



เครื่องตรวจวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณ
คลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

BRAINSTEM EVOKED RESPONSE AUDIOMETRY



โดย
นางสาว ชุติมา บุญสมสิทธิ์
นางสาว นุญจวีรี เนตรมุกดา

วัน เดือน ปี... ๑ ก.ค. ๒๕๖๐
เลขทะเบียน... ๐๒๗/๒๕๘
เลขเรียกหนังสือ... T ๒๕๖๑๑ ๕๖๑๗ ๓

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2538

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณ
คลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง
BRAINSTEM EVOKED RESPONSE AUDIOMETRY

โดย

น.ส. ชุตินา บุญสมสิทธิ์ เลขประจำตัว 35104119

น.ส. บุญวารี เนตรมุกดา เลขประจำตัว 35104239

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. กิตติพล ชิตสกุล

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2538

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกระตุ้น

ด้วยเสียง (BRAINSTEM EVOKED RESPONSE AUDIOMETRY)

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ชุติมา บุญสมสิทธิ์ เลขประจำตัว 35104119
2. นางสาว บุญวารี เนตรมุกดา เลขประจำตัว 35104239



เครื่องตรวจวัดการ ได้ยิน โดยการวัดสัญญาณ
คลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

นางสาว ชุตินา บุญสมสิทธิ์

นางสาว บุญวรี เนตรมุกดา

ดร. กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

เครื่องตรวจวัดการได้ยิน โดยการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ใช้ในการวินิจฉัยความผิดปกติของการได้ยิน จากการวัดคลื่นไฟฟ้าที่เกิดบริเวณก้านสมอง เมื่อมีการกระตุ้นด้วยเสียงที่ระดับความดังต่าง ๆ ปริมาณนิพจน์ฉบับนี้จะได้กล่าวถึงโครงการที่พัฒนาระบบดังกล่าว โครงการแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ ซึ่งเป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยาย 200,000 เท่า และมีแถบความกว้างของความถี่ 100 ถึง 3,000 เฮิรตซ์ และ ส่วนของซอฟต์แวร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โปรแกรมสร้างเสียงกระตุ้นที่ระดับความดังต่าง ๆ เพื่อเล่นผ่านการด์เสียงไปยังหูฟัง และโปรแกรมควบคุมการด์สำหรับการแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิตอล เพื่อบันทึกและแสดงสัญญาณที่วัดได้ทางไมโครคอมพิวเตอร์

BRAINSTEM EVOKED RESPONSE AUDIOMETRY

Chutima Boonsomsit

Boonwree Netmugda

Dr. Kitiphol Chitsakul Advisor

1995

ABSTRACT

Brainstem Evoked Response Audiometry (BERA) is used to diagnose the unusual of hearing by measuring the epidemic electric wave generating from the brainstem when there is an audio stimulation at some levels of loudness. This thesis describes our developed BERA system. This project is mainly separated into two parts. The first part is a hardware construction consisting of an instrumentation amplifier circuit with the gain of about 200,000 and 100 to 3,000 Hz of bandwidth. The second part is the software that consisting of two main programs. The first one is the program that generates the stimulating sound in several levels of loudness to an earphone via a sound card. The other one is the program that controls A/D conversion card to record and show the signal on a microcomputer.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นมา	1
1.2 การจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง	3
1.3 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง	4
บทที่ 2 เครื่องตรวจวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง	9
2.1 หลักการของเครื่องตรวจวัดการได้ยิน	9
2.2 วงจรขยายที่ใช้ในทางการแพทย์	11
2.3 เสียงที่ใช้ในการกระตุ้น	11
2.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	13
บทที่ 3 วงจรพื้นฐานที่ใช้ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง	14
3.1 วงจรขยายผลต่างแบบอินสตรูเมนเตชัน	14
3.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพของดิฟแอมป์ขั้นมูลฐาน	16
3.3 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน	18
3.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	19
3.5 วงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียวแบบแอกทีฟ	20
3.6 วงจรความถี่สูงผ่านแบบแอกทีฟ	23
3.7 การแยกวงจรทางไฟฟ้า	25
บทที่ 4 การทำงานของวงจร	28
4.1 การทำงานของวงจรขยาย	28
4.2 การคำนวณ	29
บทที่ 5 การ์ดเสียง	36
5.1 Sound Blaster 16 (SB16)	36
5.2 ฟังก์ชันที่ใช้สำหรับเลือกไคร์เวอร์ต่าง ๆ	38
5.3 ฟังก์ชันต่าง ๆ ในการ์ดเสียง	38
5.4 โปรแกรมสำหรับสร้างเสียง	40

	หน้า
5.5 หลักการเขียนส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น.VOC	42
บทที่ 6 การ์ดสำหรับการแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอก กับสัญญาณดิจิทัล	43
6.1 บล็อกไดอะแกรมของการ์ด ในส่วนของการแปลงสัญญาณ อนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	43
6.2 วิธีการส่งผ่านข้อมูล	46
6.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม โดยใช้การเข้าถึง หน่วยความจำโดยตรง	46
6.4 การอ่านสถานะ	53
บทที่ 7 การทดสอบและผลการทดสอบทางเทคนิคของระบบการวัด	57
7.1 การทดสอบโดยใช้โปรแกรม Pspice	57
7.2 ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Pspice	57
7.3 การทดสอบจากวงจรจริง	62
7.4 ผลการทดสอบวงจรจริง	63
บทที่ 8 ขั้นตอนการทำงานและผลการทดสอบของเครื่องตรวจวัด การได้ยินโดยการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมอง ที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง	70
8.1 ขั้นตอนการทำงาน	70
8.2 ผลการทดสอบ	71
สรุปและวิจารณ์	74
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก) Data Book	
ภาคผนวก ข) โปรแกรม	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติโดย	
	ก) เป็นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติเมื่อหลับตา	2
	ข) แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติเมื่อหลับตาในช่วงเวลา 1 วินาที	2
รูปที่ 1.2	แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง	4
รูปที่ 1.3	แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง แผนภูมิส่วนล่างแสดงแหล่งกำเนิดของคลื่นลูกต่าง ๆ	5
รูปที่ 1.4	แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ของคนปกติที่ได้รับการกระตุ้นด้วยเสียงที่ระดับความดัง 80 เดซิเบล	6
รูปที่ 1.5	แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ที่มีความดังต่าง ๆ กัน	8
รูปที่ 2.1	แผนภาพแสดงโครงสร้างของเครื่องวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณ คลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง	10
รูปที่ 2.2	แสดงรูปสัญญาณของเสียง	
	ก) คลิก ข) พิลาเตอร์คลิก ค) โทนเบิร์ช	12
รูปที่ 2.3	ก) แสดงการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณอนาลอก	13
	ข) แสดงรูปสัญญาณที่ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างเป็นสองเท่า	13
รูปที่ 3.1	วงจรรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด	15
รูปที่ 3.2	ค่าขยายแบบคอมมอน โหมดควรจะเท่ากับศูนย์	15
รูปที่ 3.3	การปรับปรุงคุณสมบัติของดิฟแอมป์พื้นฐาน	17
รูปที่ 3.4	วงจรรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชั่น	18
รูปที่ 3.5	วงจรรขยายแบบไม่กลับเฟส	19
รูปที่ 3.6	แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียว	20
รูปที่ 3.7	แสดงวงจรวงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียวแบบแอกทีฟอย่างง่าย	21
รูปที่ 3.8	แสดงวงจรไม่ผ่านความถี่เดียวโดยใช้การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ แบบทวินที่	
	ก) วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวโดยใช้การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ แบบทวินที่อย่างง่าย	22

ข) วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวโดยใช้การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ แบบทวินทีที่มีค่า Q สูง	22
รูปที่ 3.9 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรความถี่สูงผ่าน	23
รูปที่ 3.10 วงจรความถี่สูงผ่านอย่างง่าย	24
รูปที่ 3.11 วงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2	24
รูปที่ 3.12 แสดงการไบแอสตรงของโคโอดเปล่งแสงและลักษณะการเกิดแสง	25
รูปที่ 3.13 แสดงสัญลักษณ์โครงสร้างของทรานซิสเตอร์รับแสง	26
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง และสัญลักษณ์	27
รูปที่ 4.1 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน	29
รูปที่ 4.2 วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวแบบทวินที	30
รูปที่ 4.3 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	31
รูปที่ 4.4 วงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2	31
รูปที่ 4.5 วงจรขยาย	32
รูปที่ 4.6 รูปแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์	33
รูปที่ 4.7 รูปแสดงลายวงจร	34
รูปที่ 5.1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของการ์ด Sound Blaster 16	37
รูปที่ 5.2 แสดงรูปสัญญาณเสียงโทนเบรชท์ที่ทำการตัดต่อแล้ว	40
รูปที่ 6.1 แผนภาพของการ์ดในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิทัล	44
รูปที่ 7.1 วงจรขยาย	58
รูปที่ 7.2 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout2 โดยใช้โปรแกรม Pspice	59
รูปที่ 7.3 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout3 โดยใช้โปรแกรม Pspice	60
รูปที่ 7.4 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout4 โดยใช้โปรแกรม Pspice	61
รูปที่ 7.5 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout1	64
รูปที่ 7.6 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout2	66
รูปที่ 7.7 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout3	67
รูปที่ 7.8 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout4	68
รูปที่ 7.9 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุดเอาต์พุต	69
รูปที่ 8.1 แสดงตำแหน่งของอิลิค โครด	70

	หน้า
รูปที่ 8.2 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 30 เดซิเบล	71
รูปที่ 8.3 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 40 เดซิเบล	71
รูปที่ 8.4 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 50 เดซิเบล	72
รูปที่ 8.5 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 60 เดซิเบล	72
รูปที่ 8.6 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 70 เดซิเบล	73
รูปที่ 8.7 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 80 เดซิเบล	73



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางแบ่งประเภทความพิการของหู	7
ตารางที่ 5.1 แสดงส่วนย่อยของส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC	42
ตารางที่ 5.2 แสดงส่วนย่อยของข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC	42
ตารางที่ 6.1 ก) แสดงการรีเซตการ์ด PA-MA 12 (-H)	47
ข) แสดงการควบคุมการยกเลิกการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง	47
ตารางที่ 6.2 แสดงการกำหนดค่าขอบเขตของช่องสัญญาณให้กับช่องสัญญาณ MUX	48
ตารางที่ 6.3 ก) แสดงการกำหนดข้อมูลให้ตัวจับเวลาของ 8254	48
ข) แสดงข้อมูลของตัวนับเวลาเบอร์ 1 และ 2 ของ 8254 ที่ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างต่าง ๆ	49
ตารางที่ 6.4 ก) การส่งข้อมูลแบบไบต์	50
ข) การส่งข้อมูลแบบเวิร์ด	50
ตารางที่ 6.5 ก) การส่งข้อมูลแบบไบต์	51
ข) การส่งข้อมูลแบบเวิร์ด	51
ตารางที่ 6.6 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโหมครีจิสเตอร์	51
ตารางที่ 6.7 แสดงการควบคุมการอนุญาตในการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง	52
ตารางที่ 6.8 ก) แสดงการกำหนดค่าให้กับพอร์ตคำสั่งของการ์ด	52
ข) แสดงการเลือกสัญญาณทริก	53
ตารางที่ 6.9 แสดงค่าข้อมูลในรีจิสเตอร์บอกสถานะ	53
ตารางที่ 7.1 แสดงเอาต์พุตแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมค ของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน	63
ตารางที่ 7.2 แสดงเอาต์พุตที่จุดต่าง ๆ ของวงจรขยาย	65

บทที่ 1

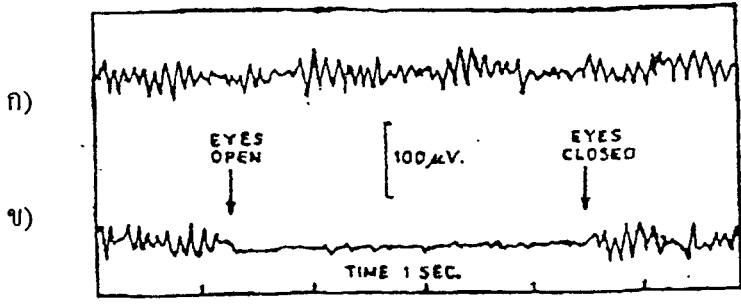
บทนำ

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง (Auditory Evoked Potentials - AEP) ได้ถูกสันนิษฐานว่า มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับปฏิบัติการทางการแพทย์ ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการได้ยิน ความสามารถในการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ที่ระดับต่าง ๆ ของระบบประสาท อันเนื่องจากการกระตุ้นด้วยเสียง แสดงถึงการประยุกต์ความสัมพันธ์ของระบบการได้ยิน ระบบหู และระบบประสาท ซึ่งการบันทึกสัญญาณไฟฟ้านี้ทำได้ไม่ยากและไม่ก่อให้เกิดความลำบากให้แก่ผู้ป่วย

ในบทนี้จะแสดงถึงพื้นฐานเกี่ยวกับประวัติความเป็นมา และลักษณะความสัมพันธ์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ซึ่งกลายมาเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางในทางการแพทย์ การกำหนดความสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจสอบ ผู้ตรวจสอบ และผู้ถูกตรวจสอบ ในการบันทึกและแปลความหมายของสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้

1.1 ประวัติความเป็นมา

สัญญาณไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติอย่างไม่ระเบียบแบบแผน ที่เกิดขึ้นจากระบบประสาทส่วนกลางที่สามารถบันทึกได้เรียกว่า สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG ย่อมาจาก Electroencephalogram) ในปี ค.ศ. 1929 Berger^[9] ได้อธิบายลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นครั้งแรก ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและความถี่ตามสภาวะต่าง ๆ เมื่อระบบประสาทได้รับการกระตุ้น รูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปโดยสัมพันธ์กับสิ่งกระตุ้น เช่น การรับรู้ทางแสงหรือเสียง เป็นต้น ซึ่งสัญญาณไฟฟ้านั้นสามารถแยกออกจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติได้ เรียกว่า สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้น (Evoked Potential - EP)



รูปที่ 1.1 แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติโดย

- ก) เป็นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติเมื่อหลับตา
- ข) แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติเมื่อหลับตาในช่วงเวลา 1 วินาที

วิวัฒนาการของเครื่องมือวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการกระตุ้น เกิดขึ้นมานานกว่า 60 ปี และมีการอธิบายถึงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ในขณะที่ผู้ป่วยหลับ ทำให้ทราบได้ว่า สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยเสียงเกิดได้ทั้งในขณะที่หลับและตื่น โดยจะเน้นถึงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงสูงที่ 5 (V Potentials) เนื่องจากเป็นสัญญาณที่เด่นชัด เมื่อบันทึกในบริเวณจุดสูงสุดของหน้าผาก

จากรายงานของการวิเคราะห์ในช่วงแรก ๆ สามารถอธิบายได้ว่า รูปแบบของสัญญาณที่มีความสัมพันธ์กับการกระตุ้น จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ และสังเกตได้ยากเพราะอยู่ร่วมกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งเกิดขึ้นเองที่มีขนาดใหญ่กว่ามาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคนิคในการแยกสัญญาณขนาดเล็กที่เกิดจากการกระตุ้นออกจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยการพัฒนาและประยุกต์กระบวนการรวมหรือเฉลี่ยสัญญาณทางดิจิทัล (Digital) โดยทำการแปลงสัญญาณ อนุalog (Analog) เป็นสัญญาณดิจิทัล หลักการของกระบวนการนี้คือ การใช้สัญญาณกระตุ้นที่เป็นแบบคงที่ และแบบเป็นจังหวะ ในขณะที่สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองปกติเกิดขึ้นแบบไม่เป็นระเบียบ (Random) นอกจากนี้ผลที่ได้จากการกระตุ้นซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง จะได้เป็นสัญญาณรวมที่เกิดจากการรวมกันทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นที่เหมือน ๆ กัน ในขณะที่สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งในที่นี้ถือเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) จะเกิดการหักล้างกันจนเป็นศูนย์ ดังนั้นถ้าตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเกิดจากระบบประสาทหลาย ๆ ตัวอย่าง ที่ประกอบด้วยสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้น และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองถูกทำให้เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วเก็บและรวมสัญญาณโดยผ่านทางไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

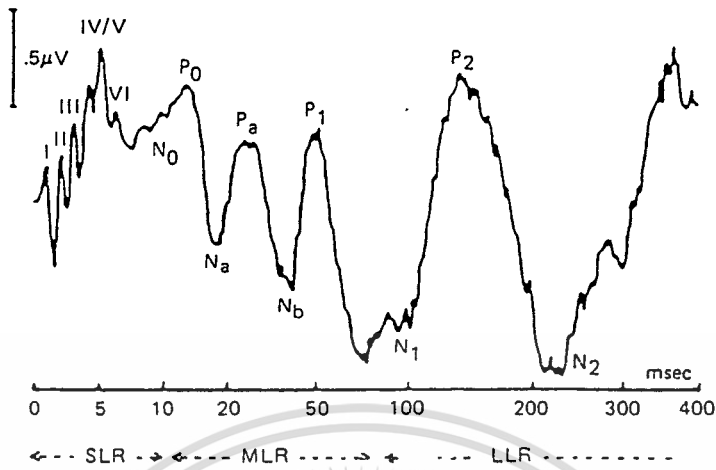
(Microcomputer) จะได้ว่าขนาดของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นจะเพิ่มขึ้นในขณะที่สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง จะลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ โดย S/N ratio จะแสดงในรูปของรากที่สองของจำนวนครั้งในการกระตุ้น ซึ่งควรกระตุ้นตั้งแต่ 2,000 - 4,000 ครั้งขึ้นไป

ความสนใจในขั้นต้นเกี่ยวกับสัญญาณ คลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง จะมุ่งไปที่ส่วนประกอบที่เกิดจากสมองส่วนนอก (Cortical) และเกิดในช่วงเวลา 50 - 500 มิลลิวินาที หลังจากการกระตุ้น ต่อมาได้มีการศึกษาวิเคราะห์สัญญาณตอบสนองของระบบการได้ยินในมนุษย์ ซึ่งเกิดขึ้นภายใน 10 -12 มิลลิวินาที หลังจากการกระตุ้น

ทั้งที่มีผู้สนใจศึกษาค้นคว้ามากมาย แต่สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับแพร่หลาย และยังไม่มีการประยุกต์เกี่ยวกับเครื่องมือวัดมากนัก จนกระทั่งมีการค้นพบสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง (Auditory Brainstem Response - ABR) ครั้งแรกโดย Sohmer และ Feinmesser ในปี ค.ศ. 1967^[9] และในปี ค.ศ. 1971 Jewett และ Williston^[9] ได้อธิบายถึงรายละเอียด ทำให้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงกลายเป็นที่ยอมรับ และมีการนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยเสียง ไปใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการได้ยิน โดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา การพัฒนา ปรับปรุงและขยายตัวของการประยุกต์ใช้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยเสียงในทางปฏิบัติเป็นไปอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

1.2 การจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

ระบบการจัดกลุ่มและจำแนกชื่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง โดยทั่วไป แบ่งตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการกระตุ้น ที่รู้จักกันในชื่อว่า ภาวะแฝง (Latency Epoch) ได้แก่ สัญญาณตอบสนองส่วนแรก (Short Latency Response - SLR) , ส่วนกลาง (Middle Latency Response - MLR) , ส่วนท้าย (Long Latency Response - LLR) สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงเกิดขึ้นภายใน 10 - 15 มิลลิวินาทีแรก หลังจากการกระตุ้น รวมเรียกว่า สัญญาณตอบสนองส่วนแรก ซึ่งรวมถึงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงด้วย สำหรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงที่เกิดขึ้นระหว่าง 10 - 80 มิลลิวินาที เรียกว่า สัญญาณตอบสนองส่วนกลาง และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ที่เกิดขึ้นภายหลังจาก 80 มิลลิวินาที จะเรียกว่า สัญญาณตอบสนองส่วนท้าย ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง เนื่องจากเป็นสัญญาณสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติต่าง ๆ เกี่ยวกับการได้ยิน



รูปที่ 1.2 แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

1.8 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

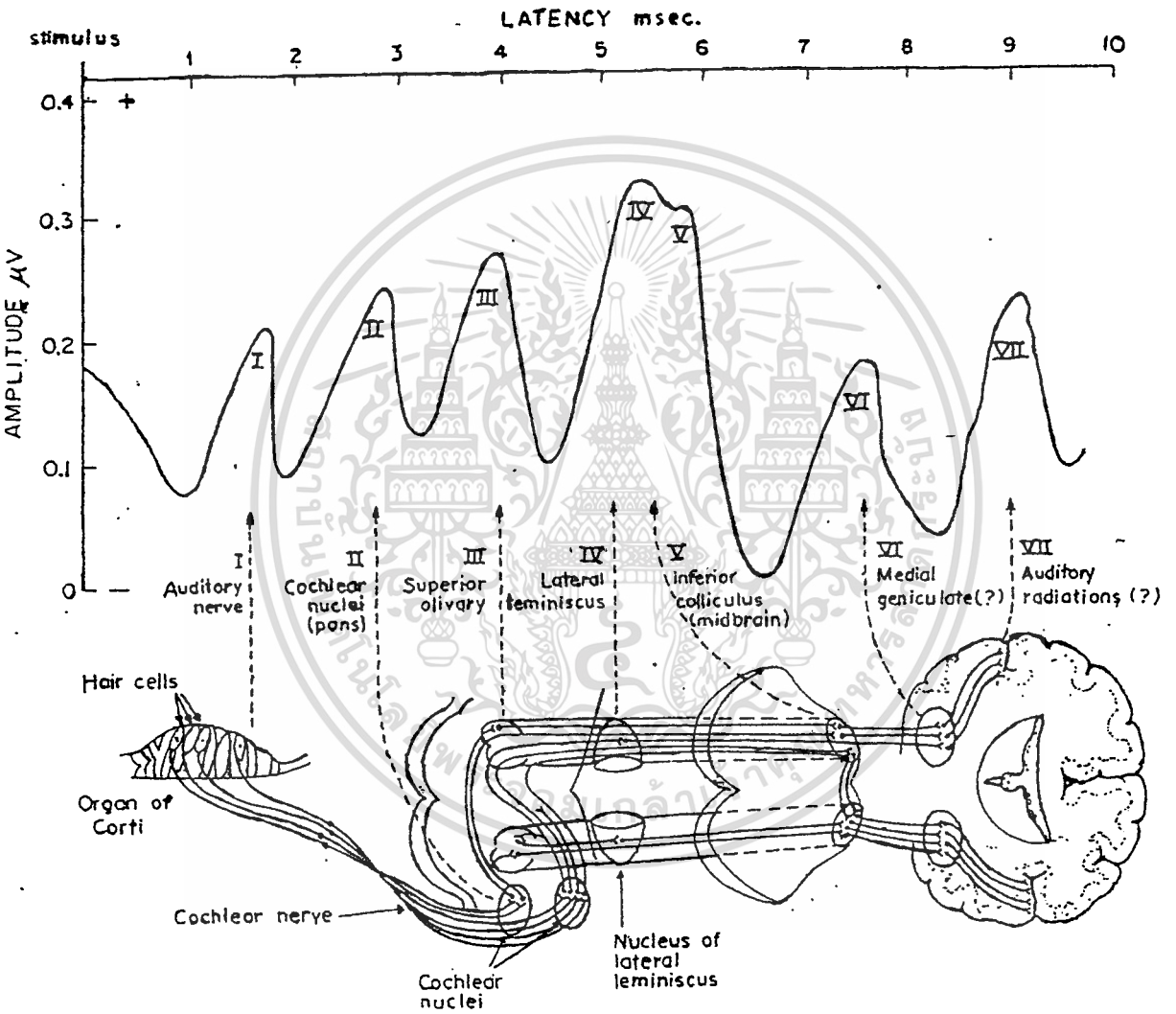
สัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ก่อส่วนแรก (0-12 มิลลิวินาที) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง หรือ สัญญาณตอบสนองส่วนแรก และบันทึกได้ที่หน้าศีรษะที่บริเวณประสาทการฟังเสียง (Auditory Area) ของสมองบริเวณขมับ (Temporal Lobe) ประกอบด้วยลูกคลื่นหลายลูก โดยแต่ละลูกคลื่นจะบอกโดยใช้ตัวเลขโรมัน (I - VII) ซึ่งแต่ละลูกคลื่นจะห่างกันประมาณ 1 มิลลิวินาที และมีขนาด (Amplitude) ประมาณ 100 - 500 นาโนโวลต์ คลื่นลูกที่ 1-5 พบว่าเกิดขึ้นโดยโครงสร้างในก้านสมอง ส่วนคลื่นลูกที่ 6 และ 7 ยังไม่ทราบแหล่งกำเนิดที่แน่นอน โดยทั่วไปจะพิจารณาลูกคลื่นที่ 1 , 3 และ 5 เป็นสำคัญ

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ได้นำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ 3 ประการคือ ประการแรก ใช้ในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับระบบประสาทและการได้ยิน ประการที่สอง ใช้ในการประมาณระดับการได้ยิน ซึ่งนิยมใช้กับเด็กแรกเกิดทารก และผู้ป่วยที่ไม่สามารถตอบสนองเสียงกระตุ้นเป็นคำพูดหรือท่าทางที่เชื่อถือได้ ประการที่สาม สัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำศัลยกรรมระบบประสาทและตรวจสอบภาวะสมองไม่สั่งการ

ปัญหาที่สำคัญในการตรวจสอบโดยใช้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง คือ ค่าใช้จ่ายในการตรวจ ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากเวลาที่ใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึก แปลความหมายของสัญญาณและการบอกระดับการได้ยินซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญทางด้าน
โสตวิทยา

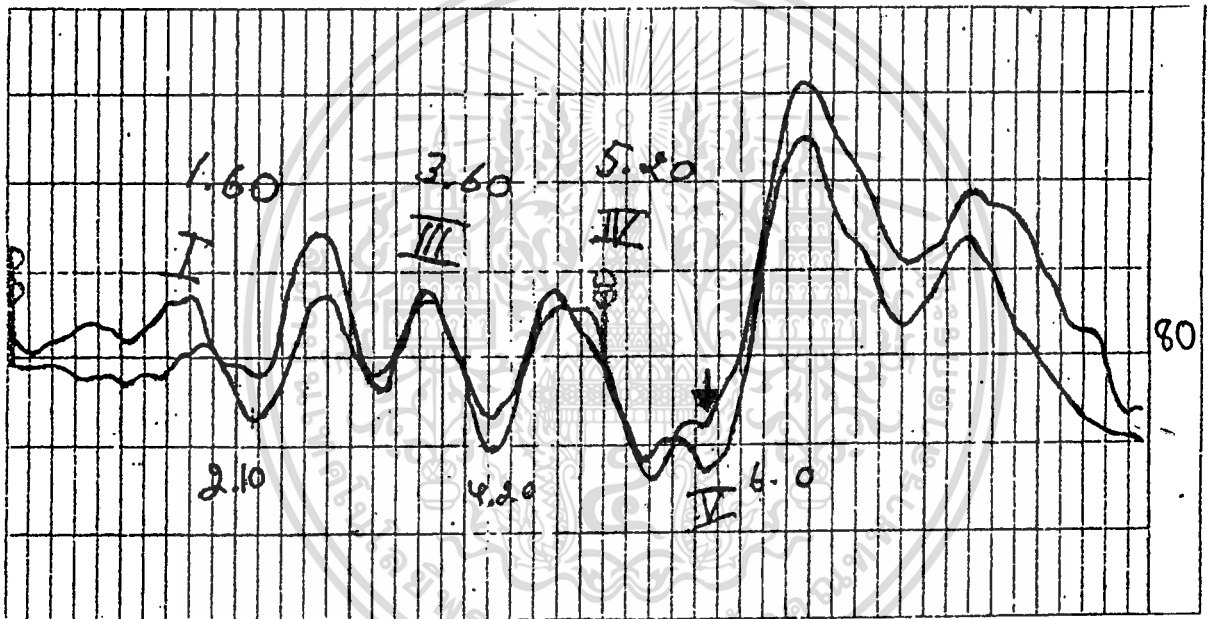


รูปที่ 1.3 แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง
แผนภูมิส่วนล่างแสดงแหล่งกำเนิดของคลื่นลูกต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงที่วัดได้จริงจากเครื่องตรวจวัดการได้ยินของ Madsen รุ่น ERA 2250 โดยการกระตุ้นด้วยเสียงที่มีความดัง 80 เดซิเบล (Decibel - dB) แสดงดังรูปที่ 1.4 การตรวจสอบระดับการได้ยินนั้น สังเกตได้จากคลื่นลูกที่ 5 โดยจะถือเอาความดังต่ำสุดที่ยังสามารถเห็นคลื่นลูกที่ 5 ปรากฏอยู่ เป็นระดับความดังต่ำสุดที่สามารถได้ยินได้ และจะนำไปใช้ในการแยกประเภทความพิการของหูได้ดังตารางที่ 1

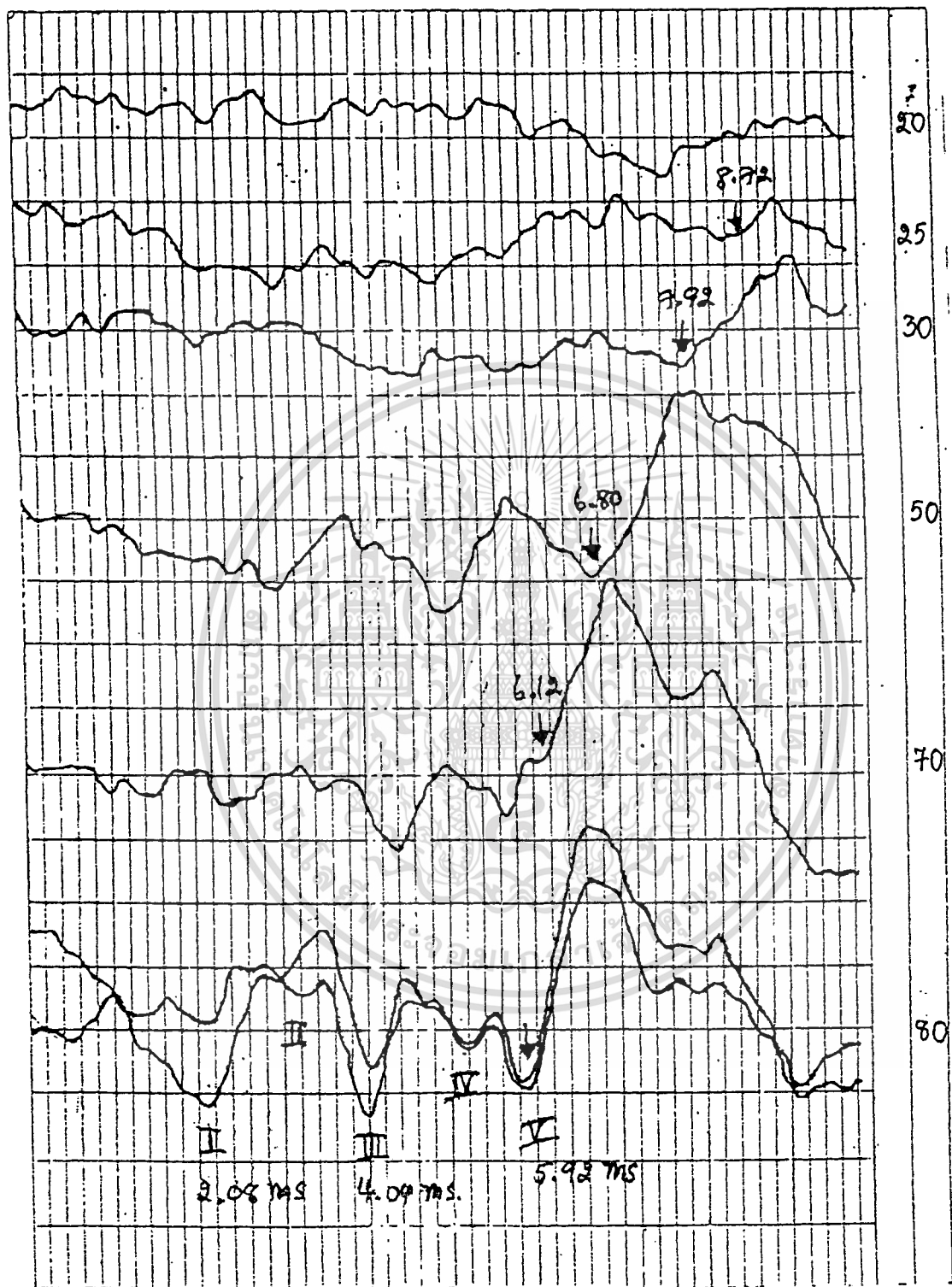
ในการจะวิเคราะห์ความผิดปกติต่างของการได้ยิน จะต้องใช้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง ที่วัดได้จากการกระตุ้นที่ระดับความดังสูงกว่าระดับความดังต่ำสุดที่ได้ยินประมาณ 40 - 60 เดซิเบล เนื่องจากสัญญาณที่ได้จะมีขนาดใหญ่และชัดเจน จึงต้องมีการวัดสัญญาณที่ระดับความดังต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.4 แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงของคนปกติ ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยเสียงที่ระดับความดัง 80 เดซิเบล

ตารางที่ 1.1 ตารางแบ่งประเภทความพิการของหู

อันดับที่	ปริมาณของความพิการ	ค่าเฉลี่ยความไว ณ ตำแหน่ง 500 , 1,000, 2,000 Hz		ความสามารถในการ เข้าใจคำพูด
		มากกว่า	ไม่มากกว่า	
1	หูปกติ	-	25 dB	ไม่ลำบากในการรับฟัง คำพูดเลย
2	หูตึงน้อย	25 dB	40 dB	ไม่ได้ยินเสียงพูดเบา ๆ
3	หูตึงปานกลาง	40 dB	55 dB	พูดด้วยความดังปกติ แล้วไม่ได้ยิน
4	หูตึงมาก	55 dB	70 dB	พูดด้วยดัง ๆ แล้ว ยังไม่ได้ยิน
5	หูตึงรุนแรง	70 dB	90 dB	ต้องตะโกนหรือใช้เครื่อง ขยายเสียง จึงจะได้ยิน แต่ได้ยินไม่ชัด
6	หูหนวก	90 dB	-	ต้องตะโกนหรือใช้เครื่อง ขยายเสียงพูด แล้วไม่ได้ยิน ไม่เข้าใจ



