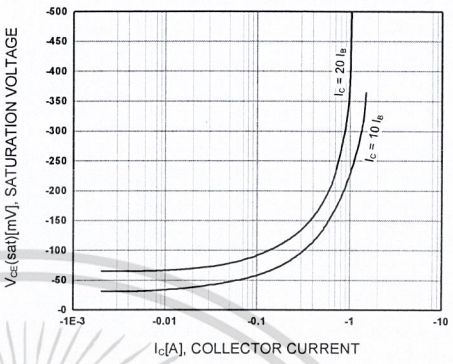


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

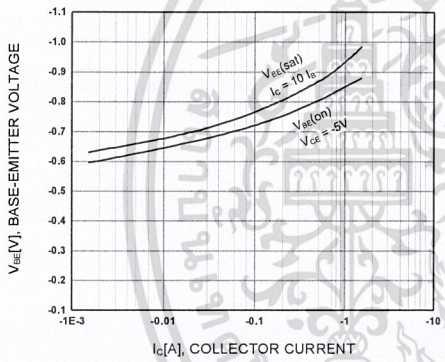


Figure 3. Base-Emitter Voltage

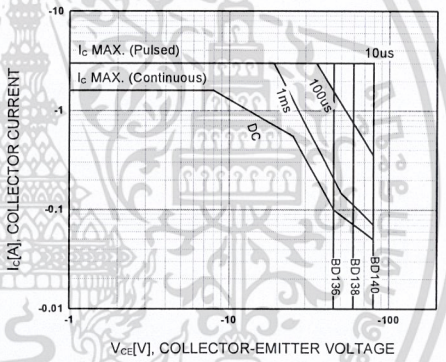


Figure 4. Safe Operating Area

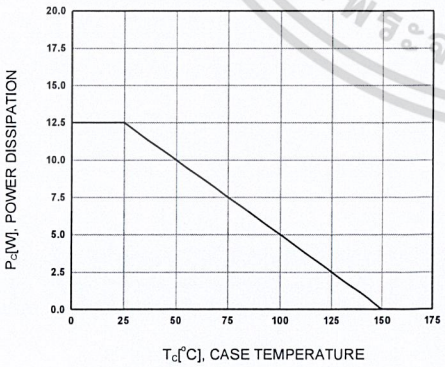


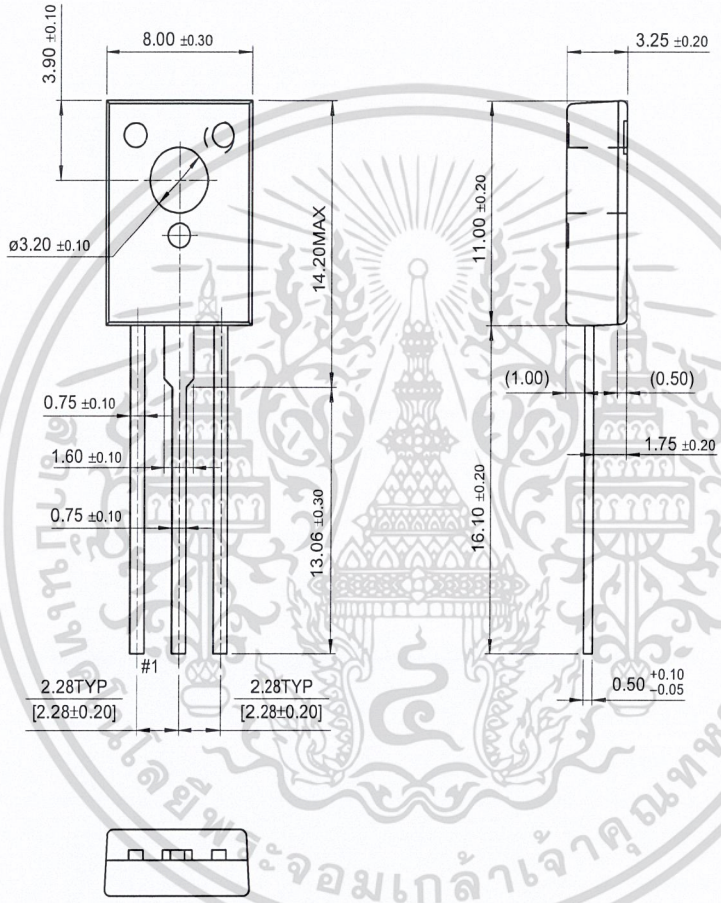
Figure 5. Power Derating

©2000 Fairchild Semiconductor International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

