

เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน  
NOISE GENERATOR



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน  
NOISE GENERATOR



b.002.658.31  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2558 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# NOISE GENERATOR



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)  
DEPARTMENT OF PHYSICS , FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |                                      |
|--------------------|--------------------------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | เครื่องสร้างสัญญาณรบกวน              |
|                    | Noise Generator                      |
| ชื่อนักศึกษา       | นายโนโม นาคน้ำ รหัสนักศึกษา 55051525 |
| ปริญญา             | วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)   |
| ภาควิชา            | ฟิสิกส์                              |
| ปีการศึกษา         | 2558                                 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | รศ.วิชาญ เตชิตธีระ                   |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

| คณะกรรมการสอบ                                    | ลายมือชื่อ  |
|--|---|
| ดร.พิชชานันท์ อีเศรษฐ์โศภน<br>ประธานกรรมการ      |   |
| อ.ธนภรณ์ สีสาวพัฒนานนท์<br>กรรมการ               |   |
| ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี<br>กรรมการ               |  |
| รศ.วิชาญ เตชิตธีระ<br>กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |  |
|--------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | เครื่องสร้างสัญญาณรบกวน                              |
| ชื่อนักศึกษา       | นายโนโม นาคน้ำ รหัสนักศึกษา 55051521                 |
| ปริญญา             | วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)                   |
| ภาควิชา            | ฟิสิกส์  |
| คณะ                | วิทยาศาสตร์  |
| มหาวิทยาลัย        | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) |
| ปีการศึกษา         | 2558   |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | รศ.วิชาญ เตชิตธีระ                                   |

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ข้าพเจ้าได้ทำการศึกษาและออกแบบการสร้างเครื่องมือในการสร้างสัญญาณรบกวน และเครื่องขยายสัญญาณแบบปรับอัตราขยายได้ โดยที่เครื่องสร้างสัญญาณรบกวนใช้ IC เบอร์ UA741 และ ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 เป็นตัวสร้างสัญญาณ ส่วนเครื่องขยายสัญญาณจะใช้ IC เบอร์ LF351 โดยสัญญาณขาออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนให้ขนาดสัญญาณ  $V_{p-p}$  ประมาณ 200 มิลลิโวลต์ ส่วนเครื่องขยายสัญญาณแบบปรับอัตราขยายได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณมีค่าอยู่ระหว่าง 0%-13.7%

คำสำคัญ : สัญญาณรบกวน วงจรขยายสัญญาณ

|               |  |
|---------------|--|
| Title         | Noise Generator  |
| Students      | Mr.Namo Narknam Student ID 55051525                          |
| Degree        | Bachelor of Science (Applied Physics)                        |
| Department    | Physics  |
| Faculty       | Science  |
| University    | King Mongkut's Institute of Technology<br>Ladkrabang (KMITL) |
| Academic Year | 2016   |
| Advisor       | Assoc.Prof.Wicharn Techitdheera                              |

### Abstract

This special project, I have studied and designed a noise generator and variable gain amplifier. IC No. UA741 and transistor No. 2N3904 were used in this project to generate the noise signal. In another, the variable gain amplifier IC No. LF351 was used. Approximate 200 mV  $V_{p-p}$  of noise signal was obtained and the variable gain amplifier, 0%-13.7% deviated from calculation was obtained.

Keywords: Noise Generator, amplifier

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ร.ศ.วิชาญ เตชิตธีระ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด อีกทั้งยังได้ให้แนวทางการทำรายงานการวิจัย รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์การทดลอง และคอยผลักดันให้งานได้ดำเนินการต่อไปได้อย่างลุล่วง

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่เป็นคณะกรรมการ ที่คอยให้ความรู้และแนะนำข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขให้โครงการพิเศษนี้ดีขึ้น และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้โอกาสในการทำโครงการพิเศษนี้

อีกทั้งขอบคุณเพื่อนๆฟิสิกส์ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้ และกราบขอบพระคุณครอบครัว พ่อแม่ ที่คอยเป็นกำลังในทุกๆด้าน ให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง

ขอขอบคุณผลงานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่างๆที่กลุ่มข้าพเจ้าได้นำมาอ้างอิงเพื่อประกอบความน่าเชื่อถือในการทำรายงาน ซึ่งคาดหวังว่ารายงานโครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือให้กำลังใจในทุกสิ่งทุกอย่างต่อโครงการพิเศษนี้