รูปที่ 1.5 แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงที่มีความดังต่าง ๆ กัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เครื่องตรวจวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณ คลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

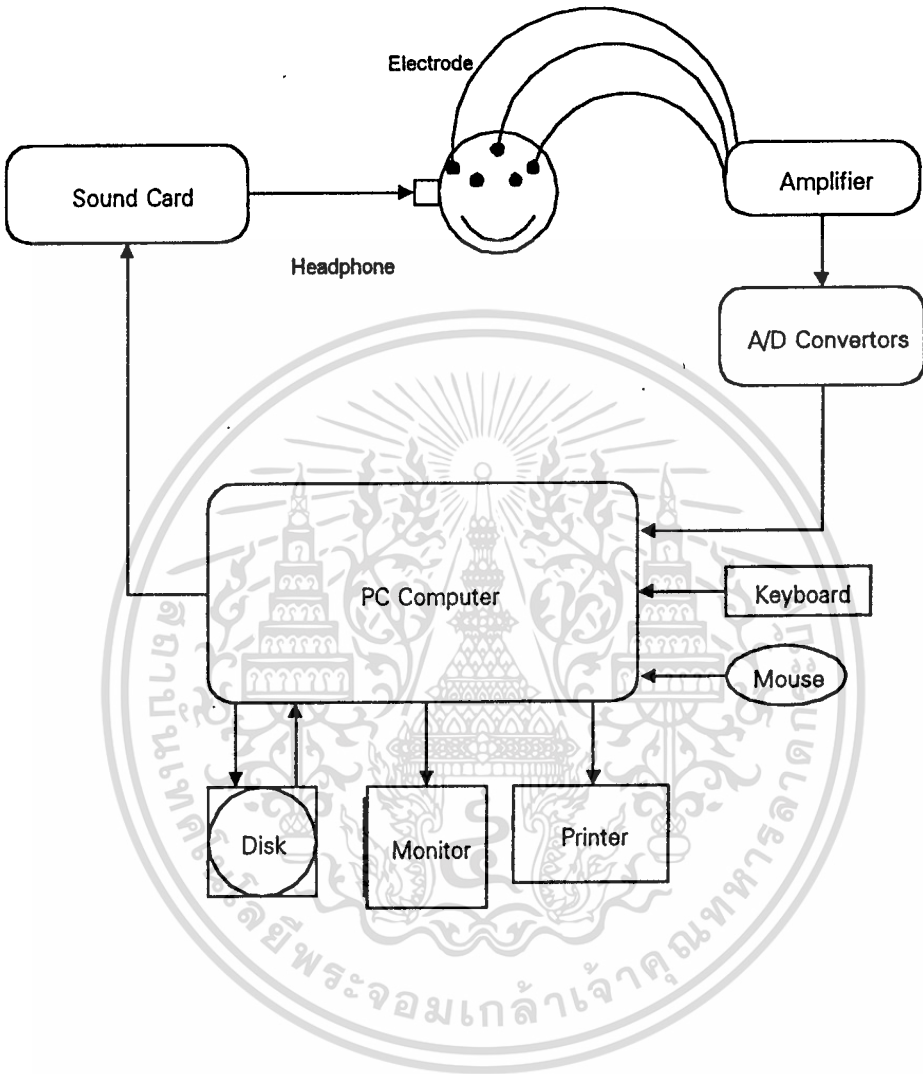
2.1 หลักการของเครื่องตรวจวัดการได้ยิน

องค์ประกอบที่สำคัญของระบบนี้ แสดงดังรูปที่ 2.1 แบ่งออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ คือ วงจรขยาย (Amplifier) , การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D Conversion) , การสร้างเสียงกระตุ้น (Stimulator) , ไมโครคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์

ส่วนของผู้ป่วยติดต่อกับวงจรขยายผ่านทางอิเล็กโทรด 3 แผ่น ที่วางบนหนังศีรษะ โดยอิเล็กโทรดที่เป็นขั้วลบจะวางบริเวณหลังหูที่ถูกกระตุ้น ขณะที่อิเล็กโทรดที่เป็นขั้วบวกจะวางบริเวณจุดสูงสุดของหน้าผาก (Vertex) และอิเล็กโทรดที่เป็นกราวด์ (Ground) จะวางบริเวณหลังหูอีกข้างหนึ่ง

วงจรถ่ายใช้สำหรับขยายสัญญาณคลื่นที่มีขนาดเล็ก โดยจะมีอัตราขยายระหว่าง 50,000 ถึง 200,000 เท่า และประกอบด้วยวงจรรวมที่ส่งผ่าน (High Pass Filter) และวงจรรวมที่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งจะมีผลต่อรูปร่างลักษณะของคลื่นที่ปรากฏ ส่วนใหญ่จะมีความถี่คัทออฟ (Cut Off) ประมาณ 100 เฮิร์ตซ (Hertz) และ 3,000 เฮิร์ตซ สำหรับวงจรรวมที่ส่งผ่าน และวงจรรวมที่ต่ำผ่าน ตามลำดับ โดยที่ความถี่คัทออฟให้มีอัตราขยายลดลงประมาณ 3 เดซิเบล อย่างไรก็ตามก็อาจแตกต่างกันได้แล้วแต่ระบบ ลักษณะที่สำคัญของวงจรถ่าย คือ การแยกกราวด์ เพื่อป้องกันผู้ป่วยจากอันตรายของกระแสไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้น

สัญญาณกระตุ้นที่มีความดังต่าง ๆ ซึ่งสร้างโดยการเขียนโปรแกรมและเล่นเสียงด้วยการ์ดเสียง (Sound Card) ผ่านหูฟัง (Earphone) ไปกระตุ้นที่หู สัญญาณที่ได้จากการกระตุ้นจะส่งผ่านจากวงจรถ่าย ที่ต่อกับส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ซึ่งจะแปลงสัญญาณอนาลอก เป็น สัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งต่อไปกับไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อนำสัญญาณไปวิเคราะห์ แสดงผล และเก็บลงดิสก์ (Disk) ต่อไป



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงโครงสร้าง (Schematic Diagram) ของเครื่องวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง (BERA)

2.2 วงจรขยายที่ใช้ในทางการแพทย์ (Biological Amplifier)

วงจขยายที่ใช้ในการแพทย์มีหลักการเช่นเดียวกับวงจขยายที่ใช้กันโดยทั่วไป จะแตกต่างกันก็แต่ในรายละเอียดซึ่งเป็นคุณสมบัติบางอย่างเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมสำหรับงานที่จะต้องทำ ลักษณะของวงจขยายที่ใช้ในทางการแพทย์ ควรีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีกำลังขยายสูง เพราะสัญญาณที่ต้องการวัดนั้นมีค่าน้อย และในบางกรณีมีช่วงความถี่กว้างมาก ดังนั้น วงจขยายจึงต้องมีกำลังขยายสูงในทุกช่วงความถี่ อย่างไรก็ตาม วงจขยายที่มีกำลังขยายสูงจะขยายสัญญาณรบกวนตามไปด้วย จึงควรใช้วงจขยายแบบขยายผลต่าง (Differential Amplifier) หรือ วงจขยายคลาสเอบี (Push - Pull Amplifier) แทน

2. มีอัตราส่วนการกำจัดสัญญาณรบกวน (Common Mode Rejection Ratio - CMRR) สูง ซึ่งคุณสมบัติเช่นนี้ เป็นลักษณะเฉพาะของวงจขยายผลต่าง

3. มีความต้านทานขาเข้า (Input Impedance) สูง เพราะในการตรวจวัดสัญญาณ จากบริเวณเล็ก ๆ จะต้องใช้อิเลคโตรดที่มีขนาดเล็ก จึงมีความต้านทานมาก และความต้านทานระหว่างอิเลคโตรดกับผิวหนังก็มีมาก จึงต้องใช้วงจขยายที่มีความต้านทานขาเข้าสูง

4. ความจุไฟฟ้าขาเข้า (Input Capacitance) ต่ำ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะลดลง ถ้าความจุไฟฟ้ามีค่ามาก

5. มีการตอบสนองต่อความถี่ที่เหมาะสม โดยการใช้วงจกรองความถี่ในแบบที่เหมาะสมกับสัญญาณที่ต้องการวัด

วงจขยายที่ใช้ในที่นี้หมายถึง ระบบวงจขยายทั้งหมดที่ประกอบด้วย วงจขยายส่วนแรก (Preamplifier) และ วงจขยายหลัก (Main Amplifier) เครื่องมือที่ใช้ในทางการแพทย์ โดยทั่วไปจะมีวงจขยายทั้งสองส่วนรวมอยู่ในเครื่องเดียวกัน นอกจากนี้ในภาวะที่ต้องการวัดสัญญาณที่มีขนาดเล็ก หรือในภาวะแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนมาก จึงจำเป็นต้องแยกวงจขยายส่วนแรก และวงจขยายหลักออกจากกัน

2.3 เสียงที่ใช้ในการกระตุ้น

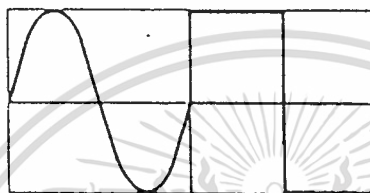
เสียงที่ใช้ในการกระตุ้นมีหลายชนิดที่สำคัญได้แก่

1. คลิก (Click) มีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) ซึ่งอาจใช้เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) หรือคลื่นรูปไซน์ (Sine Wave) ก็ได้ดังรูปที่ 2.2 ก)

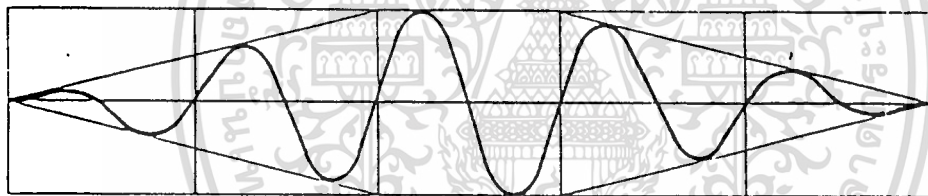
2. ฟิเตอร์คลิก (Filter Click) เกิดจากการส่งคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผ่าน วงจรผ่านเฉพาะความถี่ (Band Pass Filter) ดังรูปที่ 2.2 ข)

3. โทเนเบิร์ช (Tone Burst) เป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์สั้น ๆ ดัง รูปที่ 2.2 ค)

ในที่นี้จะใช้เสียงกระตุ้นแบบโทเนเบิร์ช ที่ความถี่ 4000 เฮิร์ตซ



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 2.2 แสดงรูปสัญญาณของเสียงที่ใช้กระตุ้น ก) คลิก ข) ฟิเตอร์คลิก ค) โทเนเบิร์ช

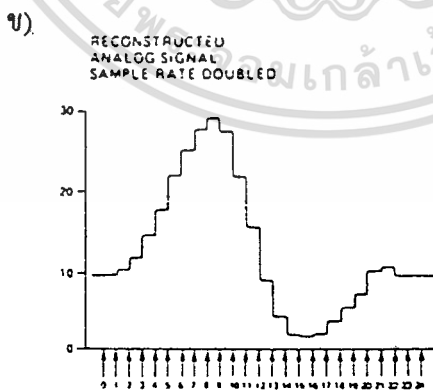
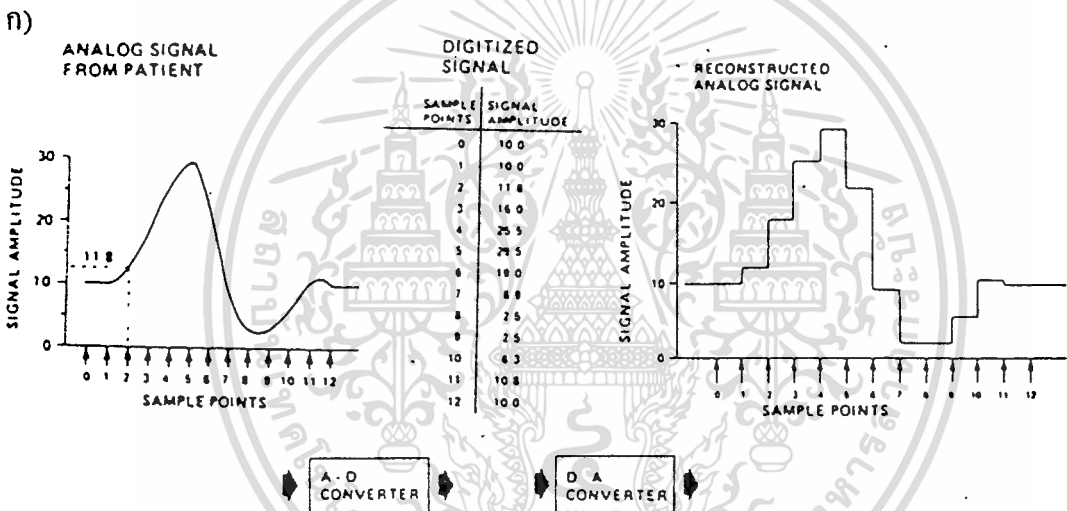
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เป็นการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณ อนาลอกที่ได้รับจากวงจรขยาย ให้เป็นเลขฐานสอง (Binary) เพื่อใช้ในการคำนวณทางไมโครคอมพิวเตอร์ และจะเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณอนาลอก เพื่อแสดงผล ดังรูปที่ 2.3 ก)

ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) และ คเวิลโทม (Dwell Time) เป็นความถี่และเวลาที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณแต่ละจุด ถ้าความถี่ในการสุ่มตัวอย่างมีค่ามาก รูปสัญญาณที่ได้จะมีความละเอียดและใกล้เคียงกับสัญญาณอนาลอกมากขึ้น ดังรูปที่ 2.3 ข)



รูปที่ 2.3 ก) แสดงการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณอนาลอก

ข) แสดงรูปสัญญาณที่มีความถี่ในการสุ่มตัวอย่างเป็นสองเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรรพื้นฐานที่ใช้ในการวัดสัญญาณ

คลื่นไฟฟ้าบริเวณก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

3.1 วงจรขยายผลต่างแบบอินสตรูเมนเตชัน (Instrumentation Amplifier)

วงจรรขยายสัญญาณซึ่งมีประโยชน์มากที่สุด ในการวัดค่าต่าง ๆ ในเครื่องมือวัด และระบบควบคุมทั้งหลายคือ วงจรรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน ซึ่งอาจจะประกอบด้วยออปแอมป์ (Op amp) หลายตัว พร้อมกับตัวต้านทาน (Resistor) ค่าแน่นอนอีก ยังผลให้ได้วงจรรขยายสัญญาณซึ่งมีเสถียรภาพสูง มีประโยชน์มากในการวัดค่าต่าง ๆ ที่ต้องการความแน่นอนมาก

วงจรรขยายสัญญาณอีกแบบหนึ่ง ซึ่งจะมีคุณภาพคล้ายกับวงจรรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน คือวงจรรขยายผลต่างหรือดิฟแอมป์ (Diff.amp.) ซึ่งจากดิฟแอมป์ เราก็สามารถจะพิจารณาถึงวงจรรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน หรือ อินแอมป์ (In.amp.)ต่อไป

3.1.1 วงจรรขยายผลต่างขั้นมูลฐาน

คุณสมบัติบางประการสำคัญของดิฟแอมป์ คือ สามารถที่จะวัดหรือขยายสัญญาณระดับต่ำ ซึ่งจมอยู่ในสัญญาณรบกวนระดับสูงกว่าได้มาก

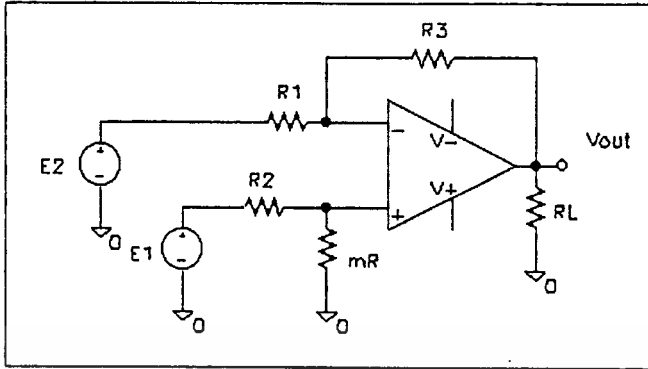
เราอาจจะสร้างดิฟแอมป์ได้จากออปแอมป์หนึ่งตัว และความต้านทานค่าแน่นอน (1%) อีก 4 ตัวได้ ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประกอบด้วย จุดสัญญาณเข้าสองจุด เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ (+) และ (-) โดยถือเอาขาสัญญาณเข้า (+) หรือ (-) ของออปแอมป์อันใกล้ที่สุดเป็นหลัก ถ้าเราลัดวงจรศักดาขาบวก ศักดาขาลบ จะกลายเป็นสัญญาณเข้าของวงจรรขยายศักดาสัญญาณแบบกลับศักดา ซึ่งจะมีค่าขยายเท่ากับ m นั่นคือศักดา

สัญญาณออกจะเป็น $-m$ เท่าของศักดาขาลบ แต่ถ้าเราลัดวงจรศักดาขาลบ เราจะได้ศักดาที่ขาสัญญาณเข้า (+) ของออปแอมป์เป็น $E_{1m}/(m+1)$ ซึ่งจะกลายเป็นศักดาสัญญาณเข้าของวงจรรขยายศักดาสัญญาณแบบไม่กลับศักดา และมีค่าขยายเท่ากับ $(m+1)$ ดังนั้น ศักดาสัญญาณออกจะมีค่าเป็น m เท่าของศักดาขาบวก นั่นคือค่าขยายสัญญาณจะเท่ากับ m ในกรณีที่ทั้งศักดาขาลบ และบวกมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ เราจะได้ศักดาสัญญาณออกเท่ากับ

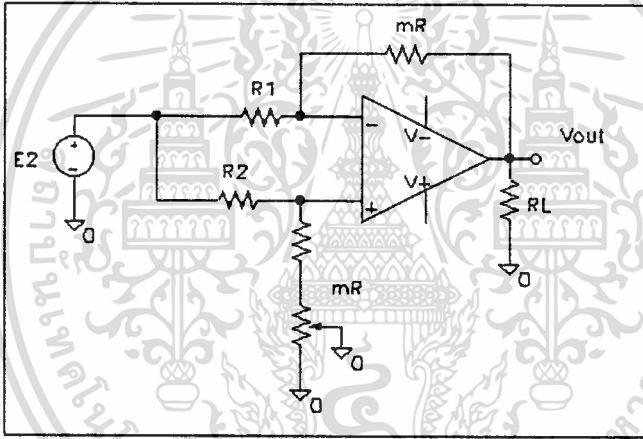
$$V_o = mE_1 - mE_2 = m(E_1 - E_2)$$

นั่นคือ ศักดาสัญญาณออกของดิฟแอมป์ จะมีค่าแปรผันโดยตรงกับผลต่างของศักดาสัญญาณเข้า ซึ่งจ่ายที่จุดสัญญาณเข้า (+) และ (-) ตัวคูณ m จะเรียกว่าค่าขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล จะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด (Differential Mode)



รูปที่ 3.2 ค่าขยายแบบคอมมอนโหมด (Common Mode) ควรจะเท่ากับศูนย์

3.1.2 สัญญาณแบบคอมมอนโหมด

สัญญาณออกของดิฟแอมป์ เมื่อสัญญาณเข้าทั้งสองมีค่าเท่ากันจะเท่ากับ ศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สัญญาณเข้าในลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่าเป็น สัญญาณเข้าแบบคอมมอน โหมด (Common-mode Input-voltage) สักคาสัญญาณออกจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วนของความต้านทานคู่บนและคู่ล่างเท่ากันพอดี ในทางปฏิบัติเราอาจจะปรับความคลาดเคลื่อนของ อัตราส่วนความต้านทานของทั้งคู่ได้ โดยการอาศัยความต้านทานปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับความต้านทาน mR ตัวใดตัวหนึ่ง ดังเช่นในรูปที่ 2.2 และควรจะปรับความต้านทานปรับค่าได้ จนกระทั่ง ได้ระดับสักคาสัญญาณออกเท่ากับศูนย์ให้มากที่สุด ดังนั้นค่าขยายสักคาคอมมอนโหมด ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ด้วย คุณสมบัติดังกล่าวนี้เป็นคุณสมบัติสำคัญของดิฟแอมป์ซึ่งจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเลือกขยายสัญญาณระดับต่ำ ซึ่งยังอยู่ในสัญญาณระดับสูงได้ ถ้าสัญญาณระดับต่ำที่ปรากฏที่จุดสัญญาณเข้าทั้งสองเป็นสัญญาณแบบคิฟเฟอร์นเซียลโหมค ส่วนสัญญาณระดับสูงเป็นแบบคอมมอนโหมค ซึ่งจะยังผลให้ศักดาสัญญาณออกเป็นค่าขยายของศักดาสัญญาณเข้าแบบคิฟเฟอร์นเซียลโหมค

3.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพของคิฟเฟอร์นเซียลโหมค

- การเพิ่มความต้านทานจุดสัญญาณเข้า

ข้อเสียใหญ่สองประการของวงจรคิฟเฟอร์นเซียลโหมค ซึ่งเราได้พิจารณามาแล้ว มีดังนี้คือ ประการแรกความต้านทานจุดสัญญาณเข้ามีค่าต่ำ และประการที่สองการเปลี่ยนค่าขยายศักดาสัญญาณทำได้ยาก ข้อเสียประการแรกอาจแก้ไขได้โดยการหน่วยความจำสำรอง (Buffer) จุดสัญญาณเข้า ทั้งสองด้วยวงจรตามสัญญาณ โดยอาศัยออปแอมป์สองตัว ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3 ก) ศักดาสัญญาณออกของออปแอมป์ตัวล่าง เมื่อเทียบกับกราว์นจะเท่ากับ E_1 ส่วนศักดาสัญญาณออกของออปแอมป์ตัวบน เมื่อเทียบกับกราว์นจะเท่ากับ E_2 สัญญาณออกแบบคิฟเฟอร์นเซียลจะตกคร่อม R_L นั่นคือศักดาตกคร่อม R_L หรือ V_o จะเท่ากับผลต่างของ E_1 และ E_2 ($V_o = E_1 - E_2$) จะสังเกตได้ว่า สัญญาณออกของคิฟเฟอร์นเซียลโหมคแบบมูลฐานมีลักษณะเป็นสัญญาณเดี่ยว นั่นคือด้านหนึ่งของ R_L ได้ต่ออยู่ ณ จุดกราว์นส่วนสัญญาณออกของวงจร ในรูปที่ 3.3 ก) ซึ่งลักษณะเป็นสัญญาณออกแบบคิฟเฟอร์นเซียล นั่นคือขาของ R_L จะไม่ต่อกับกราว์นเลยทั้งสองขาและ V_o จะเป็นศักดาคร่อม R_L นั่นคือจะเป็นศักดาที่วัดจากขาใดขาหนึ่งของ R_L เมื่อเทียบกับศักดาที่อีกขาหนึ่งของ R_L

- ค่าขยายปรับค่าได้

ข้อเสียประการที่สองของคิฟเฟอร์นเซียลโหมค คือการปรับค่าขยายจะทำได้ยาก ปัญหานี้อาจจะแก้ไขได้ง่าย โดยการเพิ่มความต้านทานอีก 3 ตัว กับคิฟเฟอร์นเซียลโหมคแบบบัฟเฟอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ข) ซึ่งจะได้คิฟเฟอร์นเซียลโหมคแบบความต้านทานจุดสัญญาณเข้าสูง พร้อมกับปรับค่าขยายจะกระทำได้ง่ายขึ้น

เนื่องจากสัญญาณเข้าแบบคิฟเฟอร์นเซียลของออปแอมป์ แต่ละตัวเท่ากับศูนย์ ดังนั้น ศักดาสัญญาณที่จุด 1 และ 2 จะเท่ากับ E_1 และ E_2 ตามลำดับ ยังผลให้ศักดาตกคร่อม aR เท่ากับ $E_1 - E_2$ ความต้านทาน aR จะเป็นความต้านทานปรับค่าได้ ใช้ในการปรับค่าขยาย กระแสไหลผ่าน aR เท่ากับ

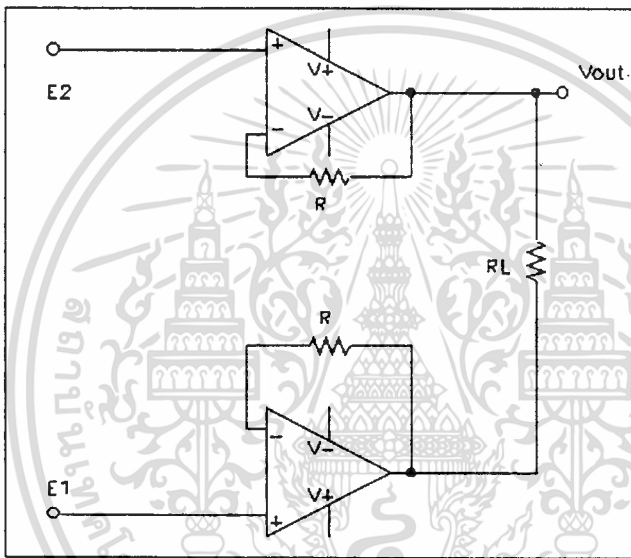
$$I = \frac{E_1 - E_2}{aR}$$

ทิศทางการไหลของกระแส I จะเป็นดังรูปที่ 3.3 ข) ระดับศักดา E_1 สูงกว่าระดับศักดา E_2 กระแส I ดังกล่าวนี้จะไหลผ่านความต้านทาน R ทั้งสองตัว ศักดาซึ่งตกคร่อมความต้านทานทั้งสามตัวจะกำหนดค่าของ V_o ซึ่งอาจจะเขียนได้เป็นสมการ

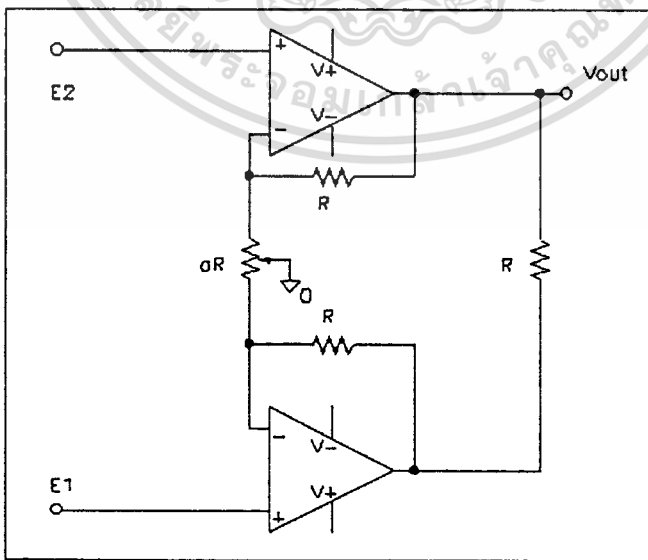
$$V_o = I \times (aR + 2R) = \left(\frac{E_1 - E_2}{aR} \right) \times (a + 2R)$$

ซึ่งจะเขียนต่อได้เป็น

$$V_o = \left(1 + \frac{2}{a} \right) \times (E_1 - E_2)$$



ก)



ข)

รูปที่ 3.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของคิฟแอมป์ขั้นมูลฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

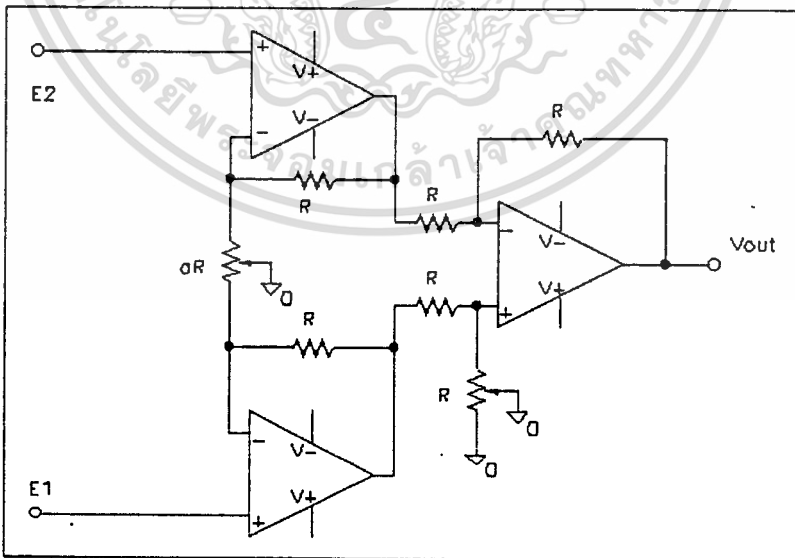
8.8 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสทรูเมนเตชัน

วงจรถ่ายโอนเป็นวงจรถ่ายขยายสัญญาณแบบซึ่งมีประโยชน์ มีความแน่นอน และใช้งานได้มากที่สุดแบบหนึ่งในปัจจุบัน เราอาจจะต่ออินแอมป์ได้จากออปแอมป์ 3 ตัว และความต้านทานอีก 7 ตัว ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรถ่ายโอนแบบ บัฟเฟอร์เป็นภาคแรก ตามด้วยคิฟแอมป์แบบสัญญาณออกเดี่ยวเป็นภาคที่สอง ออปแอมป์ A_3 และความต้านทาน R อีก 4 ตัว จะทำหน้าที่เป็นคิฟแอมป์แบบมีค่าขยายสัญญาณ คิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับหนึ่ง ความต้านทาน R จะเป็นแบบปรับค่าได้เพื่อที่จะได้รับค่าขยาย คอมมอนโหมดให้เท่ากับศูนย์ ส่วนค่าขยายจะปรับได้โดยอาศัยความต้านทานปรับค่าได้ aR ยัง ผลให้ค่าขยายสัปดาห์สัญญาณเท่ากับ

$$\frac{V_o}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{2}{a}$$

คุณสมบัติของอินแอมป์จะสรุปได้ดังนี้ คือ

1. ค่าขยายสัปดาห์สัญญาณจากสัญญาณเข้าแบบคิฟเฟอเรนเชียลไปเป็นสัญญาณออกเดี่ยว จะถูกกำหนด โดยความต้านทานเพียงตัวเดียว
2. ค่าความต้านทานจุดสัญญาณเข้าสูงมาก และไม่เปลี่ยน ไปตามค่าขยายสัปดาห์สัญญาณ
3. V_o จะไม่ขึ้นกับสัญญาณเข้าส่วนที่เป็นสัญญาณคอมมอนโหมดของ E_1 และ E_2 แต่จะขึ้นกับผลต่างของ E_1 และ E_2 เท่านั้น



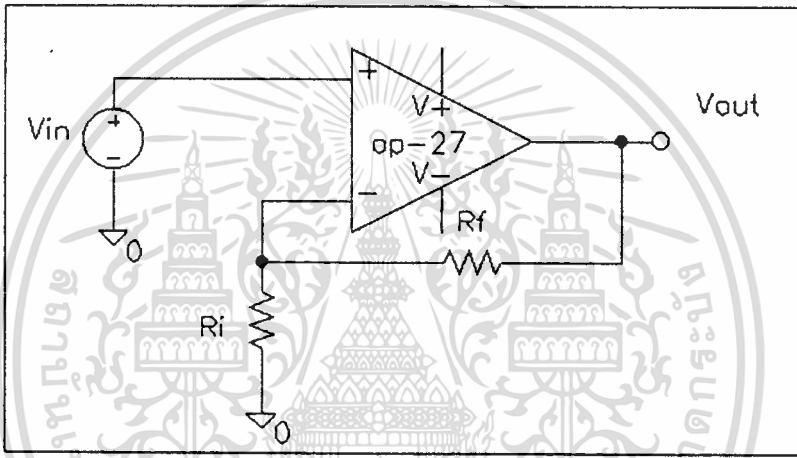
รูปที่ 3.4 วงจรถ่ายขยายสัญญาณแบบอินสทรูเมนเตชัน



ในโครงการนี้เราจะใช้วงจรขยายแบบอินสทรูเมนเตชัน เป็นวงจรส่วนแรก
ของ วงจรขยายเพื่อใช้ขยายสัญญาณขาเข้า (input)

3.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรขยายเป็นวงจรที่รับสัญญาณขนาดเล็ก เพื่อขยายให้ได้ขนาดใหญ่ขึ้น
โดยมีลักษณะเป็นอัตราขยายแบบอัตราคงที่ (linear gain) คือ สัญญาณที่ได้ออกมาจะขึ้นอยู่กับ
สัญญาณที่ป้อนเข้าไป



รูปที่ 3.5 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

เราสามารถใช้ออปแอมป์เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสได้ โดยต่อวงจรดังรูป
ที่ 3.5 จากรูป จะต้องมีการป้อนกลับทางลบ (negative feedback) สำหรับปรับอัตราขยายต่อเข้า
กับขาสัญญาณเข้าลบ (input (-)) เสมอ (ถ้าไม่มีอาจทำให้ออปแอมป์เกิดการออสซิลเลทได้)
ขณะที่ V_{in} จะป้อนเข้าขาสัญญาณเข้าบวก (input (+)) สัญญาณที่ได้ออกมาจะมีเฟส (phase) เดียว
กับสัญญาณที่ป้อนเข้าไป

อัตราส่วนของค่าความต้านทานในวงปิด (closed - loop) ทำให้เกิดสัญญาณ
ป้อนกลับที่ขาสัญญาณเข้าลบ " V_A " ในกรณีนี้ถือว่าเป็นออปแอมป์อุดมคติ (Ideal Op amp)
คือ ความต้านทานขาเข้าเป็นอนันต์ (infinity) และ ความต้านทานขาออก (output impedance)
เป็น 0 จะได้ว่าศักย์ไฟฟ้า (voltage) ที่ขาสัญญาณเข้าลบ เท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ขาสัญญาณเข้าบวก
จะได้ว่า

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_A} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