©2000 Fairchild Semiconductor International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™
Bottomless™
CoolFET™
CROSSVOLT™
E^2CMOS™
FACT™
FACT Quiet Series™
FAST®
FASTr™
GTO™
HiSeC™
ISOPLANAR™
MICROWIRE™
POP™
PowerTrench®
QFET™
QS™
Quiet Series™
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6
SuperSOT™-8
SyncFET™
TinyLogic™
UHC™
VCX™

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2000 Fairchild Semiconductor International

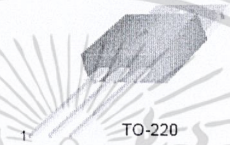
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

July 2008

TIP31/TIP31A/TIP31B/TIP31C
NPN Epitaxial Silicon Transistor

Features
- Complementary to TIP32/TIP32A/TIP32B/TIP32C



1. Base 2. Collector 3. Emitter

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	3	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	5	A
I_B	Base Current	1	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)	40	W
	Collector Dissipation (T_a=25°C)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	°C

© 2008 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage : TIP31 : TIP31A : TIP31B : TIP31C	I_C = 30mA, I_B = 0	 40 60 80 100		 V V V V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current : TIP31/31A : TIP31B/31C	 V_{CE} = 30V, I_B = 0 V_{CE} = 60V, I_B = 0		 0.3 0.3	 mA mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current : TIP31 : TIP31A : TIP31B : TIP31C	 V_{CE} = 40V, V_{EB} = 0 V_{CE} = 60V, V_{EB} = 0 V_{CE} = 80V, V_{EB} = 0 V_{CE} = 100V, V_{EB} = 0		 200 200 200 200	 μA μA μA μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = 5V, I_C = 0		1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	V_{CE} = 4V, I_C = 1A V_{CE} = 4V, I_C = 3A	25 10	 50	
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = 3A, I_B = 375mA		1.2	V
V_{BE}(sat)	* Base-Emitter Saturation Voltage	V_{CE} = 4V, I_C = 3A		1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE} = 10V, I_C = 500mA, f = 1MHz	3.0		MHz

* Pulse Test: PW≤300ms, Duty Cycle≤2%

© 2008 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

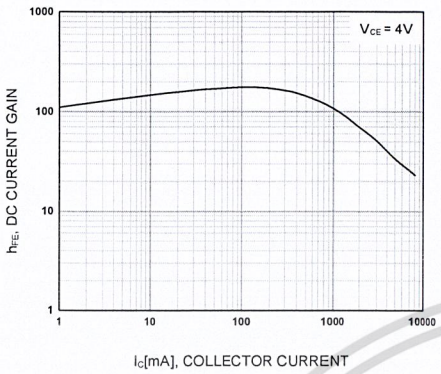


Figure 1. DC current Gain

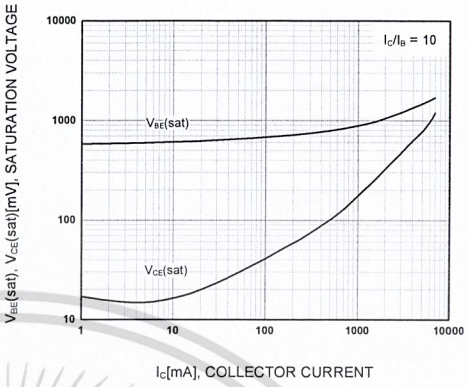


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

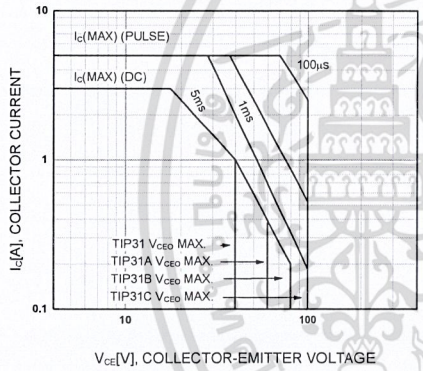


Figure 3. Safe Operating Area

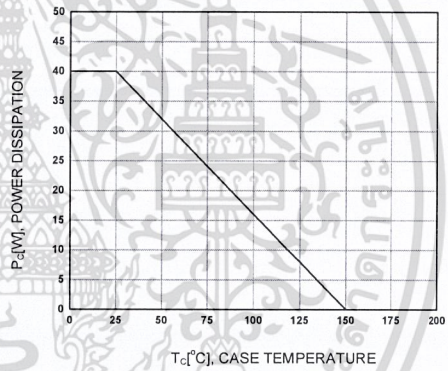


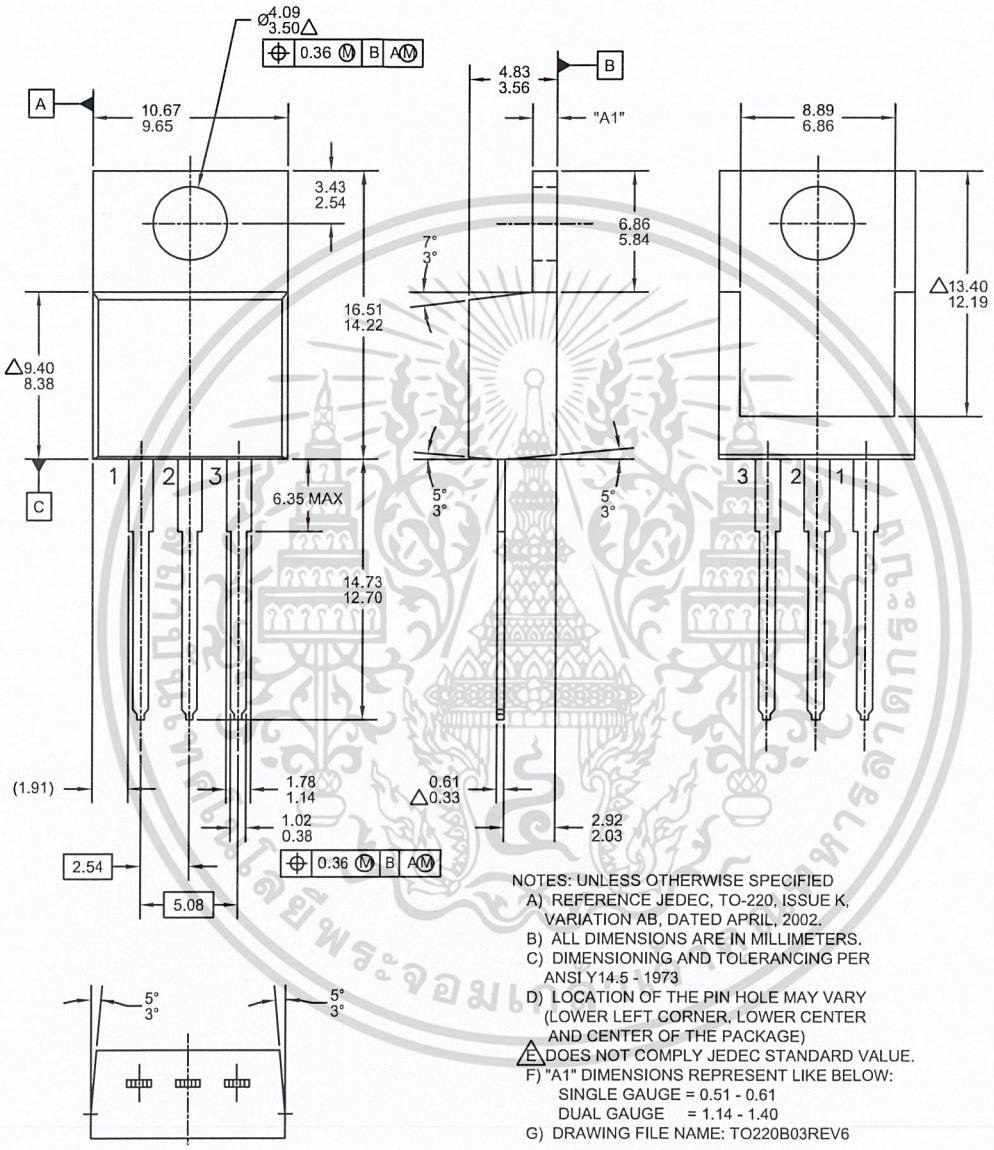
Figure 4. Power Derating

© 2008 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions

TO220



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

A) REFERENCE JEDEC, TO-220, ISSUE K, VARIATION AB, DATED APRIL, 2002.

B) ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.

C) DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5 - 1973

D) LOCATION OF THE PIN HOLE MAY VARY (LOWER LEFT CORNER, LOWER CENTER AND CENTER OF THE PACKAGE)

△E DOES NOT COMPLY JEDEC STANDARD VALUE.

F) "A1" DIMENSIONS REPRESENT LIKE BELOW:
SINGLE GAUGE = 0.51 - 0.61
DUAL GAUGE = 1.14 - 1.40

G) DRAWING FILE NAME: TO220B03REV6

© 2008 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

TRADEMARKS

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

Build it Now™
CorePLUS™
CorePOWER™
CROSSVOLT™
CTL™
Current Transfer Logic™
EcoSPARK®
EfficentMax™
EZSWITCH™ *
™
®
Fairchild®
Fairchild Semiconductor®
FACT Quiet Series™
FACT®
FAST®
FastvCore™
FlashWriter®*
FPS™
F-PFS™
FRFET®
Global Power Resource℠
Green FPS™
Green FPS™ e-Series™
GTO™
IntelliMAX™