จากวงปิด สามารถหาได้ว่า

$$V_A = \frac{R_f}{R_f + R_i} \times V_{out}$$

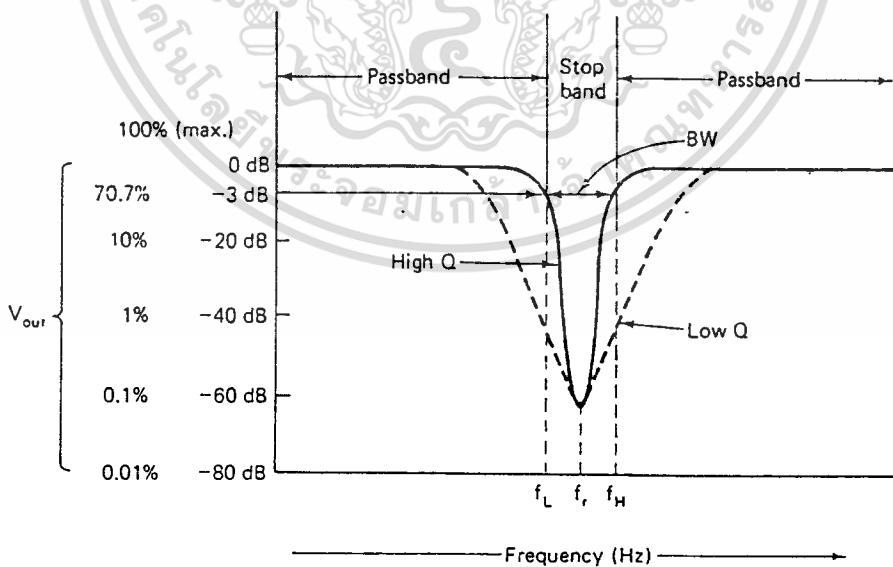
ดังนั้น

$$\frac{V_{out}}{V_A} = \frac{R_f + R_i}{R_i} = \frac{R_f}{R_i} + 1$$

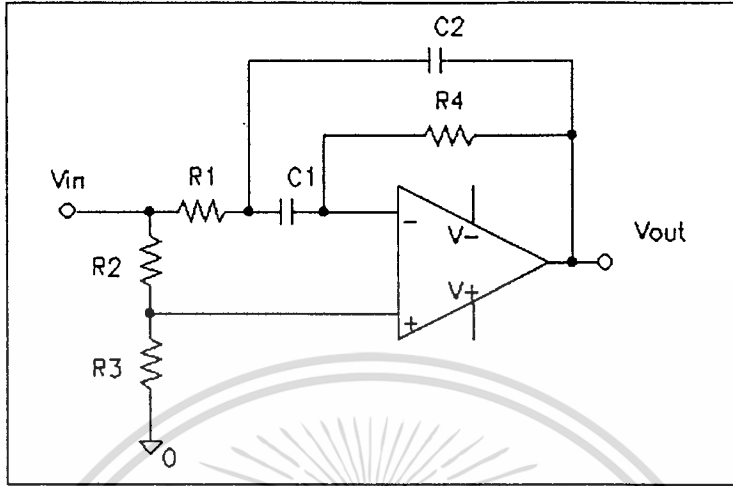
3.5 วงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียวแบบแอกทีฟ

(Active Notch Filter or Narrow Band-Reject Filter)

วงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียวเป็นวงจรไม่ผ่านสัญญาณเฉพาะความถี่ (Band Reject Filter) ชนิดหนึ่งที่กำลังความถี่ที่ไม่ต้องการเพียงความถี่เดียว ตัวอย่างเช่น ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ในสายส่งเป็นต้น รูปที่ 3.6 แสดงผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของวงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียวที่ความถี่เดียวกันแต่มีค่า Q ต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.6 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียว ระเบียบข้อดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



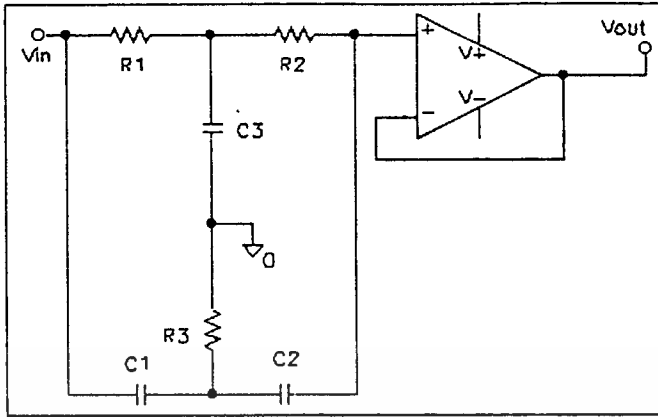
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียวแบบแอคทีฟ อย่างง่าย

วงจรไม่ผ่านสัญญาณความถี่เดียวอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งสามารถหาค่าความถี่ที่ไม่ต้องการได้จาก

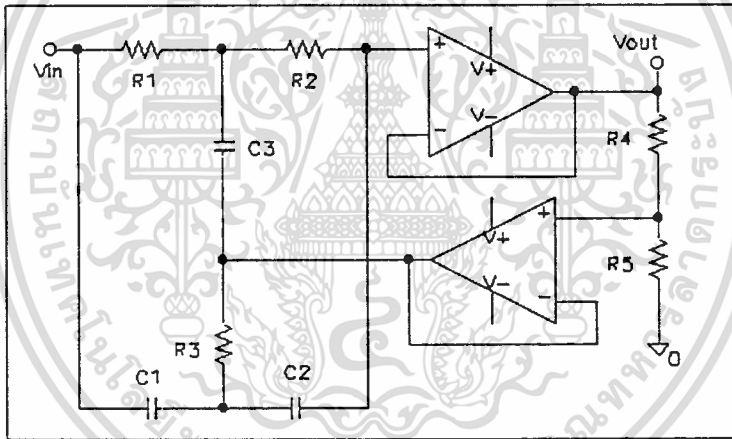
$$f_r = \frac{1}{2\pi R_1 R_4 C_1 C_2}$$

โดยมี R_2 , R_3 เป็นตัวแบ่ง V_{in} เพื่อเป็นออปแอมป์ เมื่อความถี่อินพุตต่ำกว่า f_r ค่าความต้านทาน (Reactance) ของตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะมีค่ามาก จึงมีการป้อนกลับ น้อย สัญญาณที่ได้ออกมาจะมีค่ามากที่สุด เมื่อความถี่อินพุตประมาณ f_r ค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทาน ทำให้สัญญาณที่ได้ออกมาลดลง และเมื่อความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าไป เพิ่มขึ้นมากกว่า f_r ทำให้มีการป้อนกลับประมาณ 1 ทำให้อัตราขยายมีค่าประมาณ 1

วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวแบบแอคทีฟที่นิยมใช้คือ วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวแบบแอคทีฟโดยใช้การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ แบบทวินที (Active RC Twin-T Notch Filter) ดังรูปที่ 3.8



- ก) วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวโดยใช้การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบบทวินทีอย่างง่าย (Basic Twin-T Notch Filter)



- ข) วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวโดยใช้การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบบทวินทีที่มีค่า Q สูง (High Q Twin - T Notch Filter)

รูปที่ 3.8 แสดงวงจรไม่ผ่านความถี่เดียวโดยใช้การต่อความต้านทานและตัวเก็บประจุแบบทวินที

ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน , ตัวเก็บประจุ และออปแอมป์ที่ต่อแบบอัตราขยายเท่ากับ 1 (Unity Gain Op-Amp) โดยที่

$$R_3 = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2} \text{ และ } C_3 = 2C_1 = 2C_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 ก) R_3 และ C_3 ต่อลงกราวด์ ออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นเพียงหน่วยความจำสำรอง ทำให้วงจรที่มีค่า Q ต่ำมาก (น้อยกว่า 1) แต่จากวงจรรูปที่ 3.8 b) R_3 และ C_3 ต่อเข้ากับจุดสัญญาณออกของออปแอมป์ โดยไม่ต้องต่อลงกราวด์ จะทำให้ค่า Q สูงขึ้นเป็น 50 ทำให้ได้กราฟที่มีความชันมากขึ้น

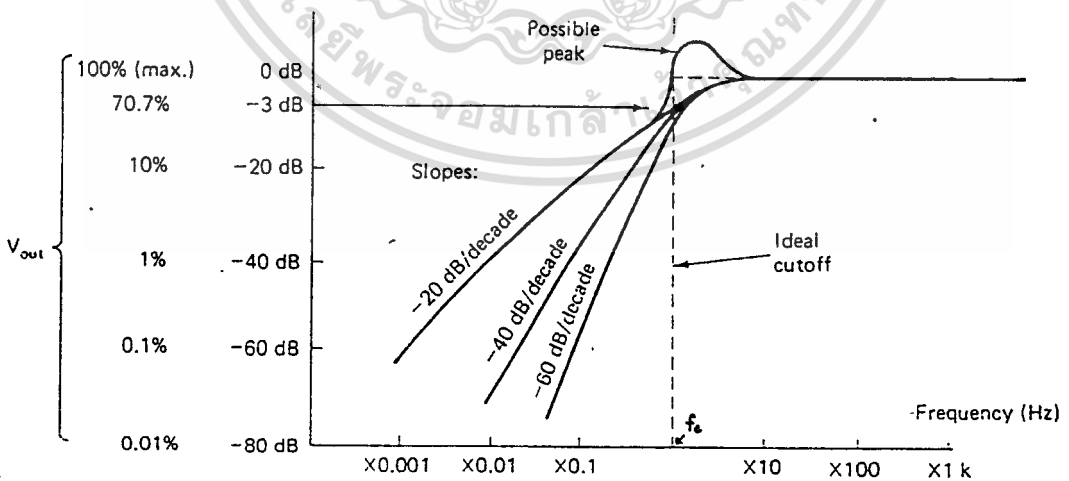
ในการใช้งานที่ความถี่ต่ำ ๆ ควรใช้ค่าความต้านทานสูง ๆ และค่าความจุไฟฟ้าต่ำ ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่า 1 เฮิรตซ์ โดยสามารถหาค่าความถี่ที่ไม่ต้องการได้จาก

$$f_r = \frac{1}{2\pi RC}$$

เมื่อ $R = R_1 = R_2 = 2R_3$ และ $C = C_1 = C_2 = \frac{C_3}{2}$

3.6 วงจรความถี่สูงผ่านแบบแอคทีฟ (Active High - Pass Filter)

วงจรความถี่สูงผ่านมีลักษณะตรงข้ามกับวงจรความถี่ต่ำผ่าน คือ จะลดทอนสัญญาณทุก ๆ ความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่คัทออฟ (f_c) และจะผ่านสัญญาณทุก ๆ ความถี่ที่สูงกว่า f_c รูปที่ 3.9 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรความถี่สูงผ่าน โดยที่ f_c เป็นความถี่ที่สัญญาณที่ได้ออกมา มีค่า 70.7 % หรือ -3 เดซิเบล จากสัญญาณที่ได้ออกมาที่มากที่สุด และ ความชันที่แตกต่างกัน จะขึ้นอยู่กับกรอกแบบวงจร

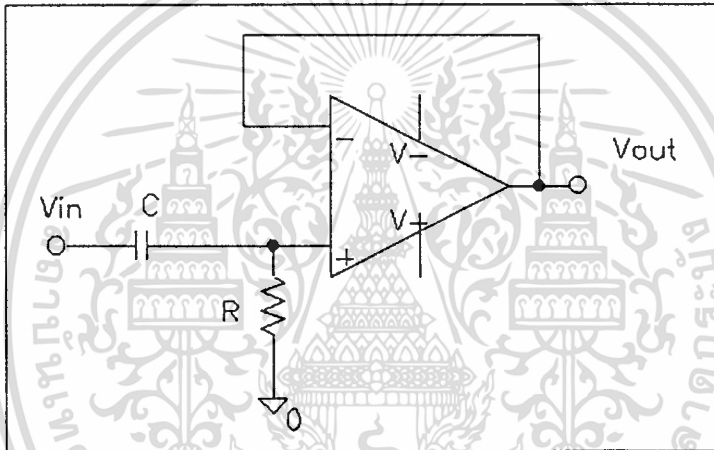


รูปที่ 3.9 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรความถี่สูงผ่าน

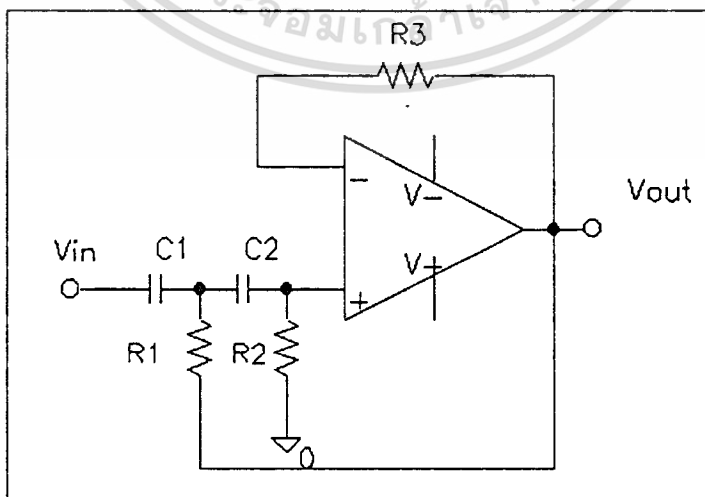
วงจรความถี่สูงผ่านสามารถสร้างได้จากการเปลี่ยนตัวต้านทาน เป็นตัวเก็บประจุ และเปลี่ยนตัวเก็บประจุ เป็นตัวต้านทาน ในวงจรความถี่ต่ำผ่าน รูปที่ 3.10 แสดงวงจรไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สูงผ่านอย่างง่าย โดยป้อน V_{in} เข้าขาสัญญาณเข้าบวก ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน ต่อแบบ แบ่งศักย์ไฟฟ้า (voltage divider) เมื่อ V_{in} มีความถี่ต่ำกว่า f_c ค่าความต้านทานของ ตัวเก็บประจุ จะมาก V_{in} จะตกคร่อมตัวเก็บประจุมาก และตกคร่อมตัวต้านทานน้อย ทำให้ V_{out} มีค่าต่ำ แต่เมื่อความถี่ของ V_{in} เพิ่มขึ้นมากกว่า f_c ค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุ จะน้อย ทำให้ V_{in} ตกคร่อมตัวเก็บประจุน้อย และตกคร่อมตัวต้านทานมาก V_{out} ที่ได้จะมี ค่าสูง วงจรแบบนี้จะมีความชันประมาณ -20 dB / Decade และสามารถคำนวณค่า f_c ได้จาก

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



รูปที่ 3.10 วงจรความถี่สูงผ่านอย่างง่าย



รูปที่ 3.11 วงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2 (2nd High - Pass Filter)

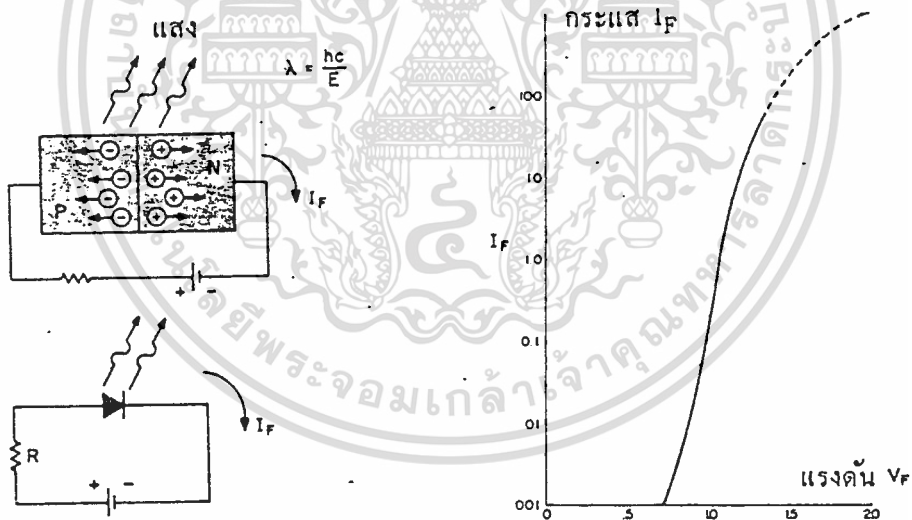
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2 ซึ่งวงจรแบบนี้จะมีความชันประมาณ -40 dB/Decade โดยจะต้องออกแบบให้ $C_1 = C_2$ และ $R_2 = R_3 = 2R_1$ ค่าความต้านทานของ C_1 และ C_2 จะมีค่าเท่ากันและมีผลในวงจรเช่นเดียวกับ วงจรความถี่สูงผ่านอย่างง่ายในรูปที่ 3.10 ส่วน R_1 เป็นตัวป้อนกลับ โดยต่อกับจุดเชื่อมระหว่าง C_1 กับ C_2 เพื่อทำให้เกิดการลดทอนเป็น 2 เท่า ค่า f_c สามารถคำนวณได้จาก

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

3.7 การแยกวงจรทางไฟฟ้า (Electrical Isolation)

3.7.1 ไดโอดเปล่งแสง (LED)

ไดโอดเปล่งแสงสามารถเปล่งคลื่นแสงออกมา โดยจะให้กำเนิดแสงเมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวมันที่บริเวณรอยต่อของเนื้อสารพี-เอ็น (P-N Junction) ซึ่งเป็นผลทำให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและมันจะคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแสง



รูปที่ 3.12 แสดงการไบแอสตรงของไดโอดเปล่งแสง และลักษณะการเกิดแสง

จากรูปที่ 3.12 อธิบายหลักการได้ว่า เมื่อให้แรงดันไบแอสตรง (Forward Bias) ด้วยแรงดันไฟตรงต่ำ ๆ กระแสไบแอสตรงคือ อิเล็กตรอนจะไหลผ่านรอยต่อจาก N ไปยัง P และโฮลไหลไปยังส่วน N และจะรวมกับพาหะข้างน้อย เป็นผลทำให้เกิดการรวมตัว (Recombination) และจะปล่อยพลังงานออกมาเป็นแสงและความร้อน ความถี่แสงปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับแถบพลังงานช่องว่างของวัสดุที่ใช้ทำเป็น ไดโอดเปล่งแสงนั้น

คุณสมบัติทั่วไปของไดโอดเปล่งแสงเหมือนกับของไดโอด โดยขณะไบแอสตรง มันจะให้กระแสไหลผ่านได้และจะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันมีค่าประมาณ $0.6 - 1$ โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Volt) และในขณะที่ไบแอสกลับจะมีค่าแรงดันพียงหลายที่ต่ำกว่าไดโอดธรรมดา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของไดโอดเปล่งแสงมีมากมายเช่น อุปกรณ์ภาคแสดงผลของเครื่องคิดเลข เครื่องมือวัด นอกจากนี้ยังนำไปเป็นตัวส่งสัญญาณ โดยอาศัยหลักการเชื่อมต่อด้วยแสงดังจะกล่าวถึงต่อไป

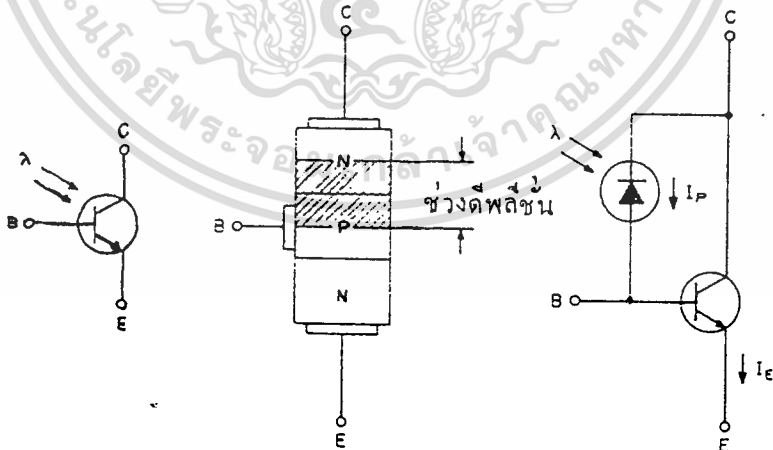
3.7.2 อุปกรณ์รับแสง

หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้แปรค่ากับค่าของพลังงานทางไฟฟ้าได้ โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทรานซิสเตอร์รับแสง (Photo Transistor)

1) ทรานซิสเตอร์รับแสง

ทรานซิสเตอร์รับแสงอาศัยหลักการคือ เมื่อป้อนพลังงานอย่างเพียงพอให้กับวาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valance Electron) ของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เกิดการแตกตัวของโฮล (Hole) และอิเล็กตรอน (Electron) เกิดขึ้นมากมาพลังงานที่จะทำให้โฮลและอิเล็กตรอนแตกตัวนี้จะต้องเป็นพลังงานที่มาจากภายนอก เช่น แสง ความร้อน ปริมาณของพลังงานที่ต้องการทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอน-โฮล จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารนั้น ๆ

ในภาวะปกติของการใช้งาน รอยต่อระหว่างเบส-อิมิตเตอร์ (Base - Emitter Junction) จะต่อไบแอสตรง ส่วนรอยต่อระหว่างเบส-คอลเลกเตอร์ (Base - Collector Junction) จะต่อไบแอสกลับ (Reverse Bias) ที่รอยต่อนี้เอง เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการแปรค่ากระแสที่ขึ้นกับแสง



รูปที่ 3.13 แสดงสัญลักษณ์โครงสร้างของทรานซิสเตอร์รับแสง

เมื่อไบแอสกลับที่รอยต่อระหว่างเบส-คอลเลกเตอร์และมีแสงฉายมาที่บริเวณรอย

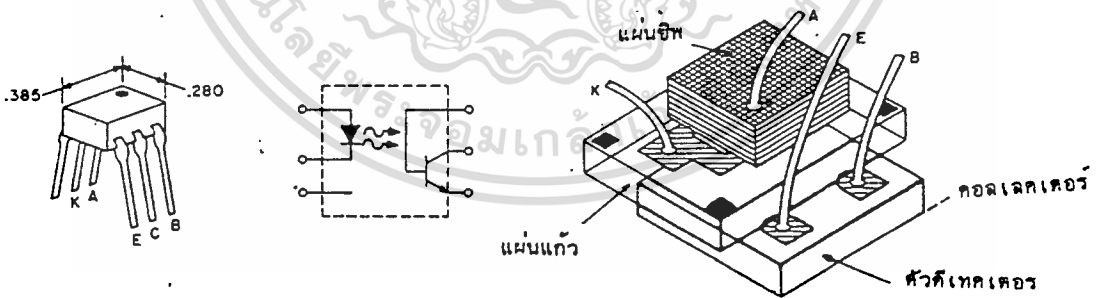
ต่อกระแสเบสจะถูกขยายด้วยอัตราขยายของทรานซิสเตอร์เป็นกระแสอิมิตเตอร์ ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง (Opto-isolator)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นแสง และจากแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีสายเชื่อมโยงต่อระหว่างวงจร อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสงประกอบด้วยไดโอดเปล่งแสงอย่างน้อย 1 ตัว คู่กับทรานซิสเตอร์รับแสง เป็นการส่งผ่านสัญญาณทางเดียวโดยข้ามช่องว่าง ทำให้ไม่มีผลกระทบกับวงจรอินพุท ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญ เนื่องจากไดโอดเปล่งแสงจะถูกขับโดยศักย์ไฟฟ้าต่ำ ส่วนทรานซิสเตอร์รับแสงจะเป็นส่วนของศักย์ไฟฟ้าสูง หรือสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ อุปกรณ์นี้ป้องกันผลกระทบ หรือความเสียหายให้กับวงจรอินพุทที่เกิดจากวงจรเอาท์พุท อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสงนิยมใช้แบบ 6 ขา โดยขา 1 และ 2 ต่อกับไดโอดเปล่งแสง ขา 4, 5 และ 6 ต่อกับทรานซิสเตอร์รับแสง ระหว่างไดโอดเปล่งแสงกับทรานซิสเตอร์รับแสง เป็นวัสดุที่แสงและอินฟราเรด (infrared) สามารถผ่านได้ และมีแรงดันพังทลาย (Breakdown) สูง

แรงดันระหว่างอุปกรณ์คือ ตัวปล่อยแสงและตัวรับแสงจะมากขึ้นกับระยะระหว่างตัวปล่อยแสงและตัวรับแสง ระยะยิ่งห่างกันมากแรงดันพังทลาย จะมีค่าสูงแต่ข้อเสียคือ อัตราการส่งผ่านสัญญาณจะน้อยจึงต้องจัดระยะห่างให้ดีที่สุด ในกรณีแบบขา 2 แกวคู่ ฉนวนควรจะใช้แก้วจะทนแรงดันไฟระหว่างตัวอุปกรณ์ได้ถึง 5,000 โวลต์



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง และสัญลักษณ์

โดยจะนำวงจรอุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง ไปใช้เป็นส่วนเอาท์พุท เพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วย จากอันตรายของกระแสไฟฟ้า ในกรณีวงจรเกิดการผิดพลาดขึ้น

บทที่ 4

การทำงานของวงจร

4.1 การทำงานของวงจรขยาย

วงจรประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ คือ วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1000 เท่า วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสซึ่งมีอัตราขยาย 200 เท่า วงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2 วงจรไม่ผ่านความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ และอุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง ดังรูปที่ 4.5 โดยแต่ละส่วนมีหลักการการทำงานที่สำคัญดังนี้

- วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัวคือ IC₁-IC₃ และตัวต้านทาน 7 ตัวคือ R₇-R₁₃ และ (R₁₂+VR₂) IC₁, IC₂ และ R₇-R₉ เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส 2 วงจร โดยมี R₃-R₆ เป็นตัวแบ่งศักดาไฟฟ้าอินพุตให้กับวงจรรวม (Integrated Circuit - IC) ทั้ง 2 ตัว และ VR₁ เป็นตัวปรับออฟเซต (offset Voltage) ของออปแอมป์ทั้ง 2 ตัว เอาท์พุทจาก IC₁ และ IC₂ จะถูกขยายและส่งไปที่วงจรขยายผลต่างที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 (Unity Gain Differential Amplifier) ซึ่งประกอบด้วย IC₃, R₁₀-R₁₃ และมี VR₂ เป็นตัวปรับเพื่อให้กำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้น

- วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสประกอบด้วยออปแอมป์ 1 ตัว คือ IC₄ ตัวต้านทาน 2 ตัว คือ R₁₆, R₁₇ และตัวเก็บประจุ 1 ตัว คือ C₅ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน

- วงจรความถี่สูงผ่านประกอบด้วยออปแอมป์ 1 ตัวคือ IC₅ ตัวต้านทาน 3 ตัวคือ R₁₈-R₂₀ และ ตัวเก็บประจุ 2 ตัวคือ C₆, C₇ ต่อเป็นวงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2 ทำหน้าที่กรองไม่ให้ความถี่ต่ำกว่า 100 เฮิร์ตซ์ผ่าน

- วงจรไม่ผ่านความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ประกอบด้วย R₂₁-R₂₈, C₈-C₁₁ และ ออปแอมป์ (IC-6a) วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวแบบแอกทีฟโดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อแบบทวินิตี ทำหน้าที่กรองความถี่ที่ไม่ต้องการคือ 50 เฮิร์ตซ์ออกไป และเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น จึงต่อแบบป้อนกลับ โดยผ่าน IC6b) ที่มี R₂₇ และ R₂₈ เป็นตัวแบ่งศักดาไฟฟ้าดังนั้นจึงเลือกใช้ออปแอมป์คู่ (Dual Op-Amp) เบอร์ LM358

- วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวแบบแอกทีฟ โดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อแบบทวินิตี เหมาะจะใช้กับความถี่ต่ำ ไม่เกิน 1 กิโลเฮิร์ตซ์ และในกรณีที่ใช้กับความถี่ต่ำ ๆ เช่น 50 เฮิร์ตซ์ มักจะใช้ตัวต้านทานค่าสูง ๆ และตัวเก็บประจุค่าต่ำ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง วงจรนี้เป็นส่วนที่ต่อกับอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอยู่ติดกับร่างกายคนดังนั้น วงจรสุดท้ายจึงใช้อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสงเป็นเอาร์ทพุท เพื่อความปลอดภัย เนื่องจากใช้ไดโอดเปล่งแสงแบบอินฟราเรดเป็นตัวส่ง และทรานซิสเตอร์รับแสงเป็นตัวรับสัญญาณ ซึ่งเป็นวงจรที่แยกออกจากกัน จึงไม่มีโอกาสที่จะมีการลัดวงจรจากส่วนอื่น ๆ กลับเข้ามาในวงจรนี้ได้ อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง ที่ใช้คือเบอร์ H11D2 โดยมี IC₅(ออปแอมป์แบบ CMOS เบอร์ TLC251) เป็นตัวส่งผ่านสัญญาณที่ออกจากวงจรไม่ผ่านความถี่เดียว ให้อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง

4.2 การคำนวณ

- การคำนวณอัตราขยาย ของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน (รูปที่ 4.1)

$$A_v = \frac{R_a + 2R_b}{R_a}$$

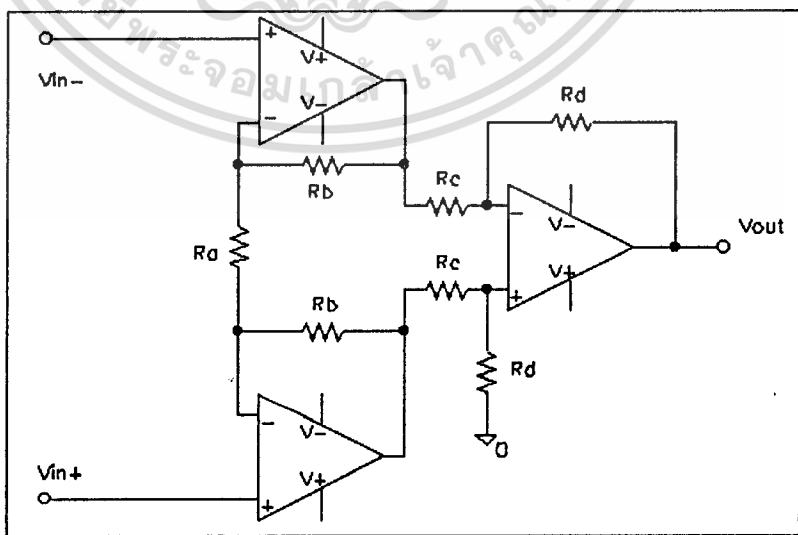
จากวงจร

$R_1=R_7= 1$ กิโลโห์ม , $R_6=R_8=R_9= 560$ กิโลโห์ม

ดังนั้นคำนวณหาอัตราขยาย ได้ดังนี้

$$A_v = \frac{1K + (2 \times 560K)}{1K}$$

$$= 1121 \text{ (ประมาณ 1000 เท่า)}$$



รูปที่ 4.1 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณหาความถี่ที่ไม่ต้องการของวงจรไม่ผ่านความถี่เดียวแบบทวินที่ (รูปที่ 4.2)

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

โดย $R=R_1=R_2=2R_3$ และ $C=C_1=C_2=(1/2)C_3$ ดังรูปที่ 4.2

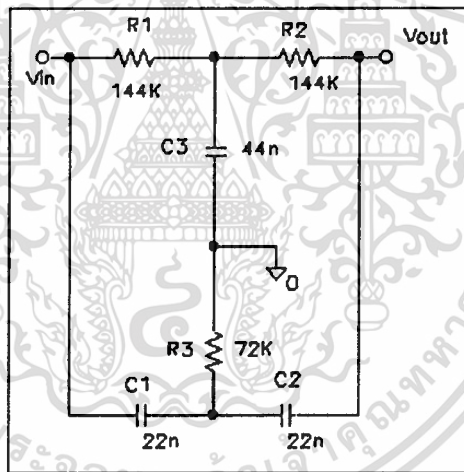
จากวงจร

$$R = \frac{(180K \times 120K)}{(180K + 120K)} = 144Kohm, \quad C = 22nF$$

ดังนั้น

$$f = \frac{1}{2\pi \times 144K \times 22n}$$

$$= 50.238Hz \approx 50Hz$$



รูปที่ 4.2 วงจรไม่ผ่านความถี่เดียวแบบทวินที่

- การคำนวณอัตราขยาย ของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (รูปที่ 4.3)

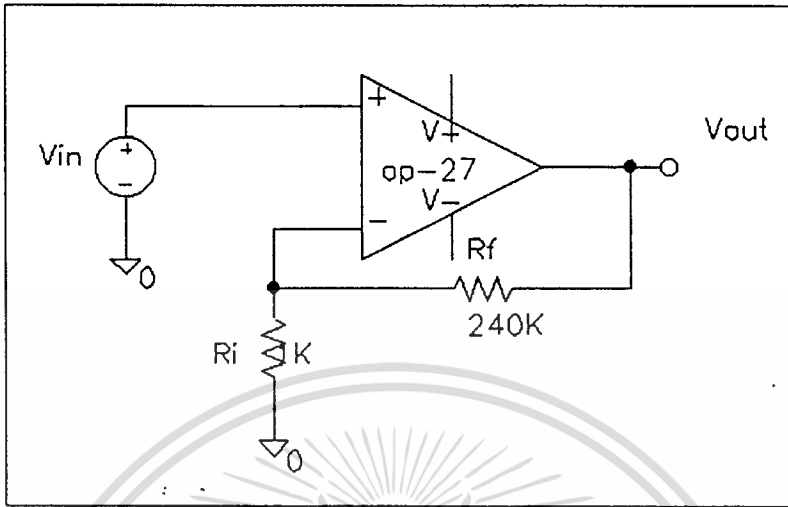
$$A_v = \frac{R_f}{R_i} + 1$$

จากวงจร $R_f = 240$ กิโลโห์ม , $R_i = 1$ กิโลโห์ม

ดังนั้น คำนวณหาอัตราขยาย ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{240K}{1K} + 1 \\ &= 241 \quad \text{เท่า} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