ISOPLANAR™
MegaBuck™
MICROCOUPLER™
MicroFET™
MicroPak™
MillerDrive™
MotionMax™
Motion-SPM™
OPTOLOGIC®
OPTOPLANAR®
®
PDP SPM™
Power-SPM™
PowerTrench®
Programmable Active Droop™
QFET®
QS™
Quiet Series™
RapidConfigure™
Saving our world, 1mW at a time™
SmartMax™
SMART START™
SPM®
STEALTH™
SuperFET™
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6
SuperSOT™-8
SupreMOS™
SyncFET™
SYSTEM ® GENERAL
The Power Franchise®
the power franchise
TinyBoost™
TinyBuck™
TinyLogic®
TINYOPTO™
TinyPower™
TinyPWM™
TinyWire™
µSerDes™
SerDes
UHC®
Ultra FRFET™
UniFET™
VCX™
VisualMax™

* EZSWITCH™ and FlashWriter® are trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

Rev. I35

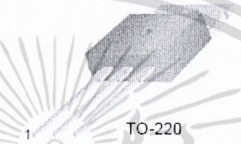
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

July 2008

TIP32/TIP32A/TIP32B/TIP32C
PNP Epitaxial Silicon Transistor

Features
- Complementary to TIP31/TIP31A/TIP31B/TIP31C



TO-220

1. Base 2. Collector 3. Emitter

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP32	- 40	V
	: TIP32A	- 60	V
	: TIP32B	- 80	V
	: TIP32C	- 100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP32	- 40	V
	: TIP32A	- 60	V
	: TIP32B	- 80	V
	: TIP32C	-100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I_C	Collector Current (DC)	- 3	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	- 5	A
I_B	Base Current	- 3	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)	40	W
	Collector Dissipation (T_a=25°C)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	°C

© 2008 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage : TIP32 : TIP32A : TIP32B : TIP32C	I_C = - 30mA, I_B = 0	 -40 -60 -80 -100		 V V V V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current : TIP32/32A : TIP32B/32C	 V_{CE} = - 30V, I_B = 0 V_{CE} = - 60V, I_B = 0		 - 0.3 - 0.3	 mA mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current : TIP32 : TIP32A : TIP32B : TIP32C	 V_{CE} = - 40V, V_{EB} = 0 V_{CE} = - 60V, V_{EB} = 0 V_{CE} = - 80V, V_{EB} = 0 V_{CE} = - 100V, V_{CE} = 0		 - 200 - 200 - 200 - 200	 μA μA μA μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = - 5V, I_C = 0		- 1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	V_{CE} = - 4V, I_C = - 1A V_{CE} = - 4V, I_C = - 3A	25 10	 50	
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = - 3A, I_B = - 375mA		- 1.2	V
V_{BE}(sat)	* Base-Emitter Saturation Voltage	V_{CE} = - 4V, I_C = - 3A		- 1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE} = - 10V, I_C = - 500mA, f = 1MHz	3.0		MHz

* Pulse Test: PW≤300ms, Duty Cycle≤2%

© 2008 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

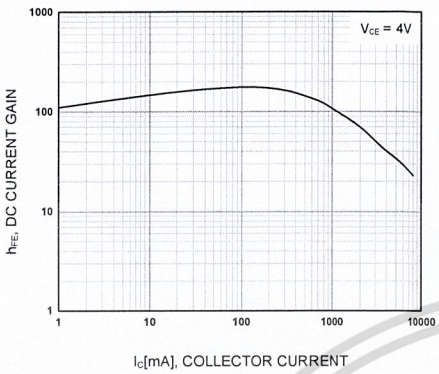


Figure 1. DC current Gain

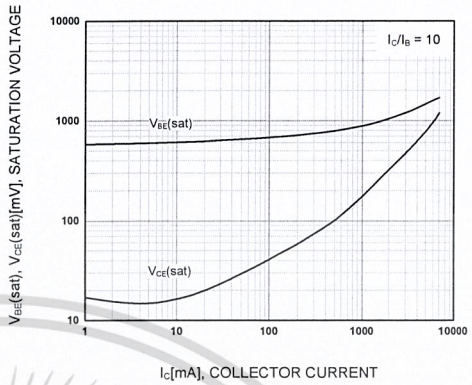


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

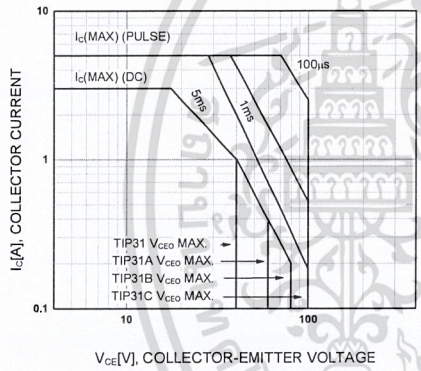


Figure 3. Safe Operating Area

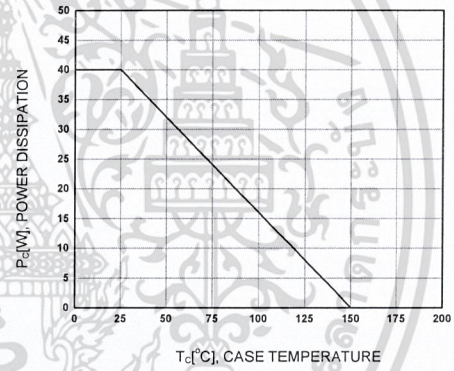
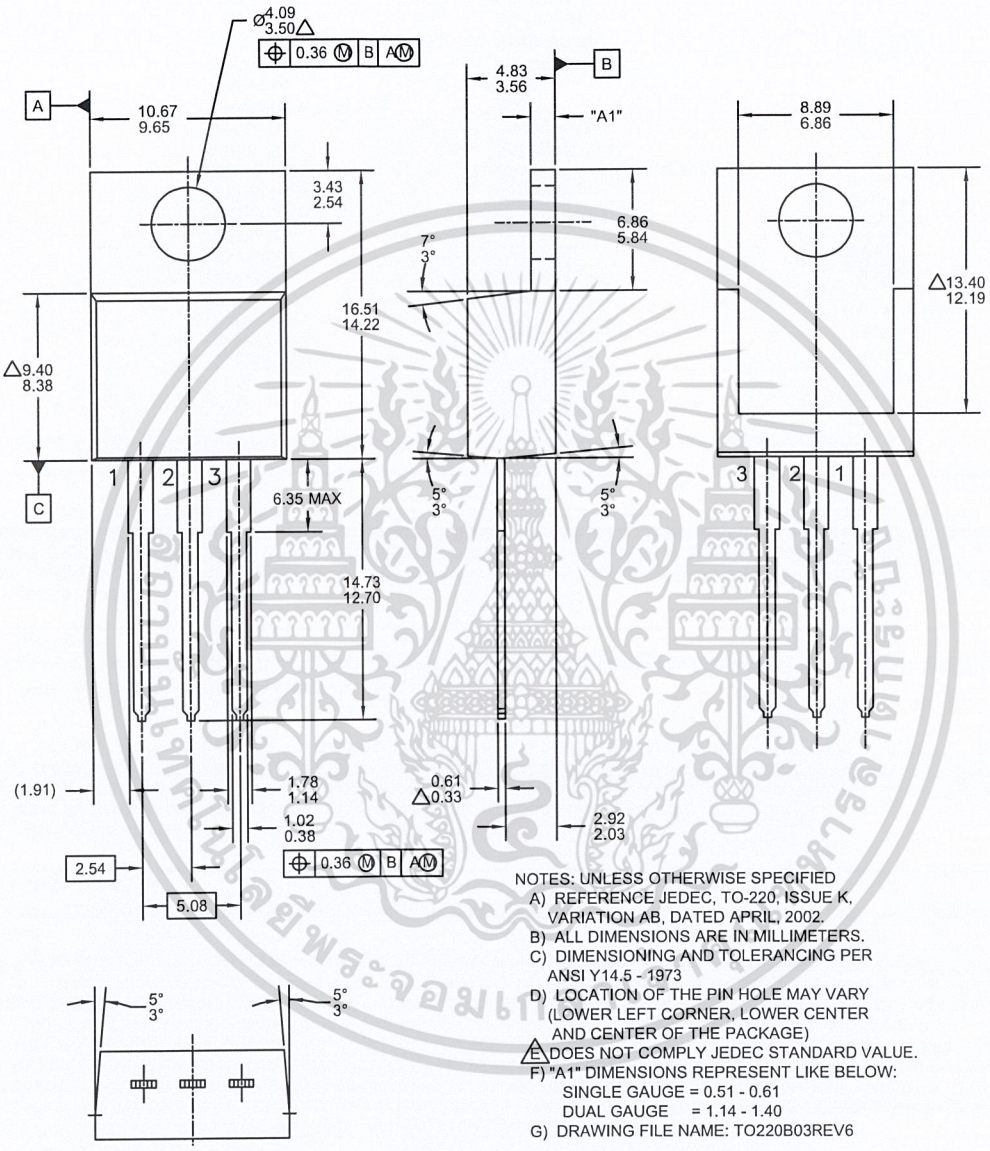


Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions

TO220



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

A) REFERENCE JEDEC, TO-220, ISSUE K, VARIATION AB, DATED APRIL, 2002.
B) ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
C) DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5 - 1973
D) LOCATION OF THE PIN HOLE MAY VARY (LOWER LEFT CORNER, LOWER CENTER AND CENTER OF THE PACKAGE)
△E DOES NOT COMPLY JEDEC STANDARD VALUE.
F) "A1" DIMENSIONS REPRESENT LIKE BELOW:
SINGLE GAUGE = 0.51 - 0.61
DUAL GAUGE = 1.14 - 1.40
G) DRAWING FILE NAME: TO220B03REV6

© 2008 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้