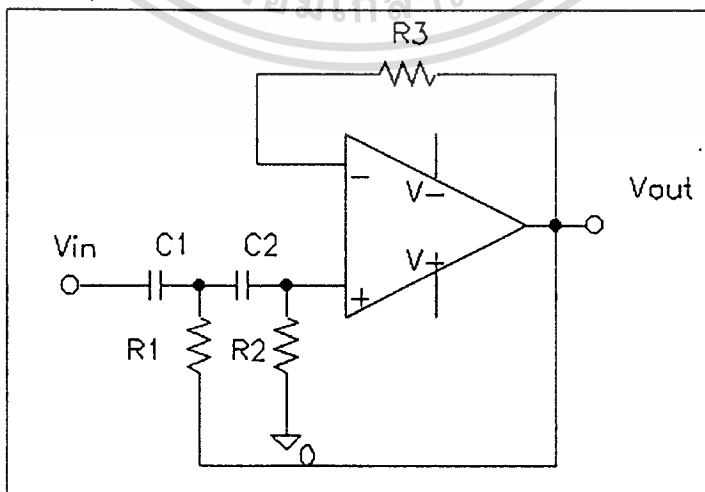
- การคำนวณความถี่คัทออฟ ของวงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2 (รูปที่ 4.4)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

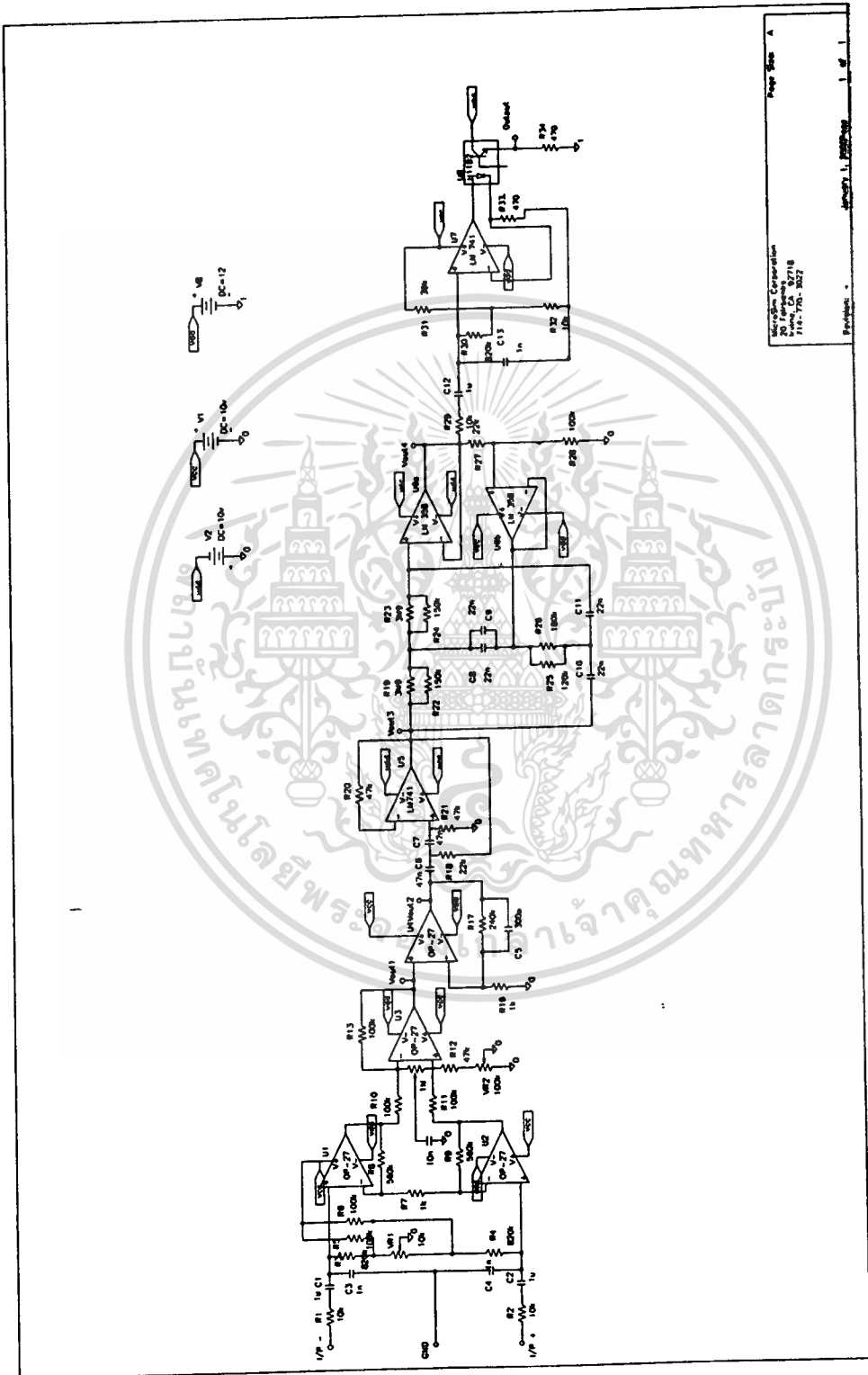
จากวงจร $C_1 = C_2 = 47$ นาโนฟารัด , $R_1 = 22$ กิโลโอห์ม , $R_2 = 47$ กิโลโอห์ม

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{22K \times 47K \times (47n)^2}}$$

$$= 105Hz$$

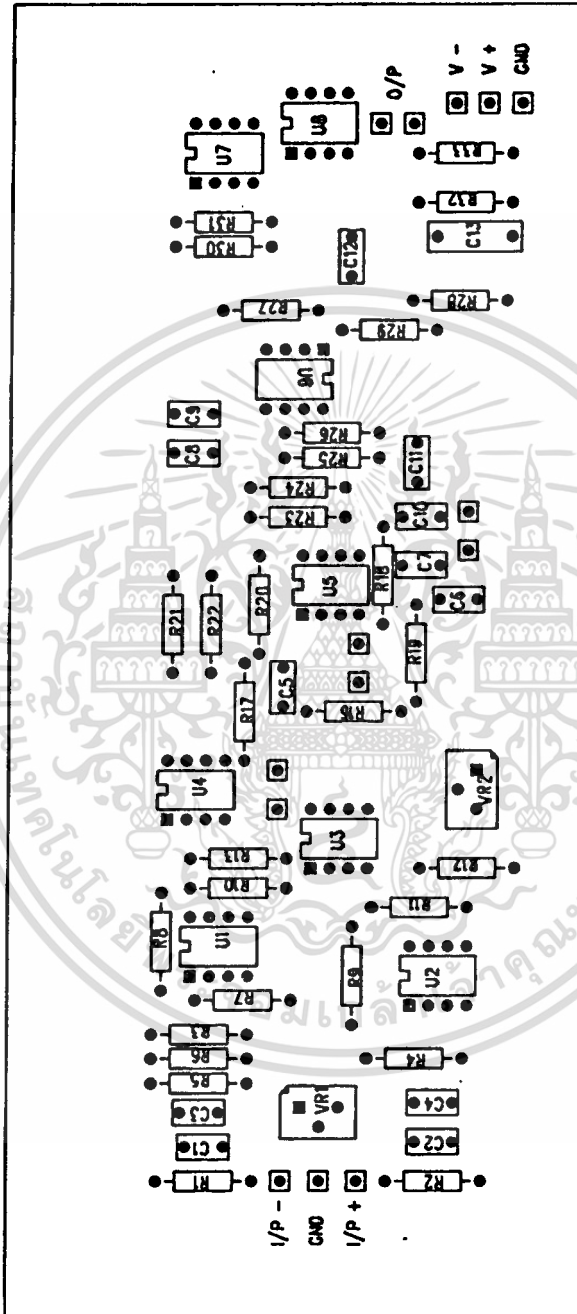


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.4 วงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

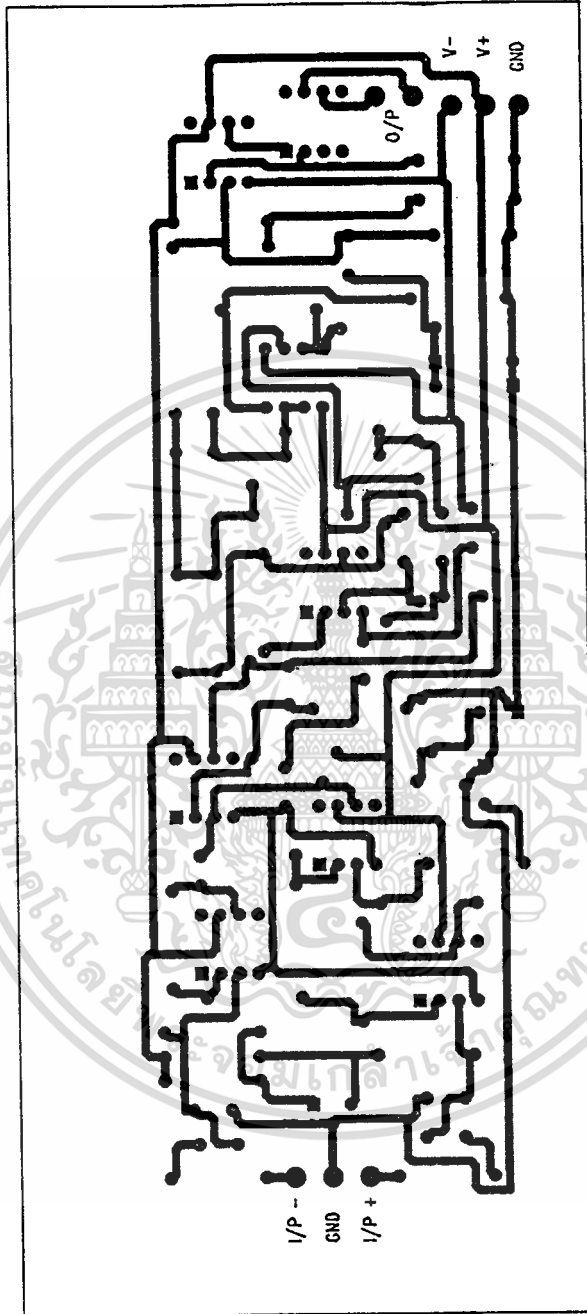


Page Size A
 Microfilm Corporation
 300 North Zeeb Road
 Ann Arbor, MI 48106
 734-770-3027
 Reproduction -
 January 1, 2005/200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา **รูปที่ 4.5** วงจรขยายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.6 รูปแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ ม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปแสดงลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

OP-27C	4 ตัว
LM358	1 ตัว
LM 741	2 ตัว
H11D2	1 ตัว
ไดโอด เบอร์ 1N4148	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด	3 ตัว
ตัวเก็บประจุ 47 นาโนฟารัด	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ 22 นาโนฟารัด	4 ตัว
ตัวเก็บประจุ 10 นาโนฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ 1 นาโนฟารัด	3 ตัว
ตัวเก็บประจุ 300 พิโคฟารัด	1 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 1 เมกกะโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน 3.9 เมกกะโอห์ม	2 ตัว
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	4 ตัว
ตัวต้านทาน 820 กิโลโอห์ม	3 ตัว
ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	2 ตัว
ตัวต้านทาน 560 กิโลโอห์ม	2 ตัว
ตัวต้านทาน 47 กิโลโอห์ม	3 ตัว
ตัวต้านทาน 240 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน 150 กิโลโอห์ม	2 ตัว
ตัวต้านทาน 120 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน 180 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน 22 กิโลโอห์ม	2 ตัว
ตัวต้านทาน 39 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน 470 โอห์ม	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

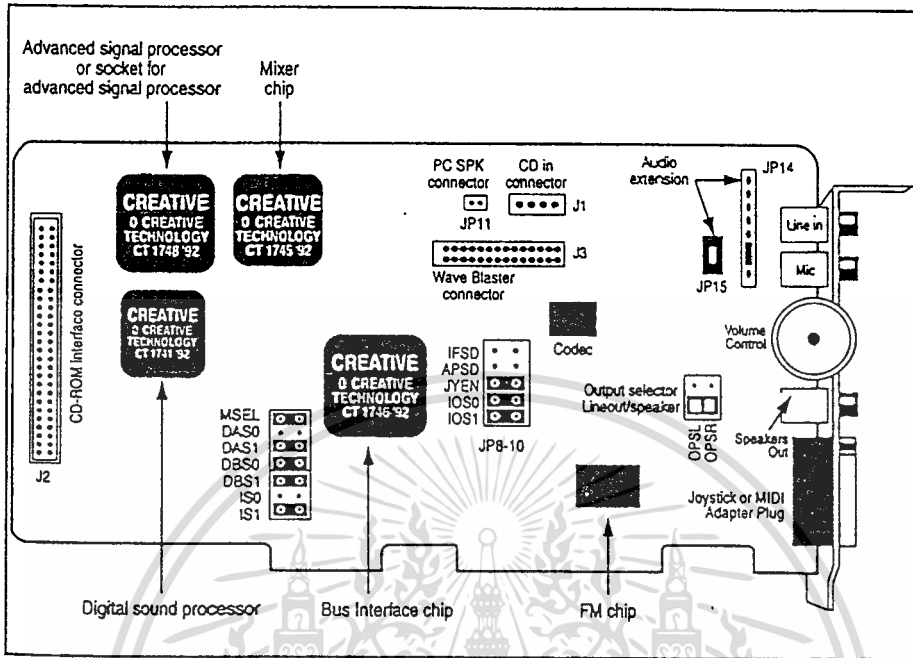
การ์ดเสียง (Sound Card)

การ์ดเสียงใช้สำหรับทำงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแฟ้มข้อมูลเสียง (Sound File) ในโครงการนี้ ได้เลือกใช้ Sound Blaster 16 และได้ทำการเขียนโปรแกรมภาษาซีสร้างเสียงแบบโมโน (Mono) 8 บิต (Bits) ที่ความดังต่าง ๆ ซึ่งวัดระดับความดังด้วยเครื่องวัดระดับความดังของเสียง (Sound Level Meter) แล้วทำการตัดต่อแฟ้มข้อมูล (Edit File) ให้ได้รูปแบบตามต้องการ (โทนเบิร์ตซ์) โดยใช้โปรแกรม Gold Wave ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ (Application) ของการ์ดเสียง จากนั้นเขียนส่วนหัวของแฟ้มข้อมูล (Header) เพื่อทำให้เป็นแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC (Voice File) และเขียนโปรแกรมควบคุมการเล่นแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC จากแผ่นดิสก์ โดยใช้การ์ดเสียง

5.1 Sound Blaster 16 (SB16)

การ์ด Sound Blaster 16 ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.1 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Sound Processor (DSP) Chip)
2. อุปกรณ์สังเคราะห์สัญญาณเอฟเอ็ม (FM Synthesizer Chip)
3. อุปกรณ์มิกเซอร์ (Mixer Chip)
4. อุปกรณ์การเชื่อมต่อกับบัส (Bus Interface Chip)
5. อุปกรณ์การเข้ารหัสและถอดรหัส (CODEC)



รูปที่ 5.1 แสดงส่วนต่างๆ ของการ์ด Sound Blaster 16

- อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

เป็นวงจรรวมเบอร์ CT 1741 ซึ่งใช้เป็นส่วนกลางการควบคุม SB16 โดยเป็นตัวแปลคำสั่งทั้งหมดที่ส่งมาให้ SB16 และควบคุมอุปกรณ์เกี่ยวกับเสียงอื่น ๆ บนการ์ด

- อุปกรณ์สังเคราะห์สัญญาณเอฟเอ็ม

เป็นวงจรรวมเบอร์ OPL 3 ของ YAMAHA ซึ่งสามารถปฏิบัติการได้สูงสุดถึง 4 โอเปอเรชั่น (four - operator) และสามารถสร้างเสียงได้สูงสุดถึง 20 เสียงในระบบเอฟเอ็มสเตอริโอ (Voice Stereo FM Sound) โดยจะสร้างเสียงดนตรี (Melodies) ได้ 15 เสียง และเสียงจังหวะ (Percussion) 5 เสียง ใน 2 โหมดการทำงาน (operation mode) แต่จะสร้างเสียงดนตรี (Melodies) ได้ 6 เสียง และเสียงจังหวะ (Percussion) 5 เสียง ใน 4 โหมดการทำงาน (operation mode)

- อุปกรณ์มิกเซอร์

เป็นวงจรรวมเบอร์ CT 1745 ที่สามารถนำไปใช้ในการปรับแต่งเสียงจากไมโครโฟน (Microphone) เสียงจากเครื่องเล่นซีดี (CD audio) สัญญาณเสียงระบบดิจิทัล (Digital audio) ลำโพงของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (PC speaker) และอื่น ๆ ซึ่งวิธีนี้ทำให้

เราสามารถได้ยินเสียงจากไมโครโฟน ขณะที่เสียงดนตรีในระบบเอฟเอ็ม (FM music) หรือเสียงต่าง ๆ ารค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบดิจิตอล (Digital sound) และเสียงจากเครื่องเล่นซีดีที่กำลังเล่นอยู่ได้ และยังสามารถบันทึกเสียงแบบดิจิตอล จากแหล่งกำเนิดเสียงได้หลาย ๆ แห่งพร้อมกัน

- อุปกรณ์การเชื่อมต่อกับบัส

เป็นวงจรรวมเบอร์ CT 1746 ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดคือ คำสั่งและสัญญาณเสียงแบบดิจิตอล (Commands and Digital audio) ระหว่าง SB16 กับไมโครคอมพิวเตอร์ โดยจะใช้ในการเตรียมการเซต (Set) การ์ดในส่วนของ แอดเดรสของพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต (I/O Port Address) การขัดจังหวะ (Interrupt) และการเลือกของสัญญาณของการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Direct Memory Access - DMA Channel)

วงจรรวมเบอร์ CT 1746 นี้มีหน่วยความจำสำรองภายในจึงมีอัตราเร็วในการสุ่มตัวอย่างสูง และสามารถใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 386 ขึ้นไป

- อุปกรณ์การเข้ารหัสและถอดรหัส

เป็นวงจรรวมเบอร์ CT 1701 ใช้สำหรับแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเมื่อบันทึกสัญญาณเสียงระบบดิจิตอล และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก เมื่อเล่นสัญญาณเสียงในระบบดิจิตอล โดยสามารถเลือกเสียงแบบ 8 หรือ 16 บิต ที่มีอัตราเร็วในการสุ่มตัวอย่างสูงถึง 44.1 กิโลเฮิรซ์ ในระบบสเตอริโอ

5.2 ฟังก์ชัน (Function) ที่ใช้สำหรับเลือกไดรเวอร์ (Driver) ต่าง ๆ

การกำหนดค่าฟังก์ชันจะขึ้นกับไดรเวอร์แต่ละตัว แล้วแต่จะเลือกใช้ ดังนี้

BH = 1 => ไดรเวอร์ SBFMDRVFM (SBFMDRVFM Driver)

BH = 2 => ไดรเวอร์ CTVDSK สำหรับใช้กับ สัญญาณเสียงดิจิตอลจากดิสก์ (CTVDSK Digital Voice From Disk Driver)

BH = 3 => ไดรเวอร์ CTVOICE สำหรับใช้กับสัญญาณเสียงดิจิตอลจากหน่วยความจำ (CTVOICE Digital Voice From Memory Driver)

BH = 5 => ไดรเวอร์ SBMIDI (SBMIDI MIDI Driver)

ซึ่งไดรเวอร์ที่ใช้สำหรับการเล่นแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC คือ ไดรเวอร์ CTVDSK ที่ใช้กับสัญญาณเสียงดิจิตอลจากหน่วยความจำ

5.3 ฟังก์ชันต่าง ๆ ในการ์ดเสียง

- StartSnd() เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเริ่มต้นเล่นเสียง (ฟังก์ชัน 0) โดยถ้า

ต้องการเล่นแฟ้มข้อมูลเสียง จะต้องกำหนดครีจิสเตอร์ ดังนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BH = หมายเลขของไดรเวอร์ (Driver Number)

BL = 0

CX = 0 (สำหรับเล่นแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC จากคิสก์)

AX = ค่าออฟเซตของแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC

DX:AX = ค่าที่ชี้ข้อมูลของ Voice File

ในการเรียกใช้ฟังก์ชัน StartSnd() ถ้าไม่มีความผิดพลาด (Error)

เกิดขึ้น จะส่งค่า AX เท่ากับ 0 ออกมา

- PlaySnd() เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเล่นเสียง (ฟังก์ชัน 1) จะต้องกำหนด
รีจิสเตอร์ ดังนี้

BH = หมายเลขของไดรเวอร์

BL = 1

CX = 0

ในการเรียกใช้ฟังก์ชัน PlaySnd() ถ้าไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น จะส่ง
ค่า AX เท่ากับ 0 ออกมา

- StopSnd() เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการหยุดการเล่นเสียง (Function 2) จะต้อง
กำหนดรีจิสเตอร์ ดังนี้

BH = หมายเลขของไดรเวอร์

BL = 2

CX = 0

ฟังก์ชันนี้ ไม่มีการส่งค่ากลับออกมา

- PauseSnd() เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการหยุดการเล่นเสียงชั่วคราว (ฟังก์ชัน 3)
จะต้องกำหนดรีจิสเตอร์ ดังนี้

BH = หมายเลขของไดรเวอร์

BL = 3

CX = 0

ฟังก์ชันนี้ ไม่มีการส่งค่ากลับออกมา

- ResumeSnd() เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการกลับมาเล่นเสียงใหม่หลังจากการหยุด
ชั่วคราว (ฟังก์ชัน 4) จะต้องกำหนดรีจิสเตอร์ ดังนี้

BH = หมายเลขของไดรเวอร์

BL = 4

CX = 0

ฟังก์ชันนี้ ไม่มีการส่งค่ากลับออกมา

- GetSndStat() เป็นตัวบอกสถานะของเสียง (ฟังก์ชัน 5) จะต้องกำหนดค่ารีจิสเตอร์ ดังนี้

BH = หมายเลขของโครเวอร์

BL = 5

CX = 0

ฟังก์ชันนี้ จะส่งค่า AX = สถานะของเสียง (Sound Status Word)

= 0000h หยุดการเล่นเสียง (Sound Stopped)

= FFFFh กำลังเล่นเสียงอยู่ (Playing)

5.4 โปรแกรมสำหรับสร้างเสียง

เสียงที่จะนำมาใช้ในการกระตุ้น ใช้เป็นแบบโทนเบร็ชความถี่ 4 กิโลเฮิรซ์ ที่ระดับความดังต่างกัน คือ 30 , 40 , 50 , 60 , 70 และ 80 เดซิเบล สร้างโดยการเขียนโปรแกรม และเปลี่ยนระดับความดังด้วยการเปลี่ยนขนาด แล้ววัดระดับความดังด้วยเครื่องวัดระดับความดังของเสียงให้ได้ความดังตามที่ต้องการ จากนั้น ทำการตัดต่อเพิ่มข้อมูลที่ได้ด้วยโปรแกรม Gold Wave ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ของการ์ดเสียง ให้มีลักษณะดังรูปที่ 5.2 และเขียนส่วนหัวของแฟ้มข้อมูล เพื่อทำให้เป็นแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC



```

#include<math.h>
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
FILE *fi,*f1,*f2;
void main()
{
    int i,m;
    char ch;
    fi=fopen("c:\sound1.hex","wb");
    for(i=1;i<1024;i++)
    {
        m=sin(2*M_PI*25*i/(1024/8))*sin(2*M_PI*i/(1024/8))+128;
        fwrite(&m,sizeof(int),1,fi);
    }
    fclose(fi);
    f1=fopen("c:\sound1.hex","rb");
    f2=fopen("c:\sound1.voc","wb");
    for(i=1;i<=1024;i++)
    {
        fread(&ch,1,1,f1);
        fseek(f1,1L,SEEK_CUR);
        fwrite(&ch,1,1,f2);
    }
    fclose(f1);
    fclose(f2);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 หลักการเขียนส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC (VOC Header Block)

แฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC จะประกอบด้วยส่วนหัวของแฟ้มข้อมูล และ ส่วนของข้อมูล (Data Block) ซึ่งส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลจะมีรูปแบบมาตรฐาน แต่ส่วนของ ข้อมูล จะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ในส่วนของชนิดของข้อมูล (Block Type) ตามแต่ลักษณะ การใช้งาน ดังนี้

ส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC

ซึ่งจะแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ ของข้อมูลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงส่วนย่อยของส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC

ไบต์ (Byte)	คำอธิบาย (Description)
0 - 13h	Creative Voice File , 1Ah (บอกรหัสของแฟ้มข้อมูล)
14 - 15h	001Ah (เริ่มต้นแฟ้มข้อมูลเสียง)
16 - 17h	0A01h (หมายเลขเวอร์ชันของแฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC)
18 - 19h	1129h (รหัสที่ชี้แฟ้มข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC + 1234h)

ส่วนของข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC

ตารางที่ 5.2 แสดงส่วนย่อยของข้อมูลเสียงที่มีสกุลเป็น .VOC

ไบต์	คำอธิบาย
0h	01h (บอกรหัสของข้อมูลเสียง)
1 - 3h	บอกความยาวของข้อมูล
4 - end	ข้อมูล

ดังตัวอย่าง

43 72 65 61 74 69 76 65 20 56 6F 69 63 65 20 46
69 6C 65 1A 1A 00 0A 01 29 11 01 00 04 00 D5 00

00 04 00 เป็นการบอกขนาดของแฟ้มข้อมูล 1024 ไบต์

บทที่ 6

การ์ดสำหรับแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล

(A/D D/A CARD [PA-MA 12 (-H)])

การเก็บและแสดงผลสัญญาณอนาลอกที่วัดได้ บนจอไมโครคอมพิวเตอร์นั้น ต้องมีการแปลงจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อเก็บ และแปลงจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกเพื่อแสดงผล ดังนั้น ในโครงการนี้จึงใช้การ์ด PA-MA 12 (-H) ซึ่งเป็น A/D D/A Card ที่สามารถเก็บข้อมูลของสัญญาณแบบดิจิทัล ได้ 12 บิต ในการแปลงสัญญาณดังกล่าว

ในบทนี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีและวิธีการใช้งานของการ์ด โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับการใช้งานในโครงการนี้เท่านั้น

6.1 บล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ของการ์ด ในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

บล็อกไดอะแกรมของการ์ด ในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 5 ส่วน ดังนี้

บล็อก A : การรับสัญญาณอินพุตและเลือกช่องสัญญาณ

บล็อก B : วงจรขยายผลต่าง

บล็อก C : การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

บล็อก D : ส่วนควบคุมการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

บล็อก E : การอ่านค่าสถานะ

บล็อก A : การรับสัญญาณอินพุตและเลือกช่องสัญญาณ

การเชื่อมต่อของสัญญาณอินพุต ของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เป็นตัวเชื่อมต่อ (Connector) ตัวผู้ชนิด D (D - Type) 37 ขา (โดยที่ การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และ การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก จะใช้ขาตัวเชื่อมต่อร่วมกัน)

การ์ด PA - MA 12 (-H) สามารถเลือกใช้แบบของการรับสัญญาณอินพุต โดยการเซตตัวเซตค่าเบอร์ 9 (Jumper 9 - JP9) บนการ์ด และสามารถเลือกช่องสัญญาณโดยใช้

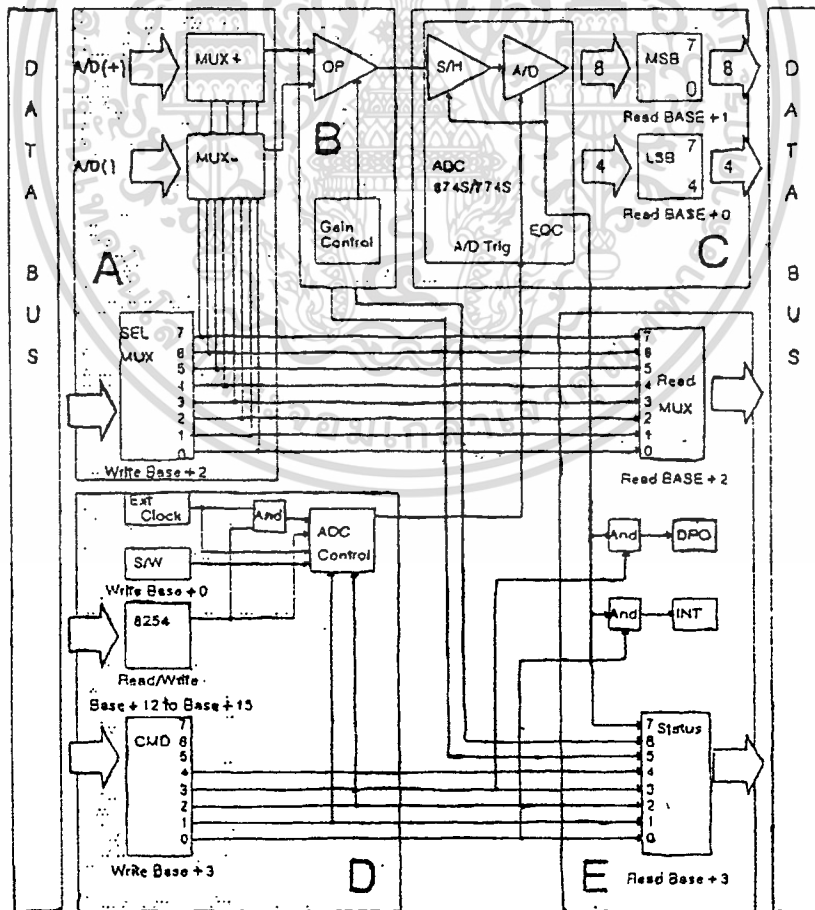
เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อก B : วงจรขยายผลต่าง

วงจขยายจะทำหน้าที่เป็นวงจขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน ในกรณีที่อินพุทเป็นสัญญาณที่ต่างกัน แต่ถ้าอินพุทเป็นสัญญาณเดี่ยว (Single - ended) วงจรจะทำงานโดยคิดสัญญาณเทียบกับกราวด์

การเลือกชนิดของอินพุท สามารถทำได้โดยเซตตัวเซตค่าเบอร์ 9 และสามารถอ่านสถานะของอินพุทได้ จากพอร์ตบอกสถานะของการแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Status Port (D5 of Base+3))

อัตราขยายของวงจขยาย สามารถเลือกได้โดยการเซตตัวเซตค่าพรีเซต (Jumper - Preset) โดยแบ่งเป็นอัตราขยาย 1 , 2 , 5 , 10 , 20 , 50 เท่า และแบบที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด (User Defined) ในการเลือกใช้อัตราขยายแบบที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด จะต้องเพิ่มตัวต้านทาน (R14) ลงบนการ์ด



บล็อก C : การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เมื่อมีการแปลงจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ขา EOC (End of conversion) จะอยู่ในสถานะสูง (High) และจะมีการรับสัญญาณอินพุตเข้ามาในวงจรสุ่มตัวอย่างและเก็บค่า (Sampling and hold) ในขณะที่มีการแปลงสัญญาณแต่ละครั้ง จะไม่มีการทำคำสั่งแปลงสัญญาณอื่น ๆ จนกว่าการแปลงสัญญาณนั้น ๆ จะสิ้นสุดลง

เมื่อการแปลงสัญญาณสิ้นสุดขา EOC จะอยู่ในสถานะต่ำ (Low) สัญญาณดิจิทัลที่ได้จะอยู่ในหน่วยความจำสำรองชั่วคราว (Temporary Buffer) ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจนกว่าการแปลงสัญญาณครั้งใหม่จะเสร็จ ในกรณีการส่งข้อมูลแบบ 8 บิต ข้อมูลจะถูกอ่านจาก รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register) base+0 และ base+1 ส่วนการส่งข้อมูลแบบ 16 บิต จะใช้เฉพาะ base+0 เท่านั้น ข้อมูลทั้ง 8 บิต ของ base+1 จะเป็น 8 บิตบนของสัญญาณ และ 4 บิต base+0 จะเป็น 4 บิตล่างของสัญญาณ ส่วน 4 บิตล่างของ base+0 จะเป็นตัวเลขช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลง

บล็อก D : การควบคุมการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

หน่วยควบคุมการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เป็นตัวกำหนดการทริก (trig source) และวิธีการส่งผ่านข้อมูล การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำได้โดยเขียนคำสั่งให้กับพอร์ตคำสั่ง (Command Port) base+3

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลสามารถทริกได้หลายวิธี ดังนี้

1. การทริกโดยใช้ซอฟต์แวร์ (Software Trigger)
2. การทริกจากภายนอก (External Trigger)
3. การทริกโดยใช้ตัวจับเวลาของ 8254 (8254 Timer Trigger)
4. การทริกโดยใช้ตัวจับเวลาของ 8254 และจากภายนอก (8254 Timer Perced External Clock Trigger)

ผลที่ได้จากการแปลงสัญญาณ จะถูกส่งผ่านไปยังหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processor Unit.- CPU) หรือหน่วยความจำ (Memory) ได้หลายวิธี ดังนี้

1. การให้สิทธิ์การทำงานโดยหน่วยประมวลผลกลาง (CPU Polling)
2. การขัดจังหวะ
3. การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง

บล็อก E : การอ่านค่าสถานะ

สถานะของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล สามารถอ่านได้จาก base+2 และ base+3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในชั้นเรียนที่คณะศึกษาศาสตร์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

base+2 จะเก็บข้อมูลของช่องสัญญาณที่เลือก โดย 4 บิตบน แทนค่าของช่องสัญญาณสูงสุด และ 4 บิตล่าง แทนช่องสัญญาณต่ำสุด ที่ใช้ในการรับสัญญาณอินพุต

base+3 จะเก็บข้อมูลสำหรับการเริ่มต้น (Setup) และเงื่อนไขในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เช่น บิต 7 เป็นขาสัญญาณ EOC เป็นต้น

6.2 วิธีการส่งผ่านข้อมูล

เมื่อมีการแปลงสัญญาณเกิดขึ้น ข้อมูลที่แปลงจะถูกอ่านจากรีจิสเตอร์ 8 บิต สองตัว หรือรีจิสเตอร์ 16 บิตหนึ่งตัว และการส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลกลาง หรือหน่วยความจำ อาจทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การให้สิทธิ์การทำงานโดยหน่วยประมวลผลกลาง

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการอ่านข้อมูลที่แปลงได้ หลักการคือ จะทำการตรวจสอบสถานะขณะแปลงสัญญาณ เมื่อการแปลงสัญญาณสิ้นสุด (ขา EOC เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0) จะสามารถอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ได้

ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะเป็วิธีที่ง่าย แต่หน่วยประมวลผลกลาง จะต้องถูกใช้ในการตรวจสอบขา EOC อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้รู้ว่าการแปลงสิ้นสุดเมื่อใด

2. การขัดจังหวะ

วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการให้สิทธิ์การทำงานโดยหน่วยประมวลผลกลาง เนื่องจากเมื่อการแปลงสัญญาณสิ้นสุด การ์ด PA - MA 12 (-H) จะส่งสัญญาณการขัดจังหวะ เพื่อให้หน่วยประมวลผลกลางอ่านข้อมูลที่แปลงได้ ซึ่งทำให้สามารถใช้หน่วยประมวลผลกลางทำงานอื่นได้ในกรณีที่ยังไม่มีการขัดจังหวะ

3. การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง

วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการแปลงสัญญาณ เนื่องจากเป็นการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับหน่วยความจำโดยตรง ทำให้มีการแปลงสัญญาณได้อย่างเร็วที่สุด และทำให้หน่วยประมวลผลกลาง มีเวลาในการทำงานอื่นมากขึ้น ในโครงการนี้ จะใช้วิธีการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการเขียนโปรแกรมโดยละเอียดต่อไป

6.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมโดยใช้การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง

ขั้นตอนที่ 1 : การรีเซตการ์ด และ การยกเลิก (Disable) การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การรีเซตการ์ด

เป็นการยกเลิกการทริกโดยใช้ตัวจับเวลาของ 8254 และจากภายนอก และ การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงโดยการเขียนค่า 00H ให้กับ base+3

ตารางที่ 6.1 ก) แสดงการรีเซตการ์ด PA - MA 12 (-H)

ลำดับที่ (Write Sequent)	ช่องสัญญาณ (7,6,5,3,1,0)	
	พอร์ต	ข้อมูล
1-1	P+3	00H

Note : P PA - MA 12 (-H) แอดเดรสของพอร์ตฐาน (Base Port Address)

2) การยกเลิกการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง

เป็นการควบคุมการยกเลิกการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Disable DMA Controller) โดยการเซตค่า ดังตารางที่ 6.1 ข)

ตารางที่ 6.1 ข) แสดงการควบคุมการยกเลิกการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 3		ช่องสัญญาณ 1		ช่องสัญญาณ 0	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
1-2	00AH	07H	00AH	05H	00AH	04H

ตารางที่ 6.1 ข) (ต่อ)

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 7		ช่องสัญญาณ 6		ช่องสัญญาณ 5	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
1-2	D4H	07H	D4H	06H	D4H	05H

ขั้นตอนที่ 2 : เลือกช่องสัญญาณอินพุท

ในการเลือกช่องสัญญาณอินพุท จะต้องกำหนดขอบเขตของช่องสัญญาณให้กับช่องสัญญาณ MUX พอร์ต (base+2) ซึ่ง 4 บิตล่าง กำหนดหมายเลขช่องสัญญาณต่ำสุด และ 4 บิตบน กำหนดหมายเลขช่องสัญญาณสูงสุด โดยที่ base+2 จะเพิ่มค่าหมายเลขช่องสัญญาณอัตโนมัติ หลังจากการแปลสัญญาณแต่ละครั้ง

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการใช้ช่องสัญญาณ 5 จะต้องกำหนดค่า 05H หรือ 55H ให้กับ base+2 แต่ถ้าต้องการใช้ช่องสัญญาณ 2 ถึงช่องสัญญาณ 6 จะต้องกำหนดค่า 62H ให้กับ base+2 เป็นต้น

ไม่วารณมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงการกำหนดค่าขอบเขตของช่องสัญญาณให้ กับช่องสัญญาณ MUX

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ (7,6,5,3,1,0)	
	พอร์ต	ข้อมูล
2-1	P+2	MUX

Note : P PA - MA 12 (-H) แอดเดรสของพอร์ตฐาน

ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดค่าให้กับตัวจับเวลาของ 8254 เพื่อเลือกความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง
ถ้าใช้ 8254 เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณทริกในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็น
สัญญาณดิจิทัล จะต้องกำหนดค่าให้ 8254 เพื่อกำหนดความเร็วในการแปลงสัญญาณ
ความถี่ในการทริกจะถูกกำหนดโดยตัวนับเวลา (Counter) 1 และ 2 ของ 8254

ตารางที่ 6.3 ก) แสดงการกำหนดข้อมูลให้ตัวจับเวลาของ 8254

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ (7,6,5,3,1,0)	
	พอร์ต	ข้อมูล
3 - 1	P+15	B4H
3 - 2	P+14	T1
3 - 3	P+14	T2
3 - 4	P+15	74H
3 - 5	P+13	T3
3 - 6	P+13	T4

Note : P PA - MA 12(-H) แอดเดรสของพอร์ตฐาน

T1 LSB ตัวนับเวลาเบอร์ 2 ของ 8254

T2 MSB ตัวนับเวลาเบอร์ 2 ของ 8254

T3 LSB ตัวนับเวลาเบอร์ 1 ของ 8254

T4 MSB ตัวนับเวลาเบอร์ 1 ของ 8254

ตารางที่ 6.3ข) แสดงข้อมูลของตัวนับเวลาเบอร์ 1 และ 2 ของ 8254 ที่ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างต่าง ๆ

ความถี่ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล		ข้อมูล สำหรับ 8254					
		ตัวนับเวลา เบอร์ 2 ของ 8254			ตัวนับเวลา เบอร์ 1 ของ 8254		
		base+15	base+14	base+14	base+15	base+13	base+13
100KHz	10 us	B4H	4	0	74H	10	0
80KHz	12.5 us	B4H	2	0	74H	25	0
50KHz	20 us	B4H	4	0	74H	20	0
40KHz	25 us	B4H	4	0	74H	25	0
25KHz	40 us	B4H	4	0	74H	40	0
20KHz	50 us	B4H	4	0	74H	50	0
10KHz	100 us	B4H	4	0	74H	100	0
5KHz	200 us	B4H	4	0	74H	200	0
2KHz	500 us	B4H	4	0	74H	244	1
1KHz	1 ms	B4H	4	0	74H	232	3
500Hz	2 ms	B4H	4	0	74H	208	7
200Hz	5 ms	B4H	4	0	74H	136	19
100Hz	10 ms	B4H	4	0	74H	16	39
50Hz	20 ms	B4H	4	0	74H	32	78
20Hz	50 ms	B4H	4	0	74H	80	195
10Hz	100 ms	B4H	40	0	74H	16	39
5Hz	200 ms	B4H	40	0	74H	32	78
2Hz	500 ms	B4H	40	0	74H	80	195
1Hz	1 s	B4H	144	1	74H	16	39
0.1Hz	10 s	B4H	160	15	74H	16	39
0.01Hz	100 s	B4H	64	156	74H	16	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 : กำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำ ในการส่งข้อมูล

การกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ มีขั้นตอนดังนี้

1. เคลียร์ (Clear) ค่าในฟลิป-ฟลอปที่ใช้เป็นตัวชี้ (pointer flip - flop)

การเคลียร์ข้อมูลในฟลิป-ฟลอป เป็นการกำหนดให้ฟลิป-ฟลอปเริ่มทำงานในสถานะที่ถูกต้อง เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดของลำดับข้อมูลที่ถูกส่งผ่านมา

2. การกำหนดค่าแอดเดรสฐาน (base address) และเพจรีจิสเตอร์ (page register)

เป็นการกำหนดค่าแอดเดรสของหน่วยความจำสำรองให้กับรีจิสเตอร์ที่เก็บค่าแอดเดรสปัจจุบัน (DMA current address register) ซึ่งเป็นตัวกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำที่จะนำข้อมูลมาเก็บ หมายเลขของพอร์ตและข้อมูลที่ต้องกำหนดให้แต่ละพอร์ต สำหรับการใช้องค์สัญญาณต่าง ๆ

ตารางที่ 6.4 ก) การส่งข้อมูลแบบไบต์

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 3		ช่องสัญญาณ 1		ช่องสัญญาณ 0	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
4 - 1	0CH	00H	0CH	00H	0CH	00H
4 - 2	06H	A0-A7	02H	A0-A7	00H	A0-A7
4 - 3	06H	A8-A15	02H	A8-A15	00H	A8-A15
4 - 4	82H	A16-A19	83H	A16-A19	87H	A16-A19

ตารางที่ 6.4 ข) การส่งข้อมูลแบบเวิร์ด

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 3		ช่องสัญญาณ 1		ช่องสัญญาณ 0	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
4 - 1	0CH	00H	0CH	00H	0CH	00H
4 - 2	06H	A0-A7	02H	A0-A7	00H	A0-A7
4 - 3	06H	A8-A15	02H	A8-A15	00H	A8-A15
4 - 4	82H	A16-A23	83H	A16-A23	87H	A16-A23

ขั้นตอนที่ 5 : การกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ที่เก็บค่าของจำนวนข้อมูลปัจจุบัน (DMA current word register)

รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าของจำนวนข้อมูลปัจจุบันเป็นตัวเก็บค่าของจำนวนไบต์ทั้งหมดที่จำเป็นในการส่งข้อมูล โดยจะสามารถเลือกได้ว่าจะส่งข้อมูลแบบใด และจำนวนมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ก) การส่งข้อมูลแบบไบต์

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 3		ช่องสัญญาณ 1		ช่องสัญญาณ 0	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
5 - 1	07H	W0-W7	03H	W0-W7	01H	W0-W7
5 - 2	07H	W8-W15	03H	W8-W15	01H	W8-W15

ตารางที่ 6.5 ข) การส่งข้อมูลแบบเวิร์ด

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 37		ช่องสัญญาณ 6		ช่องสัญญาณ 5	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
5 - 1	CEH	W0-W7	CAH	W0-W7	C6H	W0-W7
5 - 2	CEH	W8-W15	CAH	W8-W15	C6H	W8-W15

ขั้นตอนที่ 6 : การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโหมดรีจิสเตอร์ (DMA mode register)

เป็นการกำหนดโหมดของการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง ซึ่งแสดงรูปแบบที่ใช้ในการส่งข้อมูล โดยค่าที่จะต้องกำหนดให้แต่ละพอร์ต สำหรับแต่ละช่องสัญญาณ มีค่าตามตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโหมดรีจิสเตอร์

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 3		ช่องสัญญาณ 1		ช่องสัญญาณ 0	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
6	09H	47H	09H	45H	09H	44H

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 7		ช่องสัญญาณ 6		ช่องสัญญาณ 5	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
6	D2H	47H	D2H	46H	D2H	45H

ขั้นตอนที่ 7 : การควบคุมการอนุญาตในการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Enable the DMA controller)

เป็นการรีเซ็ตค่าเพื่อควบคุมการอนุญาตในการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง หลังจากอนุญาตแล้ว ก็พร้อมที่จะส่งข้อมูลจากการ์ดไปยังหน่วยความจำ

ตารางที่ 6.7 แสดงการควบคุมการอนุญาตในการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 3		ช่องสัญญาณ 1		ช่องสัญญาณ 0	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
7	0AH	03H	0AH	01H	0AH	00H

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ 7		ช่องสัญญาณ 6		ช่องสัญญาณ 5	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
7	D4H	03H	D4H	02H	D4H	01H

ขั้นตอนที่ 8 : การกำหนดค่าให้กับพอร์ตคำสั่ง (Command port) ของการ์ด การกำหนดค่าให้พอร์ตคำสั่ง ทำได้โดยเขียนคำสั่งให้ base+3 ดังนี้ ตารางที่ 6.8 ก) แสดงการกำหนดค่าให้กับพอร์ตคำสั่ง

ลำดับที่	ช่องสัญญาณ (7,6,5,3,1,0)	
	พอร์ต	ข้อมูล
8	P+3	CMD

Note : P PA - MA 12 (-H) แอดเดรสของพอร์ตฐาน

CMD คำสั่ง

0AH การทริกจากภายนอก

0CH การทริกโดยใช้ตัวจับเวลาของ 8254

0EH การทริกโดยใช้ตัวจับเวลาของ 8254 และจากภายนอก

- การอนุญาตในการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง ทำได้โดยการเซตค่า D3 ของ P+3 ให้เป็น 1

- การอนุญาตการขัดจังหวะ ทำได้โดยการ Set ค่า D0 ของ P+3 ให้เป็น 1

- การเลือกสัญญาณทริกของตัวจับเวลาของ 8254 และ/หรือ สัญญาณนาฬิกาภายนอก (External clock) โดยใช้ D2 และ D1 ของ P+3 เป็นดังตารางที่ 6.8 ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 ข) แสดงการเลือกสัญญาณทริก

D2	D1	แหล่งกำเนิดสัญญาณทริก
0	1	สัญญาณนาฬิกาภายนอก
1	0	ตัวจับเวลาของ 8254
1	1	ตัวจับเวลาของ 8254 และจากสัญญาณนาฬิกาภายนอก

6.4 การอ่านสถานะ

สถานะของการทำงานแบบการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง สามารถอ่านได้จาก รีจิสเตอร์บอกสถานะ และรีจิสเตอร์ที่เก็บค่าของจำนวนข้อมูลปัจจุบัน

รีจิสเตอร์บอกสถานะ (พอร์ตอินพุทและเอาต์พุท 08H หรือ D0H) จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสถานะปัจจุบันของการทำงานแบบการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง โดยที่ 4 บิตบนจะถูกเซตเมื่อช่องสัญญาณนั้น ๆ ต้องการจะส่งข้อมูล และ 4 บิตล่างจะถูกเซตเมื่อการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณนั้นสิ้นสุด

ตารางที่ 6.9 แสดงค่าข้อมูลในรีจิสเตอร์บอกสถานะ

อ่าน/ เขียน	ช่องสัญญาณ 3		ช่องสัญญาณ 1		ช่องสัญญาณ 0	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
C-Read	08H	R=D7 C=D3	08H	R=D5 C=D1	08H	R=D4 C=D0

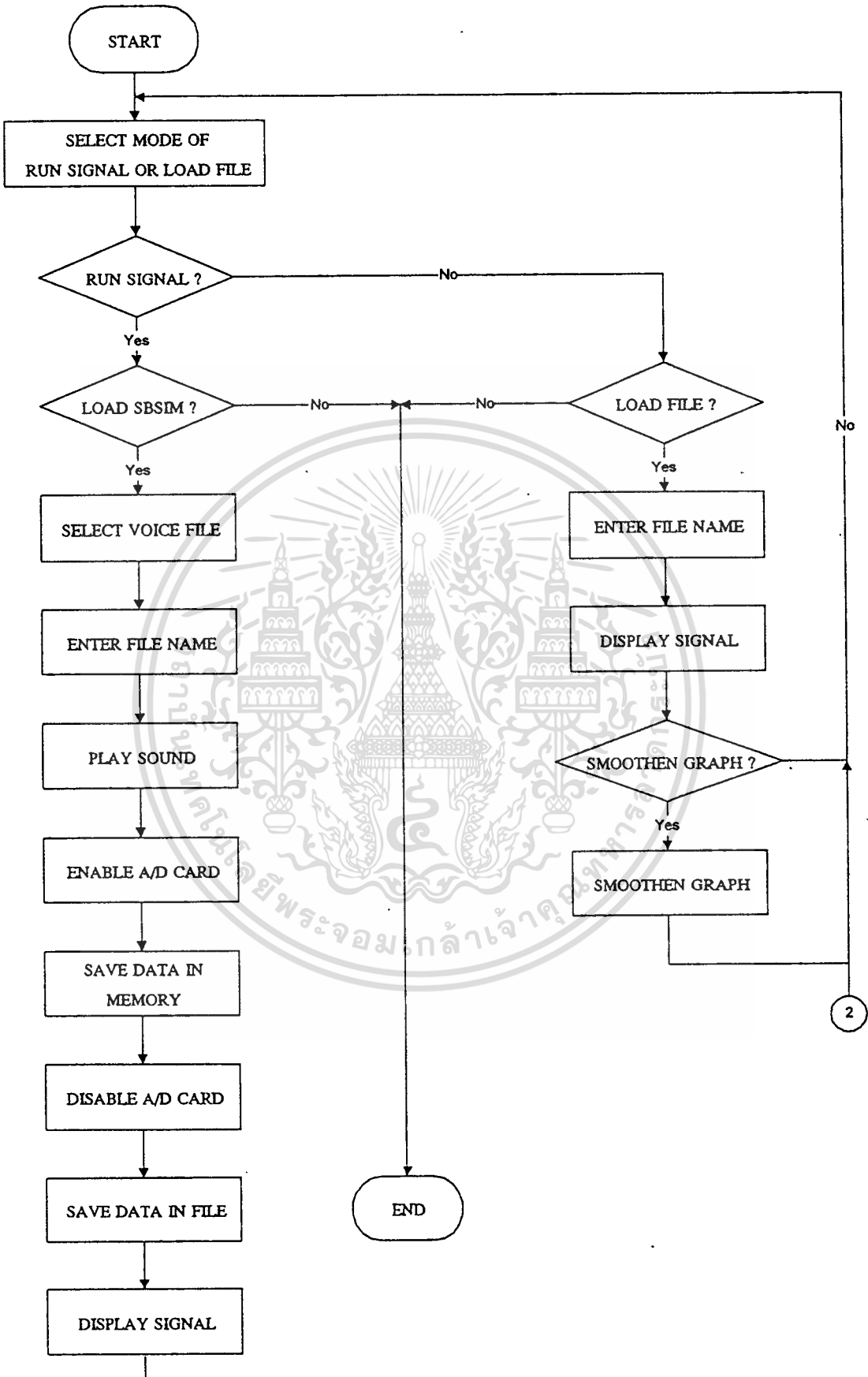
อ่าน/ เขียน	ช่องสัญญาณ 7		ช่องสัญญาณ 6		ช่องสัญญาณ 5	
	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล	พอร์ต	ข้อมูล
C-Read	D0H	R=D7 C=D3	D0H	R=D6 C=D2	D0H	R=D5 C=D1

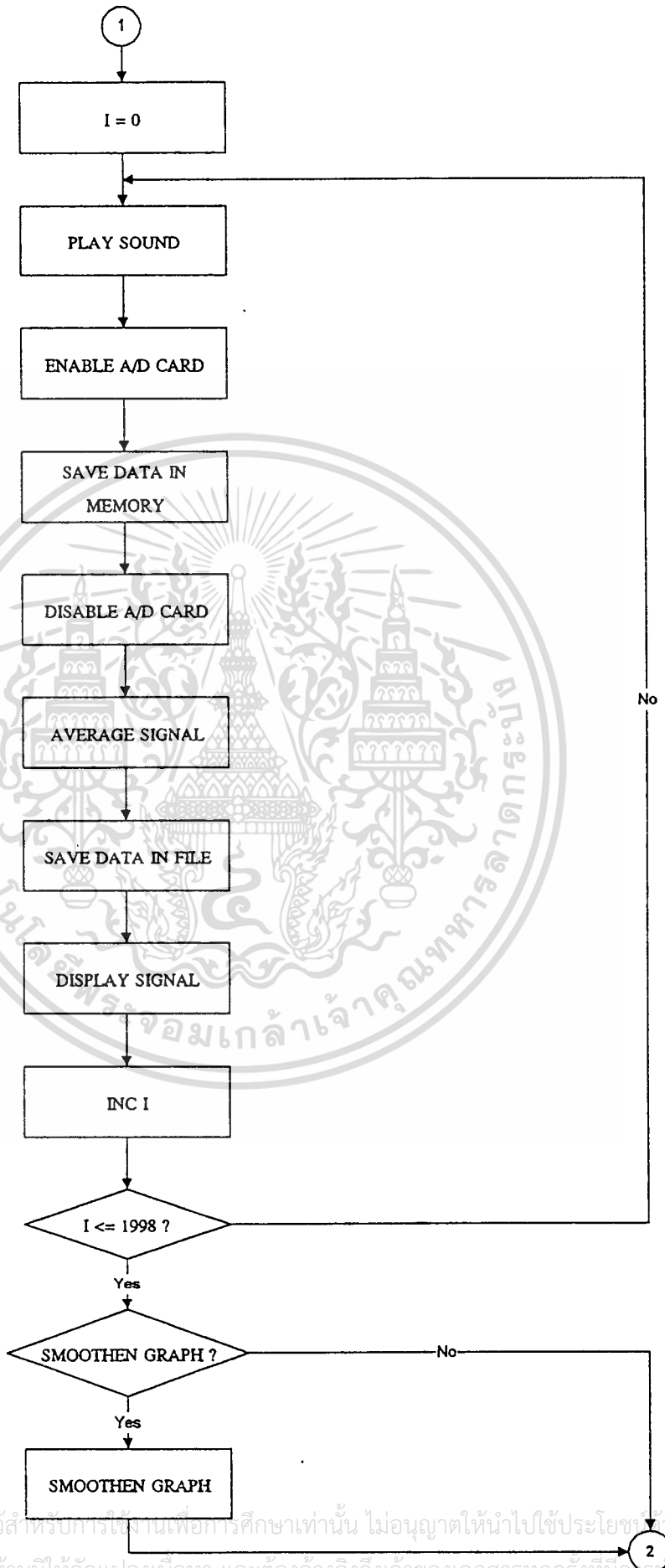
รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าของจำนวนข้อมูลปัจจุบัน ทำหน้าที่นับการส่งข้อมูล โดยที่จะมีค่าเป็น 0 เมื่อการส่งข้อมูลสิ้นสุดลง

เมื่อการส่งข้อมูลสิ้นสุดลงในแต่ละครั้ง จะต้องทำการยกเลิกการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง โดยทำตามวิธีในขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง เพื่อจะนำข้อมูลที่เก็บไว้ไปใช้งานต่อไป

โปรแกรมที่ใช้ในการเล่นเสียง เก็บ รวม และแสดงผลของสัญญาณที่ได้บน หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงไว้ในภาคผนวก ข) และมีแผนภาพแสดงอัลกอริทึม (Flow Chart) ของโปรแกรม ดังนี้







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก้นำไปใช้

บทที่ 7

การทดสอบและผลการทดสอบทางเทคนิคของระบบการวัด

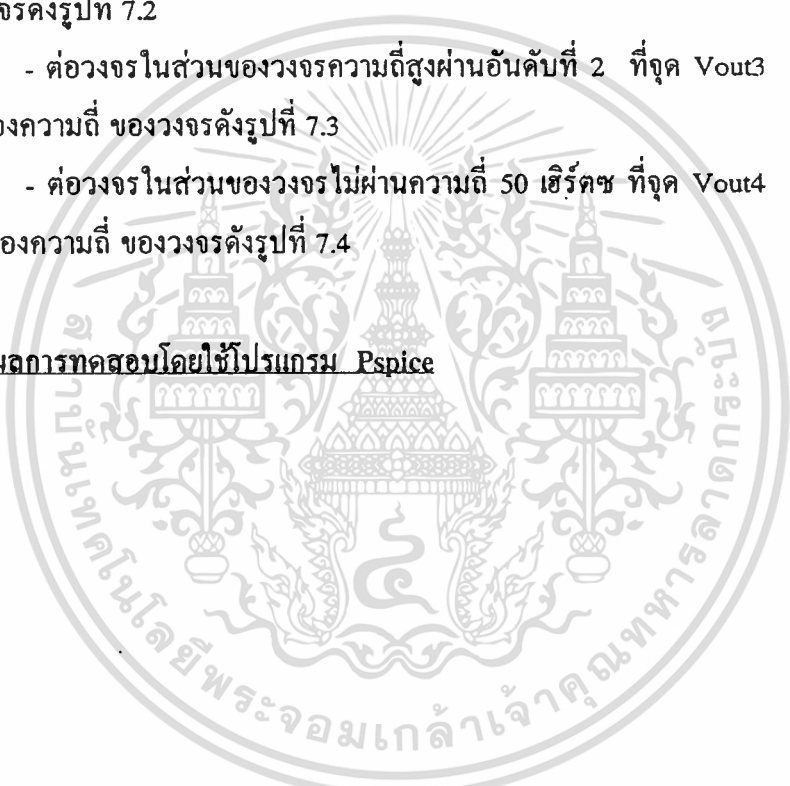
7.1 การทดสอบโดยใช้โปรแกรม Pspice

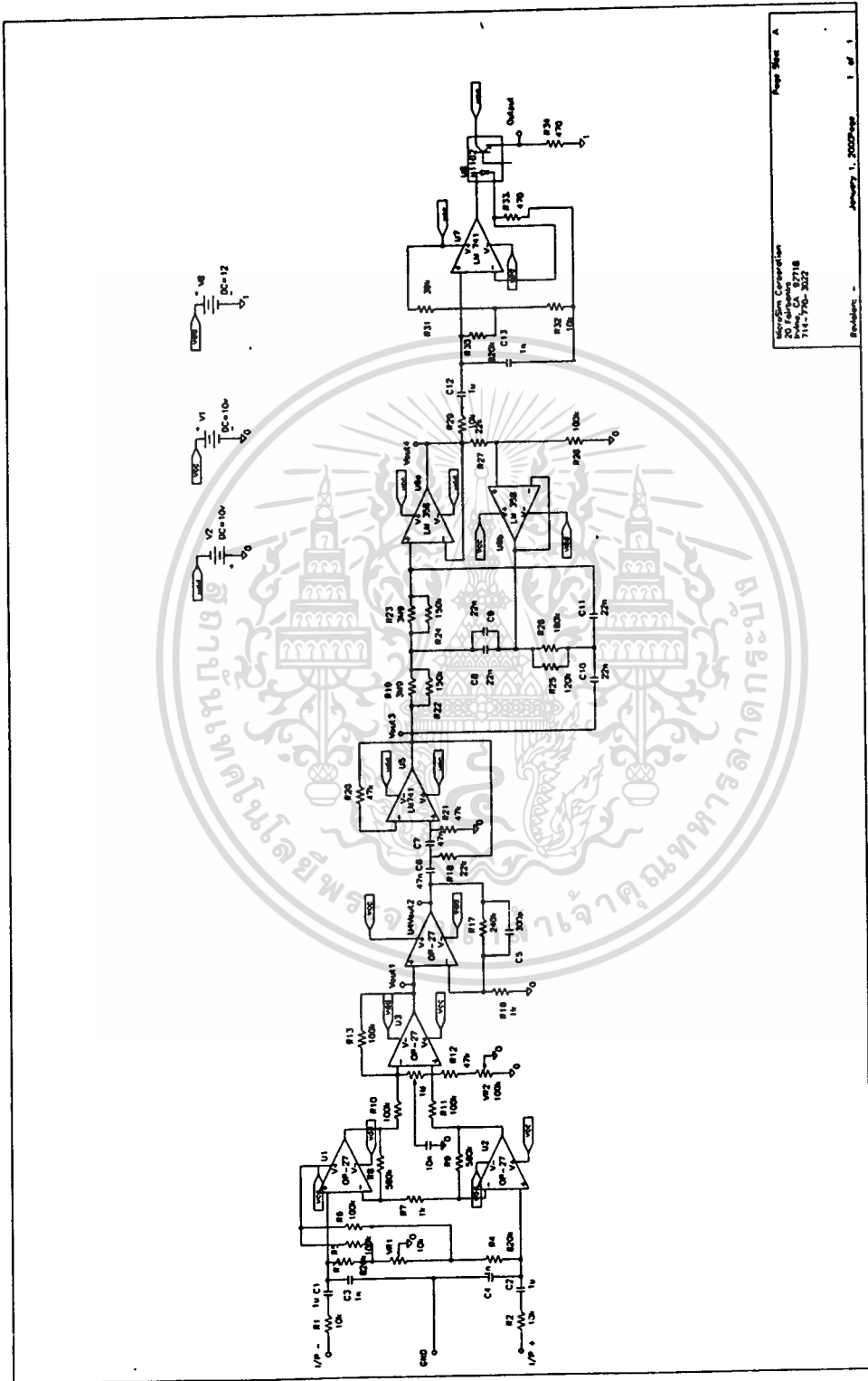
- ทำการทดสอบวงจรในส่วนของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเดชั่น แบบคิฟเฟอเรนเชียลโหมด และวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสที่จุด Vout2. ของรูปที่ 7.1 ได้ผลตอบสนองความถี่ ของวงจрдังรูปที่ 7.2

- ต่อวงจรในส่วนของวงจรความถี่สูงผ่านอันดับที่ 2 ที่จุด Vout3 ของรูปที่ 7.1 ได้ผลตอบสนองความถี่ ของวงจрдังรูปที่ 7.3

- ต่อวงจรในส่วนของวงจรไม่ผ่านความถี่ 50 เฮิรตซ์ ที่จุด Vout4 ของรูปที่ 7.1 ได้ ผลตอบสนองความถี่ ของวงจрдังรูปที่ 7.4

7.2 ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Pspice

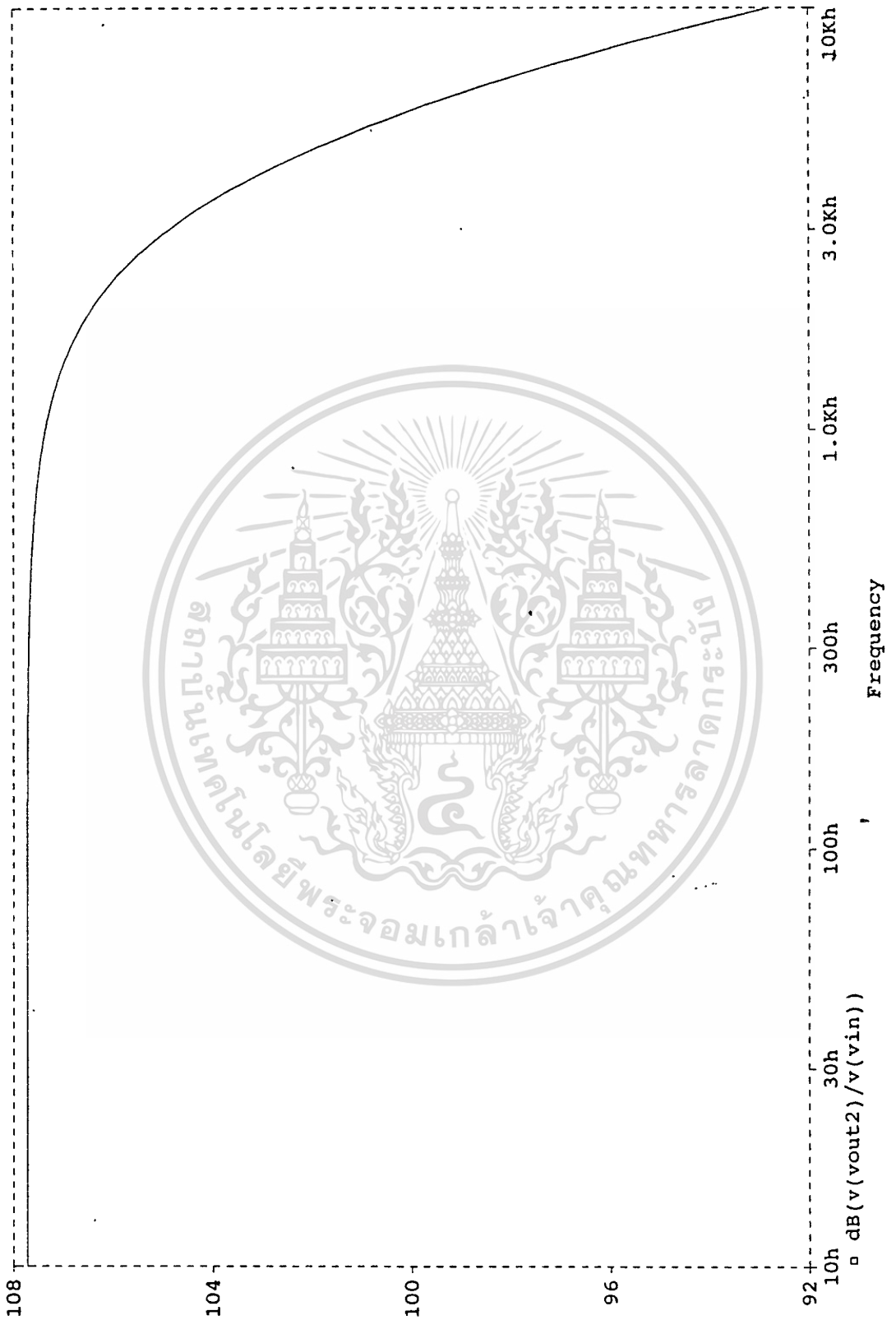




Rajabhat Buriram
 20 Rajabhat
 7112-750-3022
 Buriram, January 1, 2022 Page 1 of 1

รูปที่ 7.1 วงจรขยาย

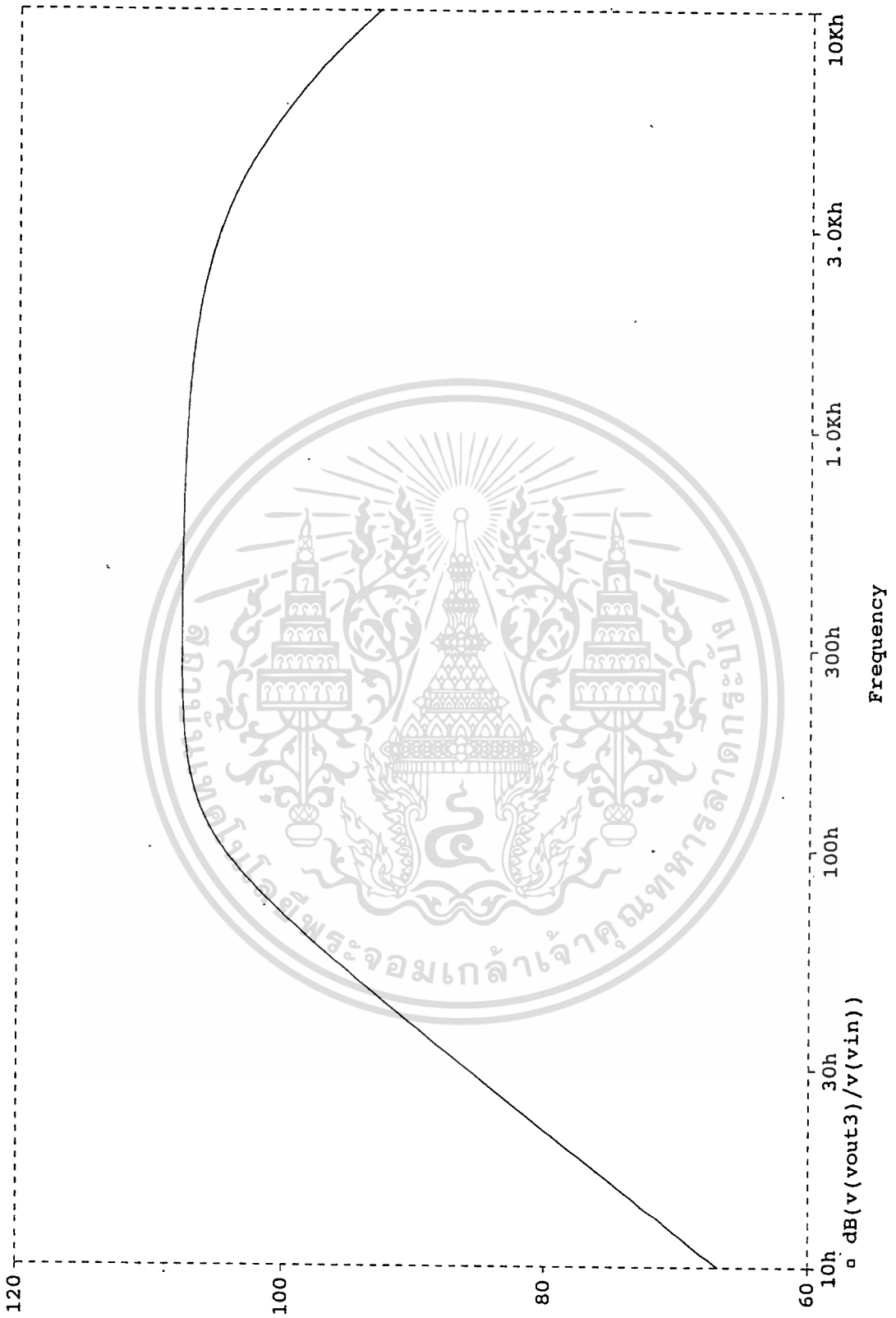
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout2 โดยใช้โปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

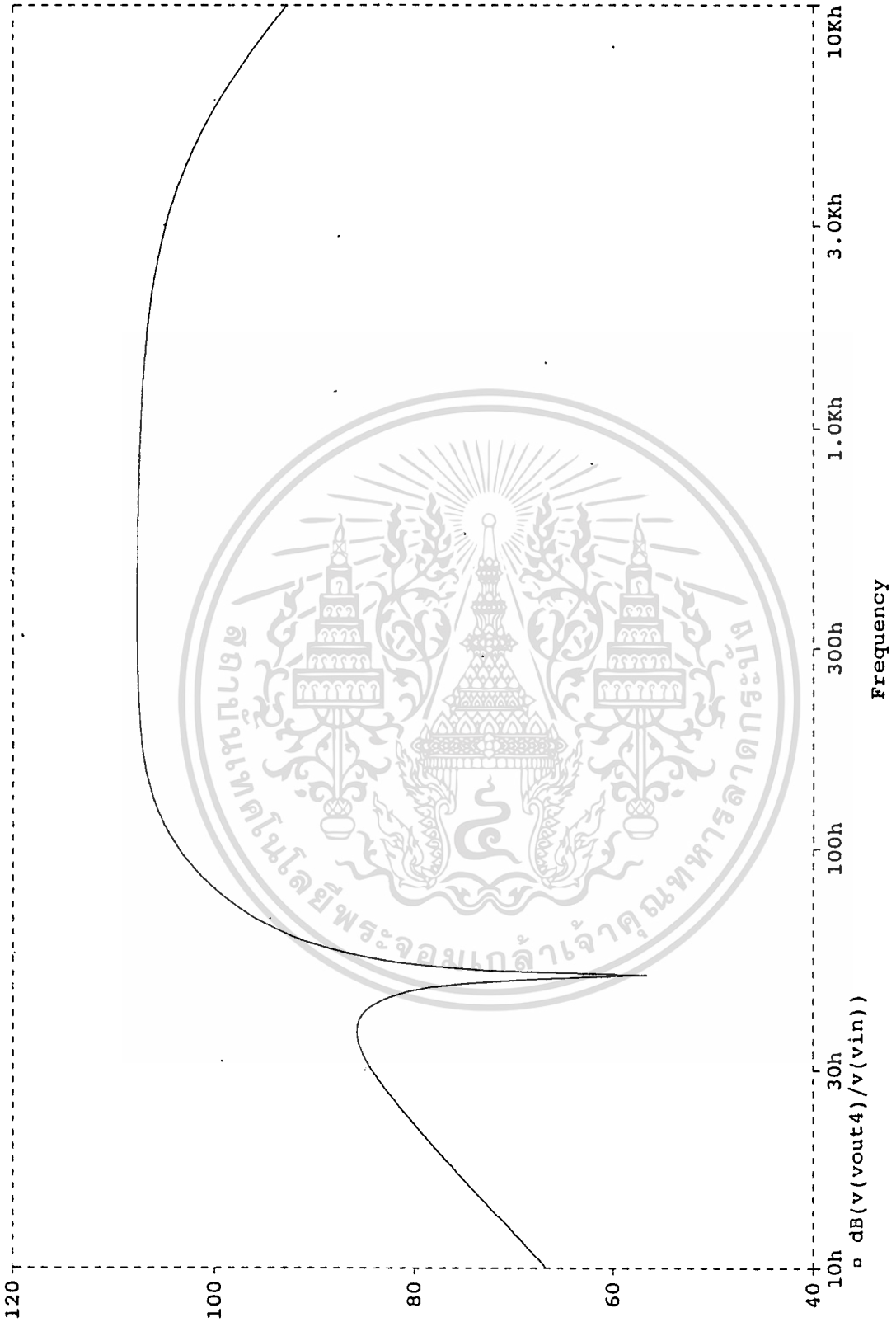
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout3 โดยใช้โปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout4 โดยใช้โปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การทดสอบวงจรจริง

เนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงมีขนาดเล็กมาก วงจรขยายที่ใช้จึงต้องมีอัตราขยายสูงถึง 200,000 เท่า แต่ในการทดสอบไม่สามารถป้อนอินพุตที่มีขนาดเล็กมากได้ ดังนั้น จึงแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ทดสอบอัตราขยายของวงจรขยายผลต่าง และ ทดสอบผลตอบสนองความถี่และอัตราขยายของวงจรตั้งแต่ส่วนวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสจนถึงเอาต์พุต

วิธีการทดลอง

1. ป้อนไฟเลี้ยง ± 12 โวลต์ ให้กับอปแอมป์
2. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ขนาด 10 มิลลิโวลต์ ตั้งแต่ความถี่ 10 เฮิร์ตซ ถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ แบบคิฟเฟอเรนเชียลโหมด ให้อินพุตของวงจรขยายผลต่าง
3. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ขนาด 10 มิลลิโวลต์ ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ แบบคอมมอนโหมด ให้อินพุตของวงจรขยายผลต่าง เพื่อคำนวณค่า CMRR
4. บันทึกผลการทดลอง ที่จุด V_{out1} ดังตารางที่ 7.1 และได้ผลตอบสนองความถี่ดังรูปที่ 7.5
5. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ขนาด 5 มิลลิโวลต์ ตั้งแต่ความถี่ 10 เฮิร์ตซ ถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ ให้อินพุตของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส
6. บันทึกผลการทดลอง ที่จุด V_{out2} , V_{out3} , V_{out4} และเอาต์พุต ดังตารางที่ 7.2 และได้ผลตอบสนองความถี่ ดังรูปที่ 7.6 , 7.7 , 7.8 และ 7.9 ตามลำดับ

การคำนวณค่า CMRR

จากสูตร

$$CMRR = 20 \log \frac{Av(DM)}{Av(CM)}$$

ที่ 1 กิโลเฮิร์ตซ อัตราขยายแบบคิฟเฟอเรนเชียลโหมด มีค่าเท่ากับ 1000 เท่า (จากตารางที่ 7.1) และ อัตราขยายแบบคอมมอนโหมด มีค่าเท่ากับ 1 เท่า

$$CMRR = 20 \log \frac{1000}{1} = 60dB$$

7.4 ผลการทดสอบวงจรจริง

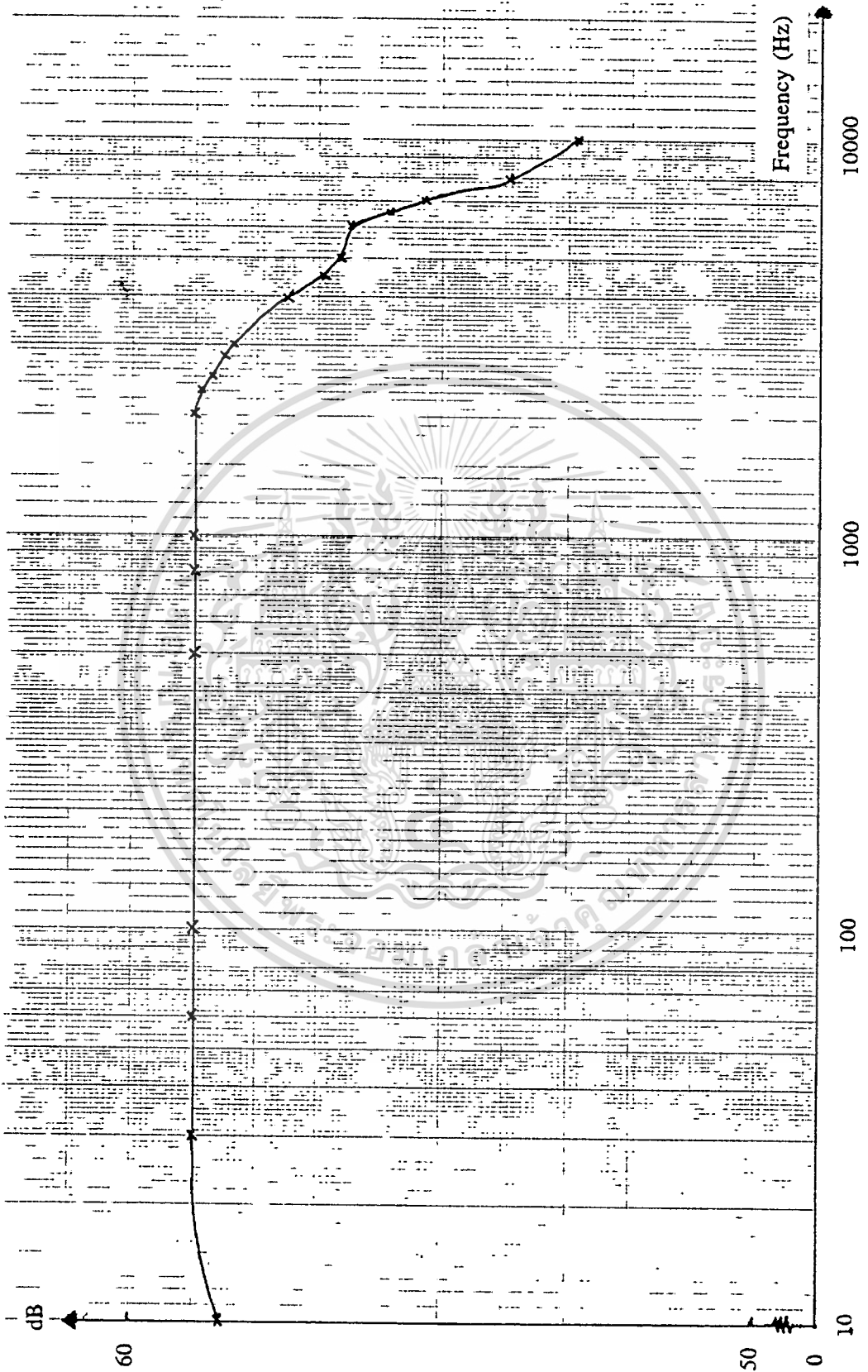
ตารางที่ 7.1 แสดงเอาต์พุตแบบคิฟเฟอเรนเชียลโหมค ของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ชั้น

ความถี่ (เฮิร์ตซ)	Vout1 (โวลต์)
10	8.5
30	9
50	9
100	9
500	9
800	9
1000	9
2000	9
2300	8.8
2500	8.7
2800	8.5
3000	8.3
4000	7.5
4500	7
5000	6.9
6000	6.7
6500	6.2
7000	5.8
8000	5
10000	4.4
20000	2

หมายเหตุ

ที่ 1 กิโลเฮิร์ตซ วัดค่า Vout1 แบบคอมมอนโหมคได้ 10 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



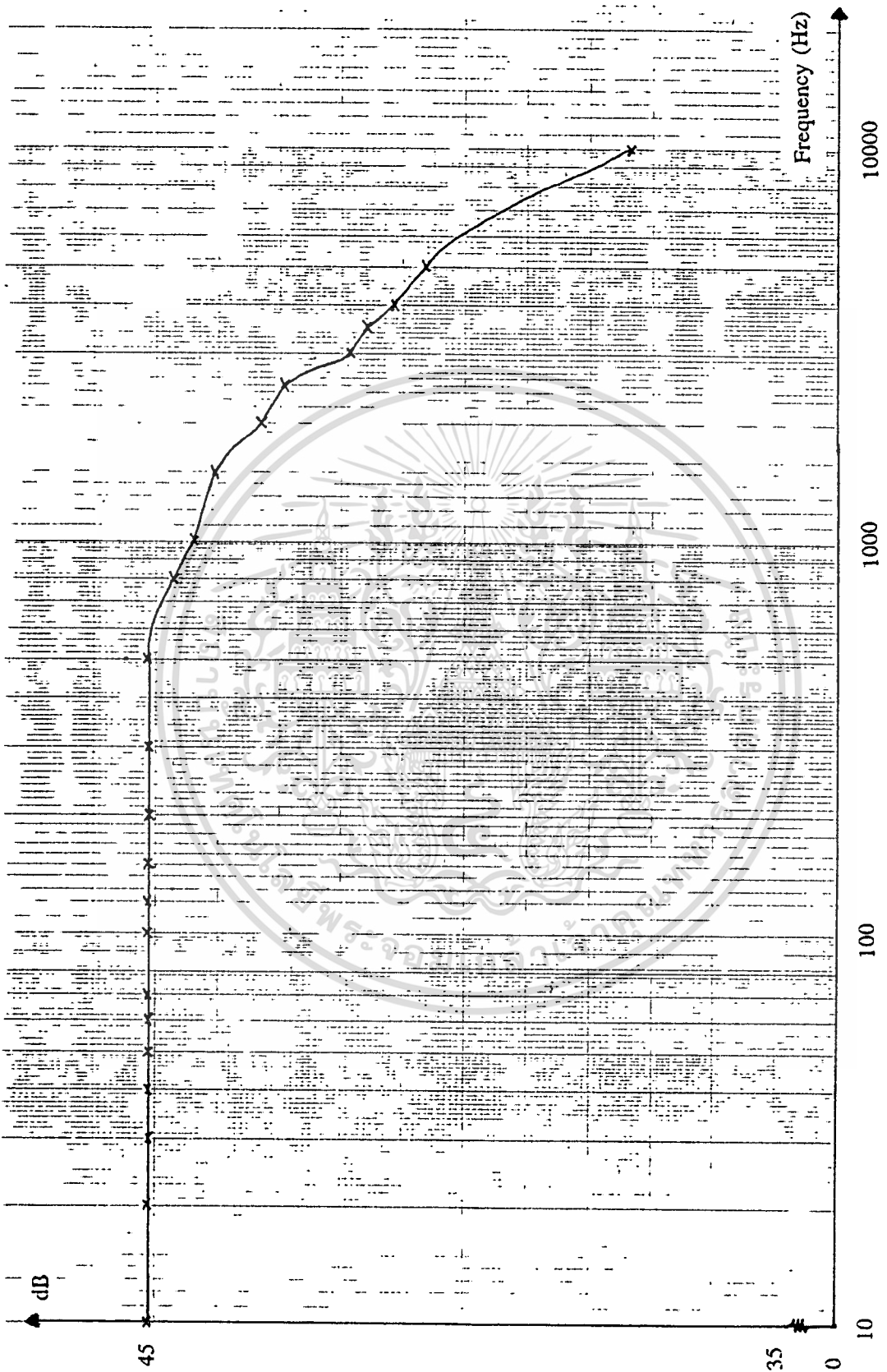
รูปที่ 7.5 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด V_{out1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 แสดงเอาต์พุตที่จุดต่าง ๆ ของวงจรขยาย

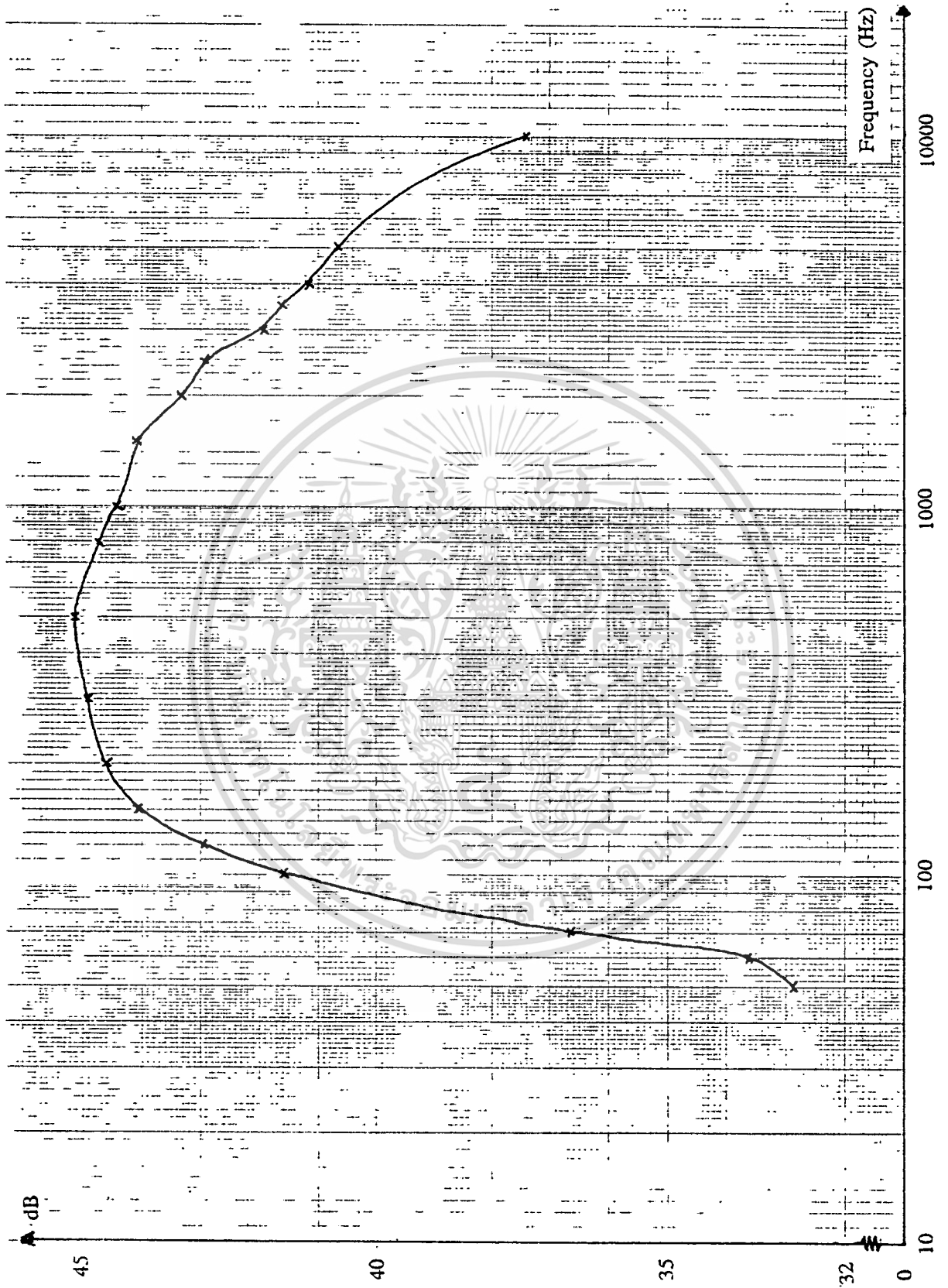
ความถี่ (เฮิรตซ์)	Vout2 (โวลต์)	Vout3 (โวลต์)	Vout4 (โวลต์)	Vout (โวลต์)
10	0.9	0.01	0.01	-
20	0.9	0.035	0.035	0.016
30	0.9	0.08	0.07	0.03
40	0.9	0.14	0.07	0.028
50	0.9	0.22	0.02	-
60	0.9	0.24	0.07	0.03
70	0.9	0.34	0.2	0.09
100	0.9	0.6	0.55	0.2
120	0.9	0.7	0.68	0.27
150	0.9	0.8	0.8	0.3
200	0.9	0.85	0.85	0.35
300	0.9	0.88	0.88	0.35
500	0.9	0.9	0.9	0.35
800	0.86	0.86	0.86	0.34
1000	0.83	0.83	0.83	0.33
1500	0.8	0.8	0.8	0.32
2000	0.73	0.73	0.73	0.3
2500	0.7	0.7	0.7	0.3
3000	0.62	0.62	0.62	0.29
3500	0.6	0.6	0.6	0.25
4000	0.57	0.57	0.57	0.24
5000	0.54	0.54	0.54	0.2
10000	0.37	0.37	0.37	0.16
20000	0.19	0.19	0.19	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout2

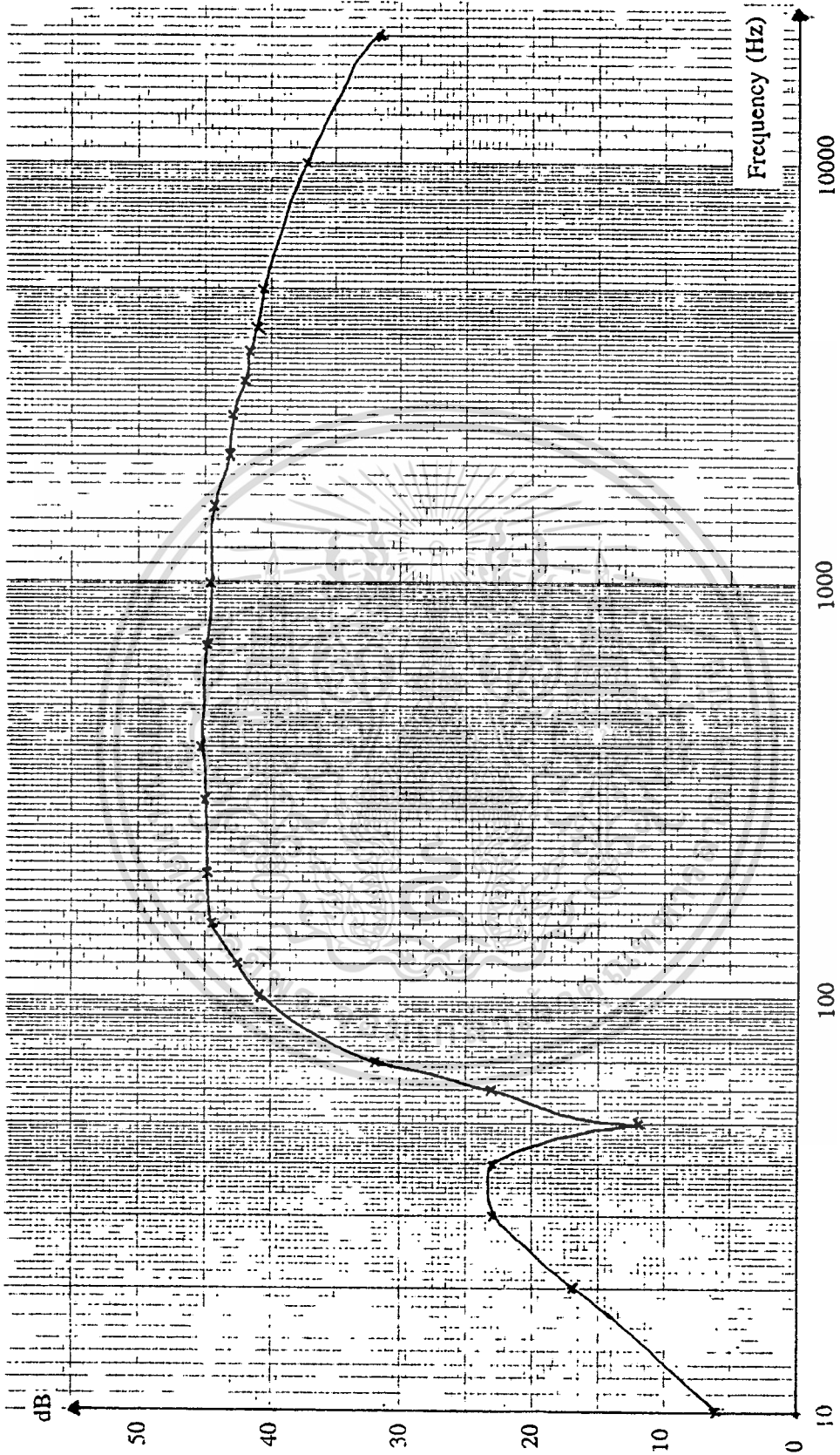
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด V_{out3}

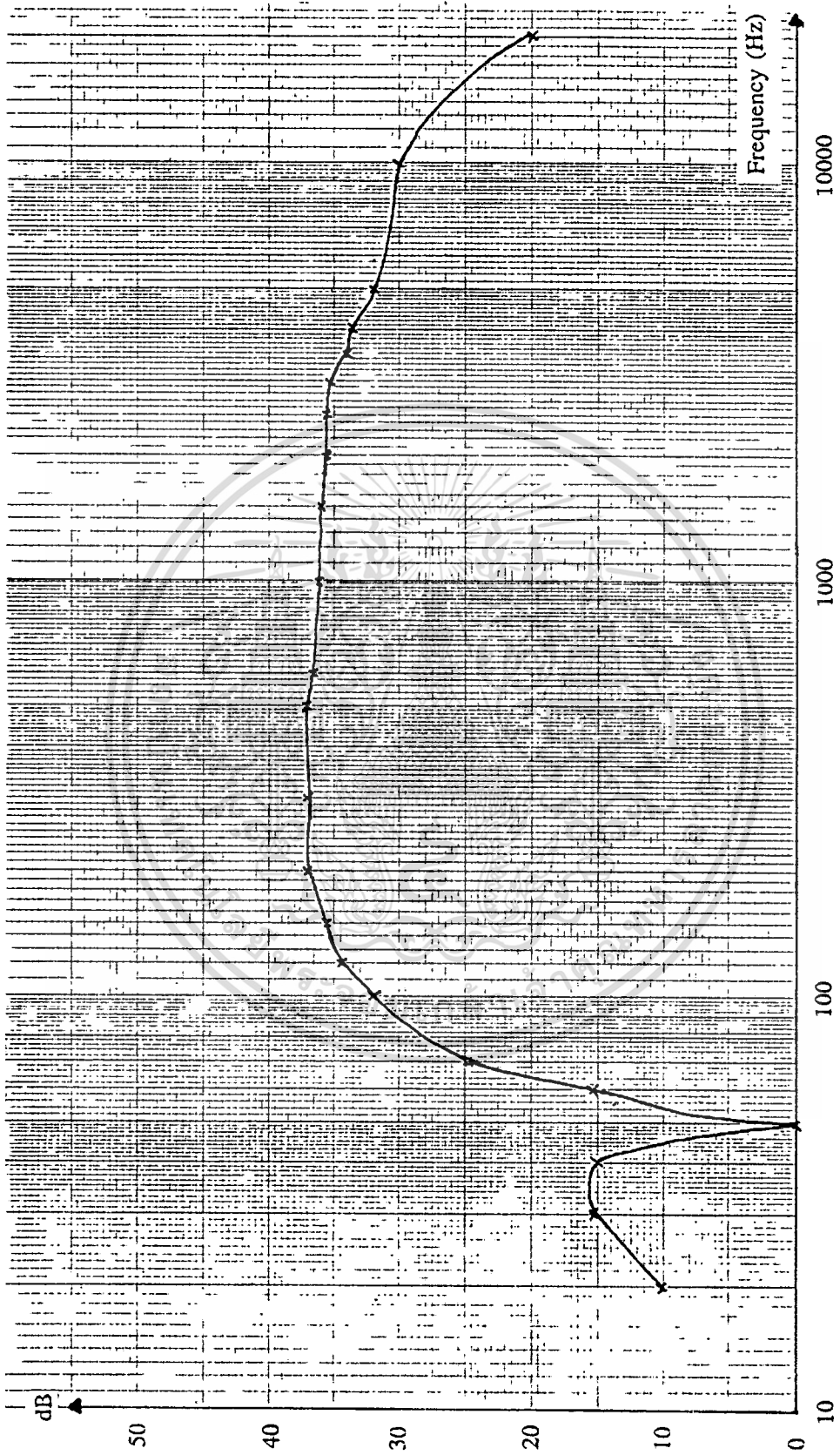
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุด Vout4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.9 แสดงผลตอบสนองความถี่ที่จุดเอาต์พุต

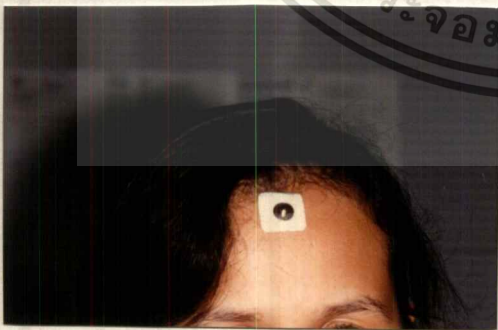
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ขั้นตอนการทำงานและผลการทดสอบของเครื่องตรวจวัด การได้ยินโดยการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียง

8.1 ขั้นตอนการทำงาน

1. ให้ผู้ป่วยอยู่ในท่าที่สบายที่สุด (ควรจะอยู่ในท่านอน ถ้าหลับได้จะยิ่งดีมาก)
2. ทำการขัดผิวหนังบริเวณที่จะติดอิเล็กโทรด เพื่อลดความต้านทานของผิวหนัง โดยใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์
3. ติดอิเล็กโทรด 3 แห่ง โดยที่บริเวณจุดสูงสุดของหน้าผาก (Vertex) เป็นสัญญาณขาเข้าบวก , บริเวณหลังหูข้างที่ถูกกระตุ้นเป็นสัญญาณขาเข้าลบ และ บริเวณหลังหูอีกข้างหนึ่งเป็นกราวด์ ดังรูปที่ 8.1
4. ทำการเรียกโปรแกรมเล่นเสียงและแสดงผลทางไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อเล่นเสียงกระตุ้นที่ระดับความดังต่าง ๆ ผ่านหูฟังไปยังผู้ป่วย โดยเริ่มที่ความดัง 30 เดซิเบล
5. ทำการแสดงผลและบันทึกสัญญาณที่วัดได้
6. เพิ่มระดับความดังขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับความดังประมาณ 80 เดซิเบล และบันทึกสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละระดับความดัง เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

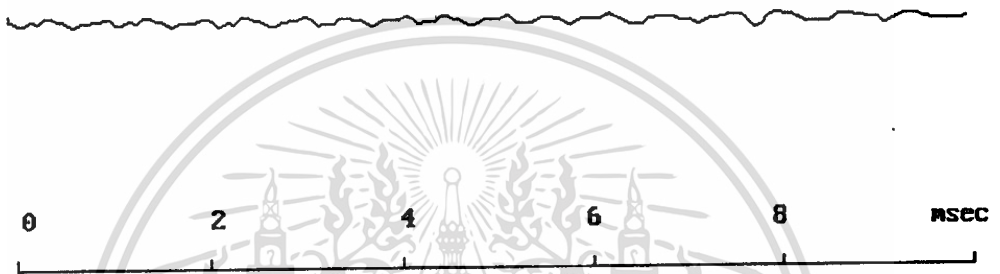


รูปที่ 8.1 แสดงตำแหน่งของอิเล็กโทรด

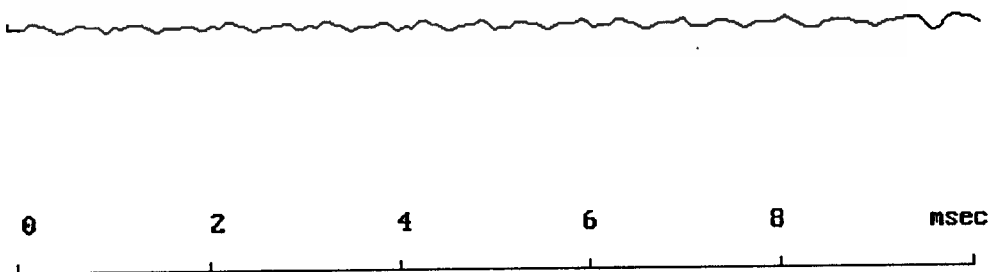
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจวัดการได้ยินโดยการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงที่มีความดังต่าง ๆ สามารถบันทึกสัญญาณได้ดังรูปที่ 8.2 , 8.3 , 8.4 , 8.5 , 8.6 และ 8.7

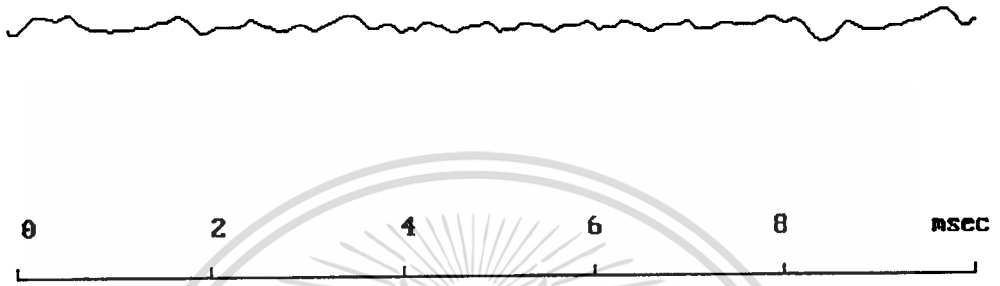


รูปที่ 8.2 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบ ในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 30 เดซิเบล

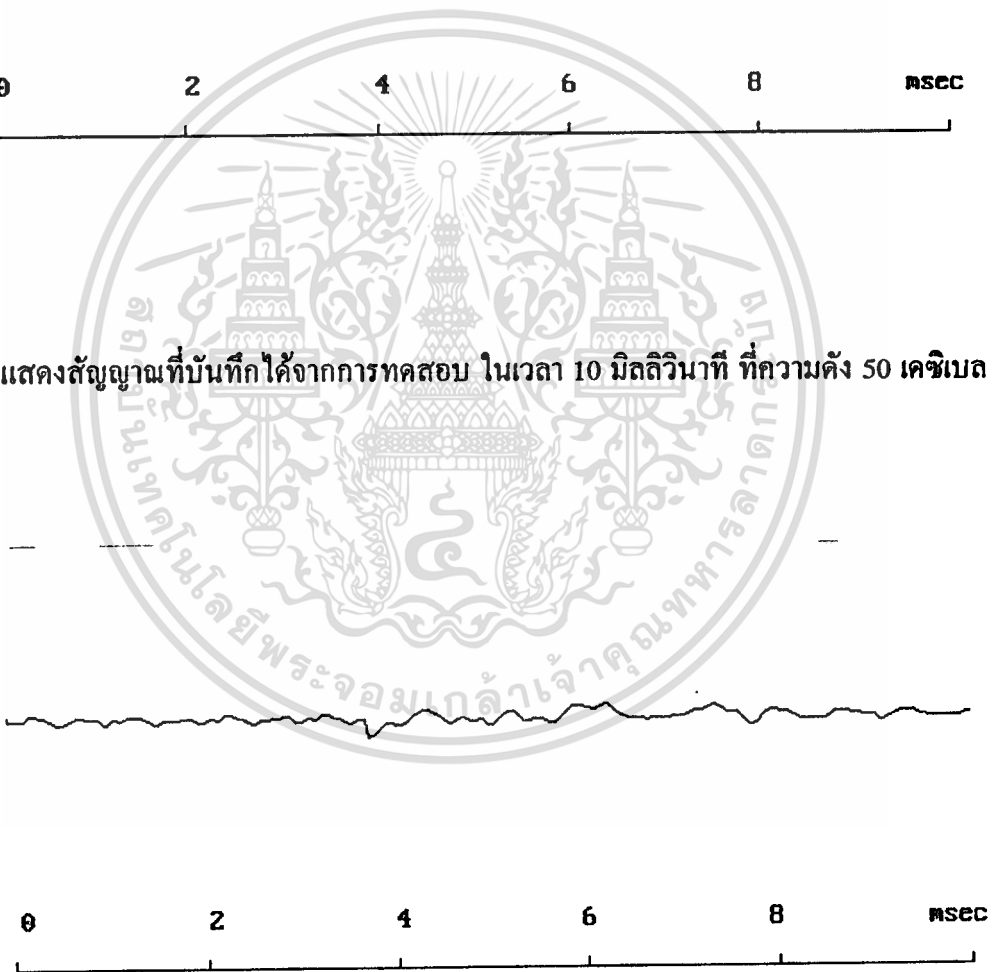


รูปที่ 8.3 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบ ในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 40 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

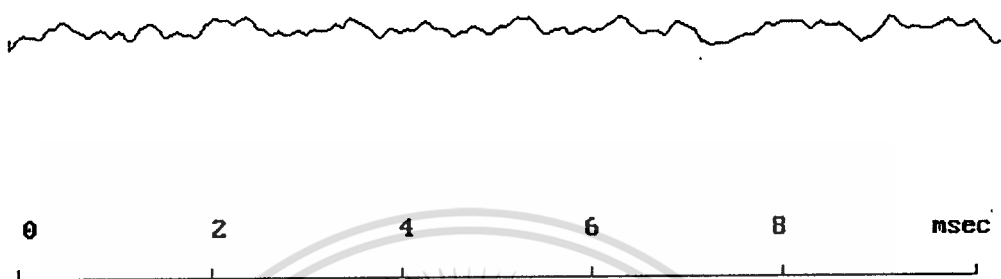


รูปที่ 8.4 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบ ในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความถี่ 50 เคนนิเบล

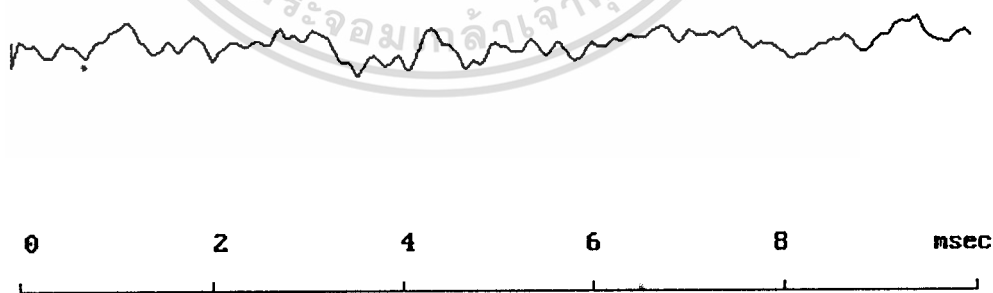


รูปที่ 8.5 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบ ในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความถี่ 60 เคนนิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.6 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบ ในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 70 เดซิเบล



รูปที่ 8.7 แสดงสัญญาณที่บันทึกได้จากการทดสอบ ในเวลา 10 มิลลิวินาที ที่ความดัง 80 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์

ส่วนประกอบที่สำคัญในโครงการนี้ แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของวงจรรขยาย การสร้างเสียงกระตุ้น และ การเก็บและแสดงสัญญาณบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วงจรรขยายที่ใช้ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงควรจะต้องมีอัตราขยาย 50,000 ถึง 200,000 เท่า ในช่วงความถี่ 100 เฮิรตซ์ ถึง 3 กิโลเฮิรตซ์ และควรมีค่า CMRR มาก ๆ^[7] ซึ่งวงจรรขยายที่ใช้ในโครงการนี้ เป็นวงจรรขยายผลต่างแบบอินสตรูเมนเตชัน ที่มีอัตราขยาย 200,000 เท่า ในช่วงความถี่ 100 เฮิรตซ์ ถึง 3 กิโลเฮิรตซ์ และมีค่า CMRR เท่ากับ 60 เดซิเบล โดยได้มีการใช้วงจรไม่ผ่านความถี่ 50 เฮิรตซ์ ที่ใช้การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเป็นแบบทวินที่ ในการลดทอนสัญญาณรบกวน 50 เฮิรตซ์ และได้มีการใช้อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสงเป็นการแยกกราวด์ เพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วย

ส่วนเสียงที่ใช้ในการกระตุ้นมีหลายแบบ เช่น คลิก ฟิลเตอร์คลิก โทนเบิรซ์ เป็นต้น โดยใช้ความถี่ในช่วงที่สามารถได้ยินได้ คือ 300 เฮิรตซ์ ถึง 4 กิโลเฮิรตซ์ และต้องใช้ที่ระดับความดังต่าง ๆ กัน ในโครงการนี้ได้เลือกใช้เสียงกระตุ้นแบบโทนเบิรซ์ ที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ และระดับความดัง 30 , 40 , 50 , 60 , 70 และ 80 เดซิเบล โดยการเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อสร้างเสียงที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ และเปลี่ยนระดับความดังด้วยการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณ แล้วนำไปทำการตัดต่อเพิ่มข้อมูลด้วยโปรแกรม Gold Wave ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ของการ์ดเสียง ให้ได้เป็นสัญญาณแบบโทนเบิรซ์

ในส่วนของการเก็บและแสดงผลสัญญาณ จะต้องใช้การกระตุ้นหลายครั้ง เพื่อนำสัญญาณที่ได้มาบวกกัน จะทำให้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงมีรูปแบบที่แน่นอน และจะทำให้สัญญาณรบกวนมีขนาดเล็กลง เนื่องจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ เกิดขึ้นแบบไม่เป็นระเบียบ สัญญาณที่ได้จะถูกเก็บ และแสดงผลบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งในโครงการนี้ได้ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซี เพื่อเก็บและรวมสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงทั้งหมด 2000 ครั้ง แล้วนำสัญญาณที่ได้ขึ้นแสดงผลบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์

แต่จากผลการทดสอบพบว่า สัญญาณที่วัดได้คาดว่า จะไม่ใช่สัญญาณที่ต้องการ เนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากก้านสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยเสียงมีขนาดเล็ก และสัญญาณรบกวนมีขนาดใหญ่กว่ามาก ซึ่งอาจเป็นสัญญาณรบกวนจากร่างกายผู้ป่วยจากการติดอิเล็กโทรดในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง หรือสัญญาฉบับรบกวนจากกราว์ของแหล่งจ่ายไฟ และวงจรขยายที่ไม่สามารถลดทอนด้วยวงจรรองความถี่ได้หมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Low-Noise Precision Operational Amplifier

OP-27

FEATURES

- **Low Noise** 80nV_{p-p} (0.1Hz to 10Hz)
..... 3nV/√Hz
- **Low Drift** 0.2μV/°C
- **High Speed** 2.8V/μs Slew Rate
..... 8MHz Gain Bandwidth
- **Low V_{OS}** 10μV
- **Excellent CMRR** 126dB at V_{CM} of ±11V
- **High Open-Loop Gain** 1.8 Million
- **Fits 725, OP-07, OP-05, AD510, AD517, 5534A sockets**
- **Available in Die Form**

ORDERING INFORMATION[†]

T _A = +25°C V _{OS} MAX (μV)	PACKAGE				OPERATING TEMPERATURE RANGE
	TO-99	CERDIP 8-PIN	PLASTIC 8-PIN	LCC 20-CONTACT	
25	OP27AJ*	OP27AZ*	-	-	MIL
25	OP27EJ	OP27EZ	OP27EP	-	INDICOM
60	OP27BJ*	OP27BZ*	-	OP27BR/883	MIL
60	OP27FJ	OP27FZ	OP27FP	-	INDICOM
100	OP27CJ	OP27CZ	-	-	MIL
100*	OP27GJ	OP27GZ	OP27GP	-	XIND
100	-	-	OP27GS††	-	XIND

* For devices processed in total compliance to MIL-STD-883, add /883 after part number. Consult factory for 883 data sheet.

† Burn-in is available on commercial and industrial temperature range parts in CerDIP, plastic DIP, and TO-can packages.

†† For availability and burn-in information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

GENERAL DESCRIPTION

The OP-27 precision operational amplifier combines the low offset and drift of the OP-07 with both high speed and low noise. Offsets down to 25μV and drift of 0.6μV/°C maximum make the OP-27 ideal for precision instrumentation applications. Exceptionally low noise, e_n = 3.5nV/√Hz, at 10Hz, a low 1/f noise corner frequency of 2.7Hz, and high gain (1.8 million), allow accurate high-gain amplification of low-level

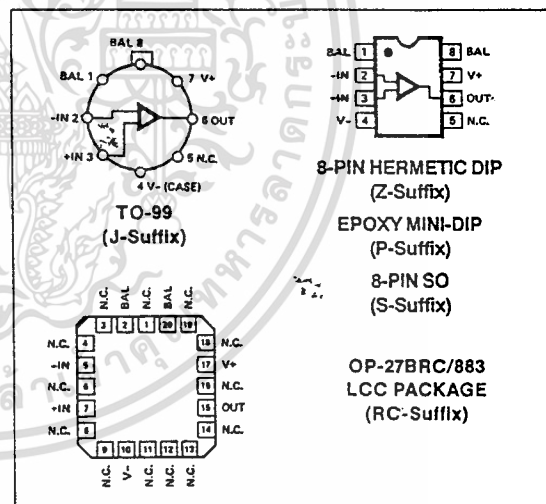
signals. A gain-bandwidth product of 8MHz and a 2.8V/μsec slew rate provides excellent dynamic accuracy in high-speed data-acquisition systems.

A low input bias current of ±10nA is achieved by use of a bias-current-cancellation circuit. Over the military temperature range, this circuit typically holds I_B and I_{OS} to ±20nA and 15nA respectively.

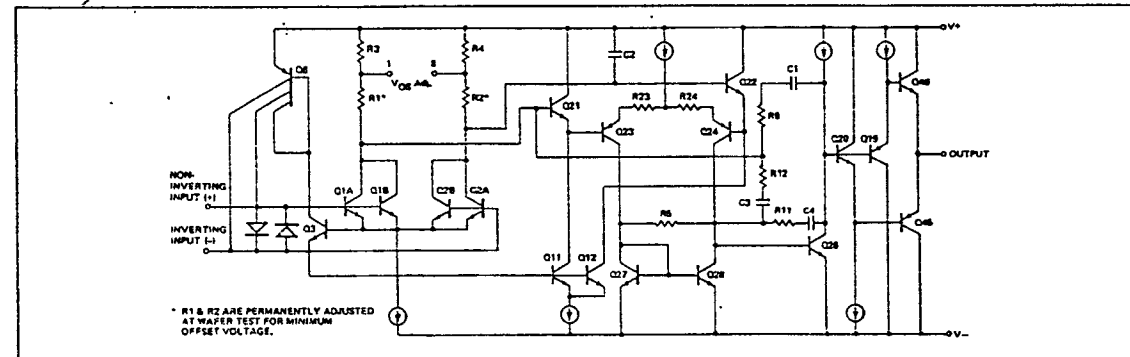
The output stage has good load driving capability. A guaranteed swing of ±10V into 600Ω and low output distortion make the OP-27 an excellent choice for professional audio applications.

PSRR and CMRR exceed 120dB. These characteristics, coupled with long-term drift of 0.2μV/month, allow the circuit designer to achieve performance levels previously attained only by discrete designs.

PIN CONNECTIONS



SIMPLIFIED SCHEMATIC



OP-27

Low cost, high-volume production of OP-27 is achieved by using an on-chip zener-zap trimming network. This reliable and stable offset trimming scheme has proved its effectiveness over many years of production history.

The OP-27 provides excellent performance in low-noise high-accuracy amplification of low-level signals. Applications include stable integrators, precision summing amplifiers, precision voltage-threshold detectors, comparators, and professional audio circuits such as tape-head and microphone preamplifiers.

The OP-27 is a direct replacement for 725, OP-06, OP-07 and OP-05 amplifiers; 741 types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 4)

Supply Voltage	±22V
Input Voltage (Note 1)	±22V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Differential Input Voltage (Note 2)	±0.7V
Differential Input Current (Note 2)	±25mA
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Operating Temperature Range

OP-27A, OP-27B, OP-27C (J, Z, RC)	-55°C to +125°C
OP-27E, OP-27F (J, Z)	-25°C to +85°C
OP-27E, OP-27F (P)	0°C to +70°C
OP-27G (P, S, J, Z)	-40°C to +85°C
Lead Temperature Range (Soldering, 60 sec)	300°C
Junction Temperature	-65°C to +150°C

PACKAGE TYPE	θ_{JA} (Note 3)	θ_{JC}	UNITS
TO-99 (J)	150	18	°C/W
8-Pin Hermetic DIP (Z)	148	16	°C/W
8-Pin Plastic DIP (P)	103	43	°C/W
20-Contact LCC (RC)	98	38	°C/W
8-Pin SO (S)	158	43	°C/W

NOTES:

- For supply voltages less than ±22V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- The OP-27's inputs are protected by back-to-back diodes. Current limiting resistors are not used in order to achieve low noise. If differential input voltage exceeds ±0.7V, the input current should be limited to 25mA.
- θ_{JA} is specified for worst case mounting conditions. I.e., θ_{JA} is specified for device in socket for TO, CerDIP, P-DIP, and LCC packages; θ_{JA} is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.
- Absolute maximum ratings apply to both DICE and packaged parts, unless otherwise noted.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-27A/E			OP-27B/F			OP-27C/G			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	10	25	—	20	60	—	30	100	μV
Long-Term V_{OS} Stability	$V_{OS}/Time$	(Notes 2, 3)	—	0.2	1.0	—	0.3	1.5	—	0.4	2.0	$\mu V/Mo.$
Input Offset Current	I_{OS}		—	7	35	—	9	50	—	12	75	nA
Input Bias Current	I_B		—	±10	±40	—	±12	±55	—	±15	±80	nA
Input Noise Voltage	e_{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Notes 3, 5)	—	0.08	0.18	—	0.08	0.18	—	0.09	0.25	$\mu V/p-p$
Input Noise Voltage Density	e_n	$f_O = 10Hz$ (Note 3)	—	3.5	5.5	—	3.5	5.5	—	3.8	8.0	nV/\sqrt{Hz}
		$f_O = 30Hz$ (Note 3)	—	3.1	4.5	—	3.1	4.5	—	3.3	5.6	
		$f_O = 1000Hz$ (Note 3)	—	3.0	3.8	—	3.0	3.8	—	3.2	4.5	
Input Noise Current Density	i_n	$f_O = 10Hz$ (Notes 3, 6)	—	1.7	4.0	—	1.7	4.0	—	1.7	—	pA/\sqrt{Hz}
		$f_O = 30Hz$ (Notes 3, 6)	—	1.0	2.3	—	1.0	2.3	—	1.0	—	
		$f_O = 1000Hz$ (Notes 3, 6)	—	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	0.4	0.6	
Input Resistance — Differential-Mode	R_{IN}	(Note 7)	1.3	6	—	0.94	5	—	0.7	4	—	M Ω
Input Resistance — Common-Mode	R_{INCM}		—	3	—	—	2.5	—	—	2	—	G Ω
Input Voltage Range	IVR		±11.0	±12.3	—	±11.0	±12.3	—	±11.0	±12.3	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 11V$	114	126	—	106	123	—	100	120	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 4V$ to $\pm 18V$	—	1	10	—	1	10	—	2	20	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	1000	1800	—	1000	1800	—	700	1500	—	V/mV
		$R_L \geq 600\Omega$, $V_O = \pm 10V$	800	1500	—	800	1500	—	600	1500	—	
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	±12.0	±13.8	—	±12.0	±13.8	—	±11.5	±13.5	—	V
		$R_L \geq 600\Omega$	±10.0	±11.5	—	±10.0	±11.5	—	±10.0	±11.5	—	
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$ (Note 4)	1.7	2.8	—	1.7	2.8	—	1.7	2.8	—	V/ μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted. (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-27A/E			OP-27B/F			OP-27C/G			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Gain Bandwidth Prod.	GBW	(Note 4)	5.0	8.0	—	5.0	8.0	—	5.0	8.0	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	R_O	$V_O = 0, I_O = 0$	—	70	—	—	70	—	—	70	—	Ω
Power Consumption	P_D	V_O	—	90	140	—	90	140	—	100	170	mW
Offset Adjustment Range		$R_P = 10k\Omega$	—	± 4.0	—	—	± 4.0	—	—	± 4.0	—	mV

- NOTES:**
- Input offset voltage measurements are performed ~ 0.5 seconds after application of power. A/E grades guaranteed fully warmed-up.
 - Long-term input offset voltage stability refers to the average trend line of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 days are typically $2.5\mu V$ — refer to typical performance curve.
 - Sample tested.
 - Guaranteed by design.
 - See test circuit and frequency response curve for 0.1Hz to 10Hz tester.
 - See test circuit for current noise measurement.
 - Guaranteed by input bias current.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-27A			OP-27B			OP-27C			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	30	60	—	50	200	—	70	300	μV
Average Input Offset Drift	TCV_{OS} TCV_{OSn}	(Note 2) (Note 3)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	—	0.4	1.8	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{OS}		—	15	50	—	22	85	—	30	135	nA
Input Bias Current	I_B		—	± 20	± 60	—	± 28	± 95	—	± 35	± 150	nA
Input Voltage Range	IVR		± 10.3	± 11.5	—	± 10.3	± 11.5	—	± 10.2	± 11.5	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 10V$	108	122	—	100	119	—	94	118	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 4.5V$ to $\pm 18V$	—	2	16	—	2	20	—	4	51	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega, V_O = \pm 10V$	600	1200	—	500	1000	—	300	800	—	V/mV
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	± 11.5	± 13.5	—	± 11.0	± 13.2	—	± 10.5	± 13.0	—	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ for OP-27J and OP-27Z, $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ for OP-27EP, FP and $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ for OP-27GP, GS, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-27E			OP-27F			OP-27G			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}		—	20	50	—	40	140	—	55	220	μV
Average Input Offset Drift	TCV_{OS} TCV_{OSn}	(Note 2) (Note 3)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	—	0.4	1.8	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{OS}		—	10	50	—	14	85	—	20	135	nA
Input Bias Current	I_B		—	± 14	± 60	—	± 18	± 95	—	± 25	± 150	nA
Input Voltage Range	IVR		± 10.5	± 11.8	—	± 10.5	± 11.8	—	± 10.5	± 11.8	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 10V$	110	124	—	102	121	—	96	118	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 4.5V$ to $\pm 18V$	—	2	15	—	2	16	—	2	32	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega, V_O = \pm 10V$	750	1500	—	700	1300	—	450	1000	—	V/mV
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	± 11.7	± 13.6	—	± 11.4	± 13.5	—	± 11.0	± 13.3	—	V

- NOTES:**
- Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power. A/E grades guaranteed fully warmed-up.
 - The TCV_{OS} performance is within the specifications unnullled or when nullled with $R_P = 8k\Omega$ to $20k\Omega$. TCV_{OS} is 100% tested for A/E grades, sample tested for B/C/F/G grades.
 - Guaranteed by design.

Appendix B5

μA 741 Operational Amplifier

GENERAL DESCRIPTION — The μA741 is a high performance monolithic Operational Amplifier constructed using the Fairchild Planar* epitaxial process. It is intended for a wide range of analog applications. High common mode voltage range and absence of latch-up tendencies make the μA741 ideal for use as a voltage follower. The high gain and wide range of operating voltage provides superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications. Electrical characteristics of the μA741A and E are identical to MIL-M-38510/10101.

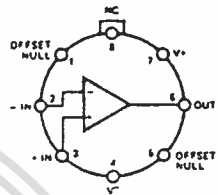
- NO FREQUENCY COMPENSATION REQUIRED
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OFFSET VOLTAGE NULL CAPABILITY
- LARGE COMMON MODE AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGES
- LOW POWER CONSUMPTION
- NO LATCH-UP

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage		±12 V
μA741A, μA741, μA741E		±18 V
μA741C		
Internal Power Dissipation (Note 1)		
Metal Can	500 mW	
Molded and Hermetic DIP	670 mW	
Mini DIP	310 mW	
Flatpak	570 mW	
Differential Input Voltage	±30 V	
Input Voltage (Note 2)	±15 V	
Storage Temperature Range		
Metal Can, Hermetic DIP, and Flatpak	-65°C to +150°C	
Mini DIP, Molded DIP	-66°C to +125°C	
Operating Temperature Range		
Military (μA741A, μA741)	-55°C to +125°C	
Commercial (μA741E, μA741C)	0°C to +70°C	
Lead Temperature (Soldering)		
Metal Can, Hermetic DIPs, and Flatpak (60 s)	300°C	
Molded DIPs (10 s)	260°C	
Output Short Circuit Duration (Note 3)		Indefinite

CONNECTION DIAGRAMS

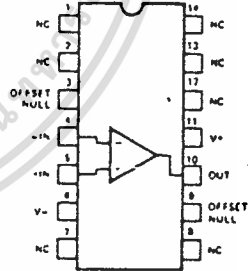
8-LEAD METAL CAN (TOP VIEW) PACKAGE OUTLINE 5B



Note: Pin 4 connected to case

ORDER INFORMATION	
TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AHM
μA741	μA741HM
μA741E	μA741EHC
μA741C	μA741HC

14-LEAD DIP (TOP VIEW) PACKAGE OUTLINE 6A, 9A

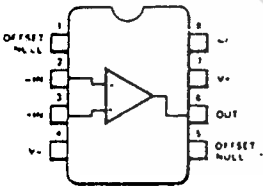


ORDER INFORMATION	
TYPE	PART NO.
μA741A	μA741ADM
μA741	μA741DM
μA741E	μA741EDC
μA741C	μA741DC
μA741C	μA741FC

* Planar is a patented Fairchild process.

8-LEAD MINIDIP (TOP VIEW)

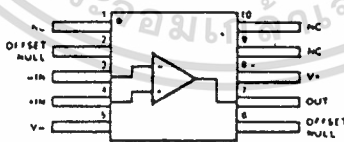
PACKAGE OUTLINES 6T 9T
PACKAGE CODES T R



ORDER INFORMATION	
TYPE	PART NO.
μA741C	μA741TC
μA741C	μA741RC

10-LEAD FLATPAK (TOP VIEW)

PACKAGE OUTLINE 3F



ORDER INFORMATION	
TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AFM
μA741	μA741FM

Notes on following pages.

Reprinted courtesy of Fairchild Semiconductor Corp., Mt. View, California.

Appendix B5 (Continued)

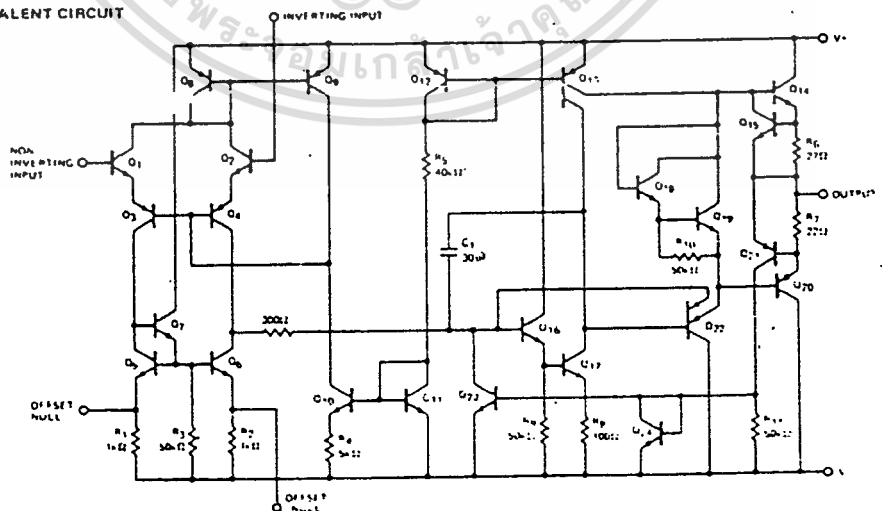
FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUITS • $\mu A741$

$\mu A741E$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

PARAMETERS (see definitions)	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$R_S < 50\Omega$		0.8	3.0	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current			3.0	30	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5	nA/°C
Input Bias Current			30	80	nA
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = +10, -20; V_S = +20, -10V, R_S = 50\Omega$		15	50	$\mu V/V$
Output Short Circuit Current		10	25	35	mA
Power Dissipation	$V_S = \pm 20V$		80	150	mW
Input Impedance	$V_S = \pm 20V$	1.0	6.0		M Ω
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 20V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 15V$	50			V/mV
Transient Response (Unity Gain)	Rise Time		0.25	0.8	μs
	Overshoot		6.0	20	%
Bandwidth (Note 4)		.437	1.5		MHz
Slew Rate (Unity Gain)	$V_{IN} = \pm 10V$	0.3	0.7		V/ μs
The following specifications apply for $0^\circ C < T_A < 70^\circ C$					
Input Offset Voltage				4.0	mV
Input Offset Current				70	nA
Input Bias Current				210	nA
Common Mode Rejection Ratio	$V_S = \pm 20V, V_{IN} = \pm 15V, R_S = 50\Omega$	80	95		dB
Adjustment For Input Offset Voltage	$V_S = \pm 20V$	10			mV
Output Short Circuit Current		10		40	mA
Power Dissipation	$V_S = \pm 20V$			150	mW
Input Impedance	$V_S = \pm 20V$	0.5			M Ω
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V, R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$.16			V
		.15			V
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 20V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 15V$	32			V/mV
	$V_S = \pm 5V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 2V$	10			V/mV

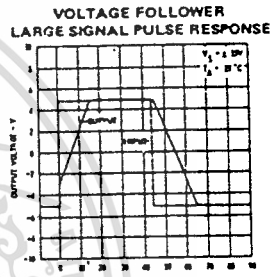
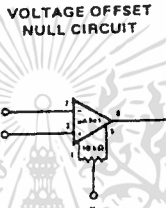
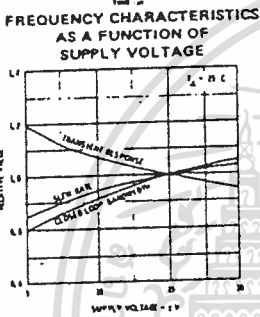
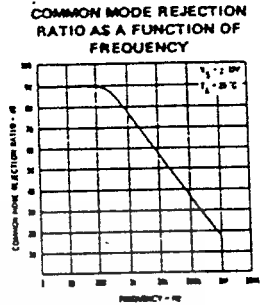
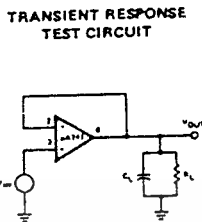
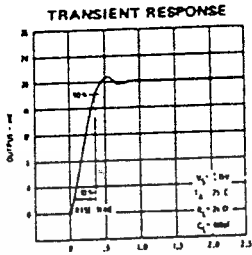
EQUIVALENT CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

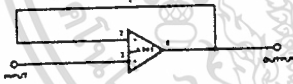
Appendix B5 (Continued)

FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUITS • $\mu A741$



TYPICAL APPLICATIONS

UNITY-GAIN VOLTAGE FOLLOWER



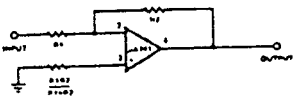
$R_{IN} = 400 \text{ M}\Omega$
 $C_{IN} = 1 \text{ pF}$
 $R_{OUT} \ll 1 \Omega$
 $B.W. = 1 \text{ MHz}$

NON-INVERTING AMPLIFIER



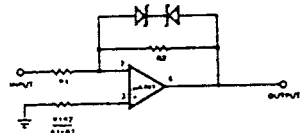
GAIN	R1	R2	BW	R _{IN}
10	1 k Ω	9 k Ω	100 kHz	400 M Ω
100	100 Ω	99 k Ω	10 kHz	280 M Ω
1000	100 Ω	999 k Ω	1 kHz	80 M Ω

INVERTING AMPLIFIER



GAIN	R1	R2	BW	R _{IN}
1	10 k Ω	10 k Ω	1 MHz	10 k Ω
10	1 k Ω	10 k Ω	100 kHz	1 k Ω
100	100 Ω	100 k Ω	10 kHz	1 k Ω
1000	10 Ω	100 k Ω	1 kHz	100 Ω

CLIPPING AMPLIFIER



$$\frac{E_{OUT}}{E_{IN}} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{if } |E_{OUT}| < V_Z - 0.7 \text{ V}$$

where V_Z = Zener breakdown voltage

Use the LM158/LM258/ LM358 Dual, Single Supply Op Amp

National Semiconductor
Application Note 116



INTRODUCTION

Use the LM158/LM258/LM358 dual op amp with a single supply in place of the LM1458/LM1558 with split supply and reap the profits in terms of:

- Input and output voltage range down to the negative (ground) rail
- Single supply operation
- Lower standby power dissipation
- Higher output voltage swing
- Lower input offset current
- Generally similar performance otherwise

The main advantage, of course, is that you can eliminate the negative supply in many applications and still retain equivalent op amp performance. Additionally, and in some cases more importantly, the input and output levels are permitted to swing down to ground (negative rail) potential. Table I shows the relative performance of the two in terms of guaranteed and/or typical specifications.

In many applications the LM158/LM258/LM358 can also be used directly in place of LM1558 for split supply operation.

SINGLE SUPPLY OPERATION

The LM1458/LM1558 or similar op amps exhibit several important limitations when operated from a single positive (or negative) supply. Chief among these is that input and output signal swing is severely limited for a given supply as shown in Figure 1. For linear operation, the input voltage must not reach within 3 volts of ground or of the supply, and output range is similarly limited to within 3-5 volts of ground or supply. This means that operation with a +12V supply could be limited as low as 2 Vp-p output swing. The LM358 however, allows a 10.5 Vp-p output swing for the same 12V supply. Admittedly these are worst case specification limits, but they serve to illustrate the problem.

TABLE I. Comparison of Dual Op Amps LM1458 and LM358

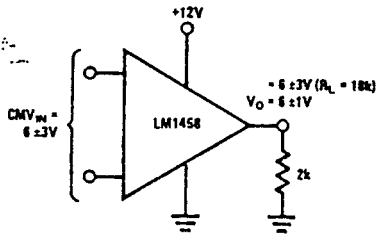
Characteristic	LM1458	LM358
V_{IO}	6 mV Max	7 mV Max
CM V_I	24 Vp-p*	0-28.5V*
I_{IO}	200 nA	50 nA
I_{OB}	500 nA	-500 nA
CMRR	60 dB Min @ 100 Hz 90 dB Typ	85 dB Typ @ DC
\bar{e}_n @ 1 kHz, R_{GEN} 10 k Ω	45 nV/ \sqrt{Hz} Typ	40 nV/ \sqrt{Hz} Typ**
Z_{IN}	200 M Ω Typ	Typ 100 M Ω
A_{VOL}	20k Min 100k Typ	100k Typ
f_c	1.1 MHz Typ	1 MHz Typ**
P_{BW}	14 kHz Typ	11 kHz Typ**
dV_o/dt	0.8V/ μ s Typ	0.5V/ μ s Typ**
V_o @ $R_L = 10k/2k$	24/20 Vp-p*	28.5 Vp-p
I_{SC}	20 mA Typ	Source 20 mA Min (40 Typ) Sink 10 mA Min (20 Typ)
PSRR @ DC	37 dB Min 90 dB Typ	100 dB Typ
I_D ($R_L = \infty$)	8 mA Max	2 mA Max

†From laboratory measurement

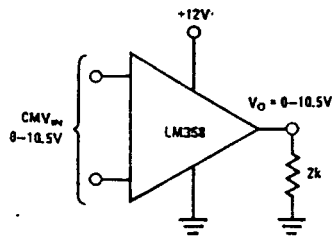
*Based on $V_S = 30V$ on LM358 only, or $V_S = \pm 15V$

**From data sheet typical curves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

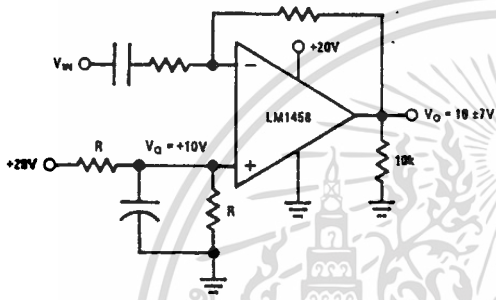


TL/H/7424-1

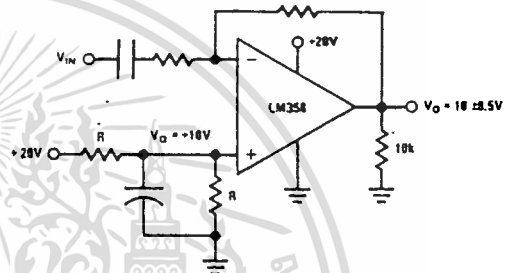


TL/H/7424-2

FIGURE 1. Worst Case Signal Levels with +12V Supply



TL/H/7424-3



TL/H/7424-4

FIGURE 2. Operating with AC Signals

AC GAIN

For AC signals the input can be capacitor coupled. The input common mode and quiescent output voltages are fixed at one-half the supply voltage by a resistive divider at the non-inverting input as shown in Figure 2. This quiescent output could be set at a lower voltage to minimize power dissipation in the LM358, if desired, so long as $V_Q \geq V_{IN\text{ pk}}$. For the LM1458 the quiescent output must be higher, $V_Q \geq 3V + V_{IN\text{ pk}}$ thus, for small signals, power dissipation is much greater with the LM1458. Example: Required $V_Q = V_Q \pm 1V$ pk into 2k, $V_{SUPPLY} =$ as required. Find quiescent dissipation in load and amplifier for LM1458 and LM358.

LM358

$$V_Q = +1V$$

$$V_{SUPPLY} = +3.5V$$

$$P_{LOAD} = \frac{E_L^2}{R_L} = \frac{1}{2k} = 0.5\text{ mW}$$

$$P_D = V_{S1}I_S^* + (V_S - V_Q)I_L$$

$$= 3.5V \times 0.7\text{ mA} + (3.5 - 1)\frac{1V}{2k}$$

$$P_D = 2.45 + 1.25 = 3.7\text{ mW}$$

$$P_{TOTAL} = 3.7 + 0.5 = 4.2\text{ mW}$$

*From typical characteristics

LM1458

$$V_Q = 4V$$

$$V_{SUPPLY} = 8V$$

$$P_{LOAD} = \frac{42}{2k} = 8\text{ mW}$$

$$P_D = P_D^* + (V_S - V_Q)I_L$$

$$= 22\text{ mW} + (8 - 4)\frac{4V}{2k}$$

$$P_D = 22 + 8 = 30\text{ mW}$$

$$P_{TOTAL} = 30 + 8 = 38\text{ mW}$$

*From typical characteristics

The LM1458 requires over twice the supply voltage and nearly 10 times the supply power of the LM358 in this application.

INVERTING DC GAIN

Connections and biasing for DC inverting gain are essentially the same as for the AC coupled case. Note, of course, that the output cannot swing negative when operated from a single positive supply. Figure 3 shows the connections and signal limitations.

NON-INVERTING DC GAIN

The non-inverting gain connection does not require the V_Q biasing as before; the inverting input can be returned to ground in the usual manner for gains greater than unity, (see Figure 4). A tremendous advantage of the LM358 in this connection is that input signals and output may extend all the way to ground; therefore DC signals in the low-millivolt range can be handled. The LM1458 still requires that $V_{IN} = 3 - 17V$. Therefore maximum gain is limited to $A_V = (V_Q - 3)/3$, or $A_V\text{ max} = 5.4$ for a 20V supply.

There is no similar limitation for the LM358.

ZERO T.C. INPUT BIAS CURRENT

An interesting and unusual characteristic is that I_{IN} has a zero temperature coefficient. This means that matched resistance is not required at the input, allowing omission of one resistor per op amp from the circuit in most cases.

BALANCED SUPPLY OPERATION

The LM358 will operate satisfactorily in balanced supply operation so long as a load is maintained from output to the negative supply.

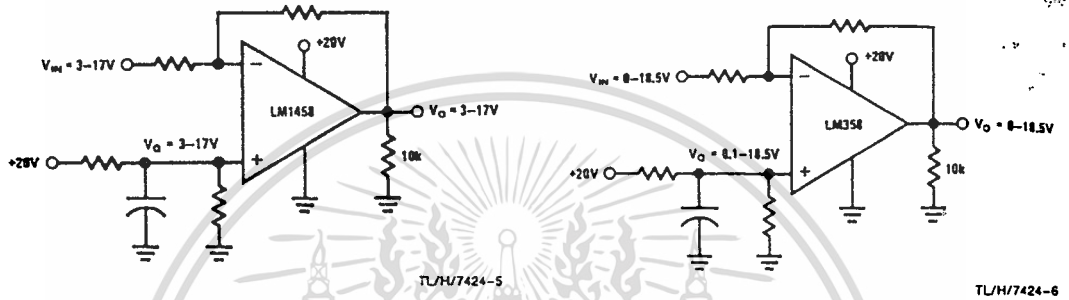


FIGURE 3. Typical DC Coupled Inverting Gain

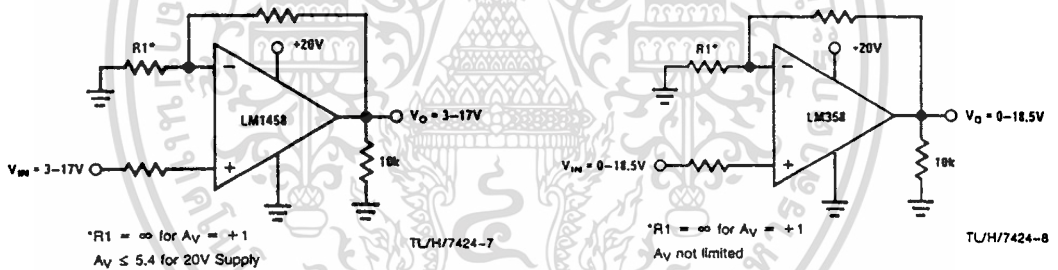
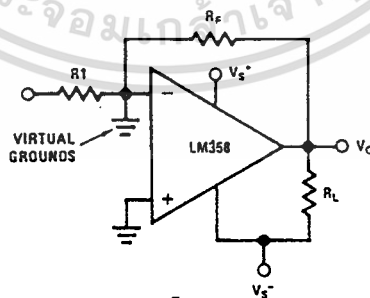


FIGURE 4. Typical DC Coupled Non-Inverting Gain



Crossover (distortion) occurs at $V_O = V_S^- \frac{R_F}{R_L + R_F}$

FIGURE 5. Split Supply Operation of LM358

6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

... consist of gallium-arsenide infrared emitting diodes optically coupled to high voltage, silicon, phototransistor detectors in a standard 6-pin DIP package. They are designed for applications requiring high voltage output and are particularly useful in copy machines and solid state relays.

- High Voltage — H11D1,2 — 300 V
 — H11D3,4 — 200 V
- High Isolation Voltage — $V_{ISO} = 7500$ Vac pk Min
- Standard 6-Pin DIP Package
- UL Recognized, File Number E54915
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/883
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Forward Current — Peak Pulse Width = 1 μs , 330 pps	I_F	1.2	Amps
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	120 1.41	mW mW/°C

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Voltage	H11D1,2 H11D3,4	V_{CER}	300 200	Volts
Emitter-Collector Voltage		V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	H11D1,2 H11D3,4	V_{CBO}	300 200	Volts
Collector Current — Continuous		I_C	100	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C		P_D	150 1.76	mW mW/°C

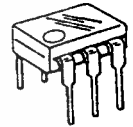
TOTAL DEVICE

Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/°C
Operating Temperature Range	T_J	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T_{sol}	260	°C
Isolation Surge Voltage Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration (1)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)

(1) Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating.

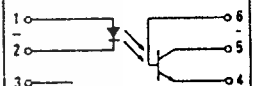
H11D1
H11D2
H11D3
H11D4

6-PIN DIP
OPTOISOLATORS
TRANSISTOR OUTPUT
200 AND 300 VOLTS



CASE 730A-02
PLASTIC

SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

INPUT LED ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Reverse Leakage Current ($V_R = 6\text{ V}$)	I_R	—	—	10	μA
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.2	1.5	Volts
Capacitance ($V = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$)	C	—	18	—	pF

OUTPUT TRANSISTOR ($T_A = 25^\circ\text{C}$ and $I_F = 0$ unless otherwise noted)

Collector-Emitter Dark Current ($R_{BE} = 1\text{ M}\Omega$) ($V_{CE} = 200\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$) ($V_{CE} = 100\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$) ($T_A = 100^\circ\text{C}$)	H11D1,2 H11D3,4 All Devices	I_{CER}	— — —	— — —	100 100 250	nA nA μA
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$)	H11D1,2 H11D3,4	$V_{(BR)CBO}$	— —	— —	300 200	Volts
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}, R_{BE} = 1\text{ M}\Omega$)	H11D1,2 H11D3,4	$V_{(BR)CER}$	— —	— —	300 200	Volts
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 100\ \mu\text{A}$)		$V_{(BR)EBO}$	7	—	—	Volts

COUPLED ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Current Transfer Ratio ($V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}, R_{BE} = 1\text{ M}\Omega$)	H11D1,2,3 H11D4	CTR	20 10	— —	— —	%
Surge Isolation Voltage (Input to Output) (1) Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec		V_{ISO}	7500	—	—	Volts
Isolation Resistance (1) ($V = 500\text{ V}$)		R_{ISO}	—	10^{11}	—	Ohms
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 0.5\text{ mA}, I_F = 10\text{ mA}, R_{BE} = 1\text{ M}\Omega$)		$V_{CE(sat)}$	—	—	0.4	Volts
Isolation Capacitance (1) ($V = 0, f = 1\text{ MHz}$)		C_{ISO}	—	0.2	—	pF
Turn-On Time	$V_{CC} = 10\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}, R_L = 100\ \Omega$	t_{on}	—	5	—	μs
Turn-Off Time		t_{off}	—	5	—	

NOTE: 1. For this test LED Pins 1 and 2 are common and phototransistor Pins 4, 5, and 6 are common.

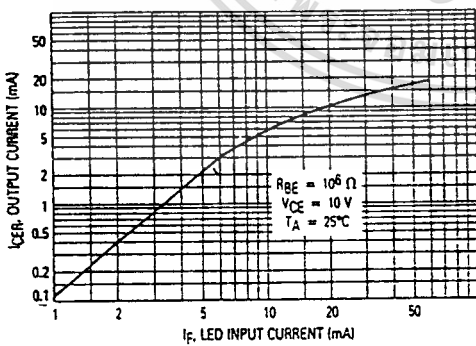


Figure 1. Output Current versus LED Input Current

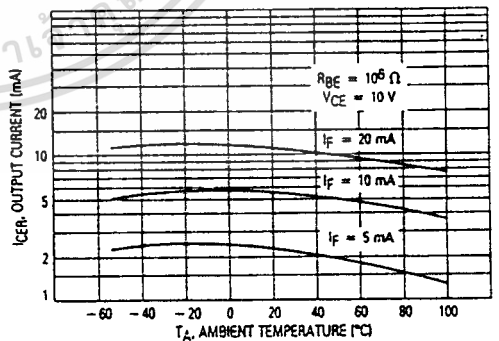


Figure 2. Output Current versus Temperature

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

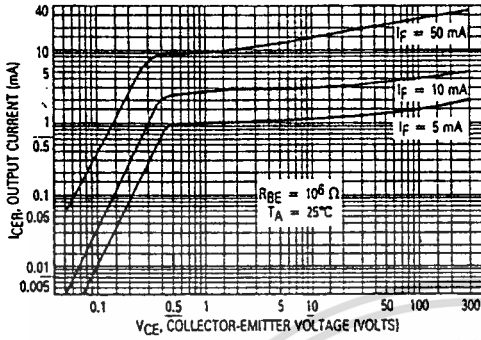


Figure 3. Output Characteristics

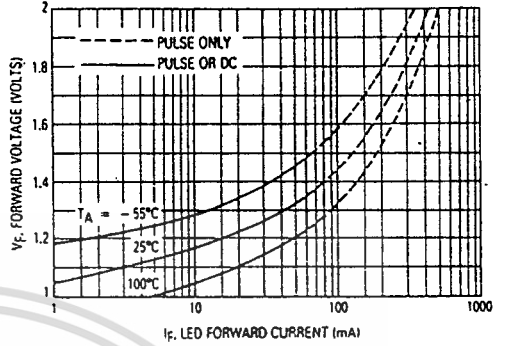


Figure 4. Forward Characteristics

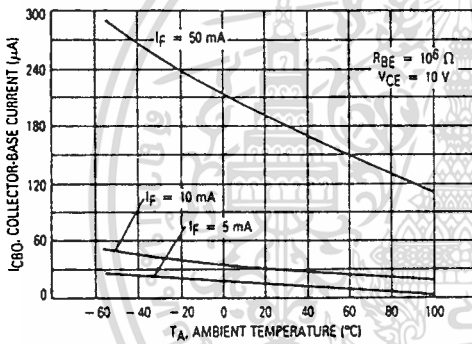


Figure 5. Collector-Base Current versus Temperature

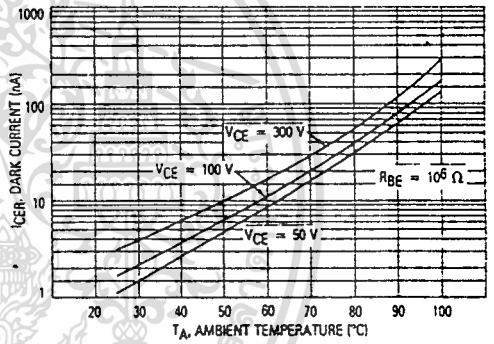
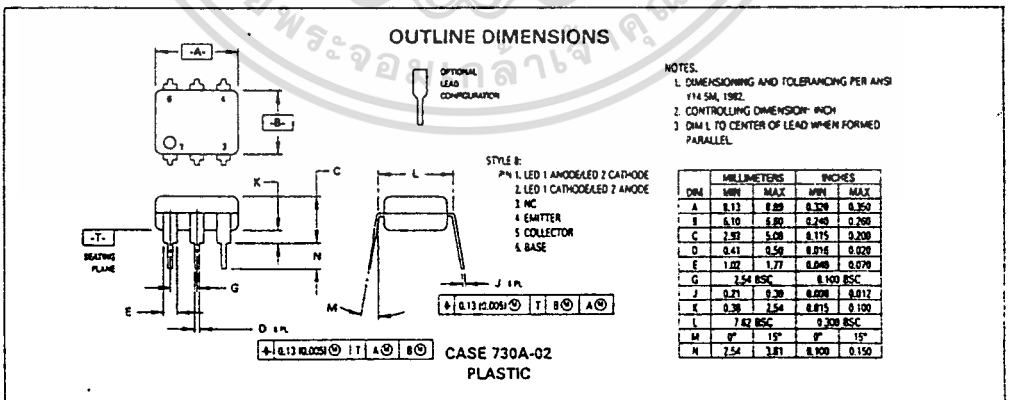


Figure 6. Dark Current versus Temperature



ภาคผนวก ข)

```
#include<dos.h>
#include<conio.h>
#include<stdio.h>
#include<graphics.h>
#include <io.h>
#include <ctype.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#define FALSE 0
#define TRUE 1
void Display(int a,unsigned int b);
void smooth(void *ptr);
void main2(void);
void startsnd(void *ptr);
void playsnd(void);
unsigned getsndstat(void);
void pausesnd(void);
void resumesnd(void);
void stopsnd(void);
void line10(void);
void line400(void);
int FindDvr (char *IDStr,unsigned int IDOff);
void textwindow (int x1,int y1,int x2,int y2,int fcolor,int bcolor);
FILE *patfile1,*outfile,*fi,*patfile2;
char file[12],name[15];
void main()
{
```

เอกสารนี้เป็น **int gdriver=DETECT,gmode;** งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned char far *mem,lsb,msb;

unsigned int A,B,sum;

unsigned long int i;

int P[8][7],D[8][4];

int T1,T2,AP,AM,AL,SIMint,g,t,ch,pp,num,mux;

short int s;

char path[20],f[20],*again,*ptr;

int BS=0x8;

int BA=0x0000;

int PORT= 0x2E0; /* PA-MA12(-H) port address */

repeat: clrscr();

textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);

textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);

gotoxy(23,7);

cprintf("SELECT : ");

gotoxy(23,9);

cprintf("1. RUN SIGNAL");

gotoxy(23,11);

cprintf("2. LOAD FILE TO DISPLAY");

gotoxy(23,13);

cprintf("3. QUIT");

gotoxy(23,16);

cprintf("OPERATION THAT YOU WANT : ");

scanf("%d",&num);

if(num>3) goto repeat;

if(num==2)

{

main2();

goto repeat;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(num==3)
{
    textbackground(BLACK);
    textcolor(7);
    clrscr();
    return;
}
SIMint=FindDvr("SBSIM",0x0103);
if(SIMint==0)
{
    textbackground(BLACK);
    textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
    gotoxy(23,11);
    cprintf("SBSIM driver is not loaded !");
    getch();
    textbackground(BLACK);
    textcolor(7);
    clrscr();
    return;
}
do
{
    t=1;
    clrscr();
    textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);
    textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
    gotoxy(22,7);
    cprintf("SELECT VOICE FILE :");
    gotoxy(22,9);
    cprintf("1. 30 dBใช้งานเพื่อ 2. 40 dB");
}

```

```

gotoxy(22,11);
printf("3. 50 dB          4. 60 dB");
gotoxy(22,13);
printf("5. 70 dB          6. 80 dB");
gotoxy(22,16);
printf("OPERATION THAT YOU WANT : ");
scanf("%d",&num);
switch(num) .
{
case 1:fi=fopen("c:\sound30.voc","rb");
        break;
case 2:fi=fopen("c:\sound40.voc","rb");
        break;
case 3:fi=fopen("c:\sound50.voc","rb");
        break;
case 4:fi=fopen("c:\sound60.voc","rb");
        break;
case 5:fi=fopen("c:\sound70.voc","rb");
        break;
case 6:fi=fopen("c:\sound80.voc","rb");
        break;
default:t=0;
}
}while(t==0);
clrscr();
textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);
textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
gotoxy(17,8);
printf("Please enter file name (*.dat) : ");
gotoxy(17,10);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

name[0]=12;
ptr=cgets(name);
patfile1=fopen(ptr,"wb");
clrscr();
textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);
textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
gotoxy(22,8);
cprintf("SELECT TIME SCALE : ");
gotoxy(22,10);
cprintf("1. 10 msec");
gotoxy(22,12);
cprintf("2. 400 msec");
gotoxy(22,15);
cprintf("OPERATION THAT YOU WANT : ");
scanf("%d",&num);

```

/* 8 bit DMA port address -----*/

```

P[0][0]=0x87 ; P[1][0]=0x83 ; P[3][0]=0x82; /* DMA page register address */
P[0][1]=0x00 ; P[1][1]=0x02 ; P[3][1]=0x06; /* DMA current address register */
P[0][2]=0x01 ; P[1][2]=0x03 ; P[3][2]=0x07; /* DMA word counter register */
P[0][3]=0x08 ; P[1][3]=0x08 ; P[3][3]=0x08; /* Byte-transfer DMA status register */
P[0][4]=0x0A ; P[1][4]=0x0A ; P[3][4]=0x0A; /* Byte-transfer DMA mask register */
P[0][5]=0x0B ; P[1][5]=0x0B ; P[3][5]=0x0B; /* Byte-transfer DMA mode register */
P[0][6]=0x0C ; P[1][6]=0x0C ; P[3][6]=0x0C; /*Byte-transfer DMA clear flip-flop register */

```

/* 8 bit DMA commands ----- */

```

D[0][0]=0x44 ; D[1][0]=0x45 ; D[3][0]=0x47; /* DMA mode command */
D[0][1]=0x00 ; D[1][1]=0x01 ; D[3][1]=0x03; /* DMA enable command */
D[0][2]=0x04 ; D[1][2]=0x05 ; D[3][2]=0x07; /* DMA disable command */
D[0][3]=0x01 ; D[1][3]=0x02 ; D[3][3]=0x08; /* DMA complete status */

```

```

/* 16 bit DMA port address ----- */
P[5][0]=0x8B ; P[6][0]=0x89 ; P[7][0]=0x8A; /* DMA page register address */
P[5][1]=0xC4 ; P[6][1]=0xC8 ; P[7][1]=0xCC; /* DMA current address register */
P[5][2]=0xC6 ; P[6][2]=0xCA ; P[7][2]=0xCE; /* DMA word counter register */
P[5][3]=0xD0 ; P[6][3]=0xD0 ; P[7][3]=0xD0; /* Word-transfer DMA status register */
P[5][4]=0xD4 ; P[6][4]=0xD4 ; P[7][4]=0xD4; /* Word-transfer DMA mask register */
P[5][5]=0xD6 ; P[6][5]=0xD6 ; P[7][5]=0xD6; /* Word-transfer DMA mode register */
P[5][6]=0xD8 ; P[6][6]=0xD8 ; P[7][6]=0xD8; /* Word-transfer DMA clear flip-flop register */

```

```

/* 16 bit DMA commands ----- */
D[5][0]=0x45 ; D[6][0]=0x46 ; D[7][0]=0x47; /* DMA mode command */
D[5][1]=0x01 ; D[6][1]=0x02 ; D[7][1]=0x03; /* DMA enable command */
D[5][2]=0x05 ; D[6][2]=0x06 ; D[7][2]=0x07; /* DMA disable command */
D[5][3]=0x02 ; D[6][3]=0x04 ; D[7][3]=0x08; /* DMA complete status */

```

```

/* Select DMA channel ----- */
ch=7;

```

```

/* Determine memory location ----- */
BS=8;

```

```

/* Determine conversion frequency ----- */

```

```

switch(num)
{
    case 1: T2=4; T1=40;
            break;
    case 2: T2=40; T1=1000;
            break;

```

```
/*Select conversion channels -----*/
```

```
    mux=0;
```

```
    mux=(mux*16+mux);
```

```
    initgraph(&gdriver,&gmode,"");
```

```
/* Disable DMA transfer first -----*/
```

```
outp(PORT+3,0);          /* (1-1) Disable A/D DMA request*/
```

```
outp(P[ch][4],D[ch][2]); /* (1-2) Disable DMA transfer */
```

```
/* Define the A/D channel MUX -----*/
```

```
outp(PORT+2,mux);       /* (2) Convert channel 0 to channel 7*/
```

```
/*Initial 8254 Timer -----*/
```

```
outp(PORT+15,0xB4);     /* (3-1) 8254 Counter 2 Mode */
```

```
outp(PORT+14,(T2%256)); /* (3-2) 8254 Counter 2 LSB */
```

```
outp(PORT+14,(int)(T2/256)); /* (3-3) 8254 Counter 2 MSB */
```

```
outp(PORT+15,0x74);     /*(3-4) 8254 Counter 1 Mode */
```

```
outp(PORT+13,(T1 % 256)); /*(3-5) 8254 Counter 1 LSB */
```

```
outp(PORT+13,(int)(T1/256)); /*(3-6) 8254 Counter 1 MSB */
```

```
/*Initial DMA controller -----*/
```

```
AP=BS;                  /*Page register  A19-A16 */
```

```
AM=(int)(BA/256);       /*Base address MSB A15-A08 */
```

```
AL=BA % 256;           /*Base address LSB A07-A00 */
```

```
outp(P[ch][6],0);      /*(4-1) Clear DMA F-F */
```

```
outp( P[ch][1],AL);    /*(4-2) DMA address A00-A07 or A01-A08*/
```

```
outp( P[ch][1],AM);    /*(4-3) DMA address A08-A15 or A09-A16*/
```

```
outp( P[ch][0],AP);    /*(4-4) DMA address A16-A19 or A17-A23*/
```

```
outp( P[ch][2],0x3D);  /*(5-1) DMA word W00-W07*/
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outp( P[ch][2],0x01);//(int)(DL/256));          /*(5-2) DMA word W08-W15*/
outp( P[ch][5],D[ch][0]);                      /*(6) Write DMA mode */
startsnd(&path);
playsnd();
outp( P[7][4],D[7][1]);                      /*(7) Enable DMA */

/*Enable PA-MA12 DMA transfer and 8254 Timer Trigger -----*/

outp(PORT+3,0x0C);                            /*(8) Enable PM-MA12 DMA */

/*Check conversion status-----*/
do
{
    s= inp(P[ch][3]) & D[ch][3];              /*(R-1) Read DMA status */
    outp(P[ch][6],0);                          /*(R-2) Clear DMA F-F */
} while (s==0);

/*Disable DMA transfer first -----*/
outp(PORT+3,0);                               /*(S-1) Disable A/D command */
outp(P[7][4],D[7][2]); /*(S-2) Disable DMA transfer */
mem=(unsigned char far *)MK_FP(0x8000,0x0000);
for (i=0;i<318;i++)
{
    lsb=*mem;
    msb=*(mem+1);
    A=((msb*16)+(lsb/16))/10;
    fwrite(&A,sizeof(unsigned int),1,patfile1);
    Display(i,A);
    mem=mem+2;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

fclose(patfile1);
for(pp=1;pp<=1999;pp++)
{
cleardevice();
patfile1=fopen(ptr,"r+b");
playsnd();
outp( P[7][4],D[7][1]);          /*(7) Enable DMA      */

/*Enable PA-MA12 DMA transfer and 8254 Timer Trigger -----*/
outp(PORT+3,0x0C);                /*(8) Enable PM-MA12 DMA */

/*Check conversion status-----*/
do
{
s= inp(P[ch][3]) & D[ch][3];      /*(R-1) Read DMA status */
outp(P[ch][6],0);                 /*(R-2) Clear DMA F-F */
} while (s==0);

/*Disable DMA transfer first -----*/
outp(PORT+3,0);                   /*(S-1) Disable A/D command */
outp(P[7][4],D[7][2]);            /*(S-2) Disable DMA transfer */
mem=(unsigned char far *)MK_FP(0x8000,0x0000);

for (i=0;i<318;i++)
{
lsb=*mem;
msb=*(mem+1);
A=((msb*16)+(lsb/16))/10;
fread(&B,sizeof(unsigned int),1,patfile1);
sum=(A+B)/2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Display(i,sum);
fseek(patfile1,-2L,SEEK_CUR);
fwrite(&sum,sizeof(unsigned int),1,patfile1);
fseek(patfile1,0L,SEEK_CUR);
mem=mem+2;
}
fclose(patfile1);
}
switch(num)
{
case 1:line10();
break;
case 2:line400();
break;
}
stopsnd();
getch();
closegraph();
clrscr();
textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);
textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
gotoxy(17,11);
printf("Do you want to smoothen graph ? (y/n) : ");
f[0]=17;
again=cgets(f);
g=strncmp(again,"y",2);
if(g==0) smooth(patfile1);
closegraph();
goto repeat;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void main2(void)
{
    int g,i,num;
    unsigned int no;
    char f[20],*again;
    do
    {
        g=1;
        clrscr();
        textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);
        textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
        gotoxy(22,8);
        cprintf("Load file name to read (*.dat) : ");
        gotoxy(22,10);
        scanf("%s",file);
        outfile = fopen(file,"rb");
        if((outfile = fopen(file,"rb"))==NULL)
        {
            gotoxy(22,14);
            cprintf("FILE %s is not found.",file);
            gotoxy(22,17);
            cprintf("Do you want to try again ? (y/n) : ");
            f[0]=17;
            again=cgets(f);
            g=strncmp(again,"y",2);
            if(g!=0)
            {
                textbackground(BLACK);
                textcolor(7);
                clrscr();

```

```

        return;
    }
}
}while(g==0);
clrscr();
textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);
textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
gotoxy(22,8);
cprintf("SELECT TIME SCALE : ");
gotoxy(22,10);
cprintf("1. 10 msec");
gotoxy(22,12);
cprintf("2. 400 msec");
gotoxy(22,15);
cprintf("OPERATION THAT YOU WANT : ");
scanf("%d",&num);
switch(num)
{
    case 1:line10();
        break;
    case 2:line400();
        break;
}
fseek(outfile,0L,SEEK_SET);

for(i=0;i<318;i++)
{
    fread(&no,sizeof(unsigned int),1,outfile);
    Display(i,no);
}

```

```

getch();
closegraph();
clrscr();
textwindow(1,1,80,26,BLACK,BLACK);
textwindow(10,3,68,20,WHITE,RED);
gotoxy(17,11);
printf("Do you want to smoothen graph ? (y/n) : ");
f[0]=17;
again=cgets(f);
g=strncmp(again,"y",2);
if(g==0) smooth(file);
closegraph();
textbackground(BLACK);
textcolor(7);
clrscr();
fclose(outfile);
}
void Display(int a,unsigned int b)
{
    setcolor(WHITE);
    lineto(a*2,b);
    if(a==317) moveto(1,b);
}
void smooth(void *ptr)
{
    int i,j;
    unsigned int sum1,sum2,avg;
    int gdriver=DETECT,gmode;
    initgraph(&gdriver,&gmode,"");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(j=1;j<=2;j++)
{
patfile1=fopen(ptr,"rb+");
fread(&sum1,sizeof(unsigned int),1,patfile1);
for(i=0;i<318;i++)
{
fread(&sum2,sizeof(unsigned int),1,patfile1);
avg=(sum1+sum2)/2;
setcolor(BLACK);
line(i*2,0,i*2,450);
line(i*2+1,0,i*2+1,450);
Display(i,avg);
fseek(patfile1,-2L,SEEK_CUR);
fwrite(&avg,sizeof(unsigned int),1,patfile1);
fseek(patfile1,0L,SEEK_CUR);
sum1=sum2;
}
fclose(patfile1);
} getch();
}

void startsnd(void *ptr)
{
union REGS inregs,outregs;
inregs.h.bh=2;
inregs.h.bl=0;
inregs.x.cx=0;
inregs.x.ax=FP_OFF(ptr);
inregs.x.dx=FP_SEG(ptr);
int86(0x80,&inregs,&outregs);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void playsnd(void)
{
    union REGS inregs,outregs;
    inregs.h.bh=2;
    inregs.h.bl=1;
    inregs.x.cx=0;
    int86(0x80,&inregs,&outregs);
}

```

```

void stopsnd (void)
{
    union REGS inregs,outregs;
    inregs.h.bh = 2;
    inregs.h.bl = 2;
    inregs.x.cx = 0;
    int86(0x80,&inregs,&outregs);
}

```

```

int FindDvr (char *IDStr,unsigned int IDOff)
{
    unsigned dvrInt,
    intFound = FALSE;
    char far *far *dvrVec;
    dvrInt=0x80;
    dvrVec=MK_FP(0,dvrInt*4);
    if(!_fstrncmp((char far *)MK_FP(FP_SEG(*dvrVec),IDOff),
        IDStr,sizeof(IDStr)))
    {
        intFound=TRUE;
    }
    if(intFound==TRUE) return(1);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

return(0);
}
void textwindow (int x1,int y1,int x2,int y2,int fcolor,int bcolor)
{
int x,y;
textcolor(fcolor);
textbackground(bcolor);
for(y=y1+1;y<y2;y++)
{
for(x=x1+1;x<x2;x++)
{
gotoxy(x,y);
putch(0x20);
}
gotoxy(x1,y);
putch(0xb3);
gotoxy(x2,y);
putch(0xb3);
}
gotoxy(x1+1,y1);
for(x=x1+1;x<x2;x++) putch(0xc4);
gotoxy(x1+1,y2);
for(x=x1+1;x<x2;x++) putch(0xc4);
gotoxy(x1,y1);
putch(0xda);
gotoxy(x2,y1);
putch(0xbf);
gotoxy(x1,y2);
putch(0xc0);
gotoxy(x2,y2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    putch(0xd9);
}
void line10(void)
{
    int gdriver=DETECT,gmode;
    initgraph(&gdriver,&gmode,"");
    line(5,290,535,290);
    line(5,290,5,285);
    line(111,290,111,285);
    line(217,290,217,285);
    line(323,290,323,285);
    line(429,290,429,285);
    line(535,290,535,285);
    gotoxy(2,17);
    printf("0");
    gotoxy(15,17);
    printf("2");
    gotoxy(28,17);
    printf("4");
    gotoxy(41,17);
    printf("6");
    gotoxy(54,17);
    printf("8");
    gotoxy(65,17);
    printf("msec");
}

```

```

void line400(void)

```

```

{
    int gdriver=DETECT,gmode;
    initgraph(&gdriver,&gmode,"");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
line(5,290,535,290);
line(5,290,5,285);
line(134,290,134,285);
line(268,290,268,285);
line(402,290,402,285);
line(536,290,536,285);
gotoxy(2,17);
printf("0");
gotoxy(16,17);
printf("100");
gotoxy(32,17);
printf("200");
gotoxy(49,17);
printf("300");
gotoxy(65,17);
printf("msec");
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาของบุคคลหลาย ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ อันได้แก่
ขอบคุณบิดามารดา ที่ให้กำเนิดและช่วยให้โครงการสำเร็จลุล่วงอย่างสะดวกยิ่งขึ้น
ขอบคุณคร.กิตติพล ชิตสกุล ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือตลอดการทำโครงการอย่างดียิ่ง
ขอบคุณอาจารย์ ประภากร และ อาจารย์ ขนิษฐา ที่ให้คำปรึกษา
ขอบคุณอาจารย์ ปราโมทย์ และ อาจารย์ นิภา ที่ให้คำปรึกษาและให้ยืมอุปกรณ์ต่าง ๆ
ขอบคุณพันเอก พงศ์เทพ จาคร.พ. พระมงกุฎ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงการ
ขอบคุณคุณ พชดา จาคร.พ. ราชวิถี ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องเสียง
ขอบคุณพี่จ้อย พี่เป็ยก ที่ให้คำแนะนำ ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจทุก ๆ คน

ผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

1. สิทธิชัย โกโคยอุคม, ดร.วัลลภ สุรคำพลธร, "วงจรรขยายสัญญาณโอเปอร์เรชันแนล", สำนักพิมพ์ ดวงกมล, 2523
2. ยืน ภู่วรรณ, "ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2530
3. ถวิล กิ่งทอง, "ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2531
4. ชุติศักดิ์ เวชแพทย์, "ระบบประสาท", คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2532
5. Fredrick W.Hughes, Op-Amp Handbook, Prentice - Hall, Engle Wood Cliffs, New Jersey 07632
6. Andy Flind, EEG BIOFEEDBACK MONITOR, "Everyday Electronics", November 1989
7. Rafael E. Delgrdo, Ozcan Ozdamar, Automated Auditory Brainstem Response Interpretation, "IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY", April/May 1994
8. Jack Katz, "Handbook of Clinical Audiology Third Edition", Williams & Wilkins, 1985
9. Jack Katz, "Handbook of Clinical Audiology Fourth Edition", Williams & Wilkins, 1994