นโม นาคน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                              | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                           | ข    |
| กิตติกรรมประกาศ                              | ค    |
| สารบัญ                                       | ง    |
| สารบัญตาราง                                  | ฉ    |
| สารบัญรูป                                    | ช    |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                          | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย        | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                  | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย                        | 1    |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน       | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                | 2    |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> | 3    |
| 2.1 Noise Generator เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน | 3    |
| 2.2 Noise สัญญาณรบกวน                        | 3    |
| 2.3 IC : integrated circuit                  | 8    |
| 2.4 ELECTRONIC LOGIC GATES                   | 9    |
| 2.5 Op-Amp (Operational Amplifiers)          | 12   |
| 2.6 Transistor (ทรานซิสเตอร์)                | 16   |
| <b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>         | 18   |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์                          | 18   |
| 3.2 วิธีการดำเนินการ                         | 18   |
| <b>บทที่ 4 ผลงานวิจัยและอภิปรายผล</b>        | 23   |
| 4.1 การคิดกำลังขยายสัญญาณของวงจร             | 23   |
| 4.2 ผลการทดสอบวงจร                           | 24   |
| 4.2.1 ผลการทดสอบของวงจรกำเนิดสัญญาณรบกวน     | 24   |
| 4.2.2 ผลการทดสอบของวงจรขยายสัญญาณ            | 25   |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>      | 27   |
| เอกสารอ้างอิง                                |      |
| ภาคผนวก ก                                    |      |
| ภาคผนวก ข                                    |      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                          | หน้า |
|-----------------------------------|------|
| 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย      | 2    |
| 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการขยายสัญญาณ | 23   |
| 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการขยายสัญญาณ | 24   |
| 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการขยายสัญญาณ | 24   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 การเชื่อมโยงสัญญาณ                           | 3    |
| รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบลักษณะของสัญญาณรบกวนทั้งสองชนิด   | 7    |
| รูปที่ 2.3 กราฟเปรียบเทียบโวลต์ของสัญญาณรบกวนทั้งสองแบบ | 7    |
| รูปที่ 2.4 ลักษณะ IC ทั่วไป                             | 8    |
| รูปที่ 2.5 ภายในของ IC                                  | 8    |
| รูปที่ 2.6 การนับขาของ IC                               | 9    |
| รูปที่ 2.7 การทำงานของ AND Gates                        | 9    |
| รูปที่ 2.8 การทำงานของ OR Gates                         | 10   |
| รูปที่ 2.9 การทำงานของ NOT Gates                        | 10   |
| รูปที่ 2.10 การทำงานของ NAND Gates                      | 10   |
| รูปที่ 2.11 การทำงานของ NOR Gates                       | 11   |
| รูปที่ 2.12 การทำงานของ EX-OR Gates                     | 11   |
| รูปที่ 2.13 การทำงานของ EX-NOR Gates                    | 12   |
| รูปที่ 2.14 สัญญาณลักษณะของออปแอมป์                     | 12   |
| รูปที่ 2.15 ลักษณะภายในของออปแอมป์                      | 12   |
| รูปที่ 2.16 การต่อวงจรขยายแบบเปิดลูป                    | 13   |
| รูปที่ 2.17 การต่อวงจรขยายแบบกลับเฟส                    | 13   |
| รูปที่ 2.18 การต่อวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส                 | 14   |
| รูปที่ 2.19 วงจรบัฟเฟอร์แบบกลับเฟส                      | 14   |
| รูปที่ 2.20 วงจรบัฟเฟอร์แบบไม่กลับเฟส                   | 14   |
| รูปที่ 2.21 การต่อวงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส               | 15   |
| รูปที่ 2.22 การต่อวงจรขยายผลต่าง                        | 15   |
| รูปที่ 2.23 ลักษณะของทรานซิสเตอร์                       | 16   |
| รูปที่ 2.24 สัญญาณลักษณะของทรานซิสเตอร์แบบต่างๆ         | 16   |
| รูปที่ 2.25 การทำงานของทรานซิสเตอร์แบบ NPN              | 17   |
| รูปที่ 2.26 การทำงานของทรานซิสเตอร์แบบ PNP              | 17   |
| รูปที่ 3.1 การเขียน schematic ในวงจรสร้างสัญญาณรบกวน    | 18   |
| รูปที่ 3.2 PCB Layout ของวงจรสัญญาณรบกวน                | 19   |
| รูปที่ 3.3 เครื่องสร้างสัญญาณรบกวน                      | 19   |
| รูปที่ 3.4 การเขียน schematic ในวงจรสร้างการขยายสัญญาณ  | 20   |
| รูปที่ 3.5 PCB Layout ของวงจรขยายสัญญาณ                 | 20   |
| รูปที่ 3.6 เครื่องสร้างสัญญาณรบกวน                      | 21   |
| รูปที่ 3.7 วงจร Power Supply                            | 21   |
| รูปที่ 3.8 PCB Layout Power supply                      | 22   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่     |                             | หน้า |
|------------|-----------------------------|------|
| รูปที่ 4.1 | วิธีการคิดกำลังขยายของวงจรถ | 23   |
| รูปที่ 4.2 | รูปสัญญาณรบกวนที่วัดได้     | 24   |
| รูปที่ 4.3 | รูปสัญญาณรบกวนตามทฤษฎี      | 24   |
| รูปที่ 4.4 | กราฟแสดงผล FFT              | 25   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการศึกษาที่เกี่ยวกับสัญญาณทางไฟฟ้ามากมาย เพราะสัญญาณทางไฟฟ้าสามารถบอกสิ่งต่างๆได้มากมาย ไม่ว่าจะเป็นความถี่ ,ค่าของแรงดันไฟฟ้า หรือความต่างศักย์ ที่เกิดขึ้นในวงจร หรือระบบการทำงานนั้นๆ เป็นต้น แต่ในการวัดค่าที่ออกมา นั้น มักจะได้สัญญาณที่ออกมาพร้อมกับสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นสัญญาณที่เราไม่ต้องการ ทำให้เราวัดค่าที่วัดนั้นมีค่าที่ผิดพลาด

การศึกษาสัญญาณทางไฟฟ้าต่างๆ จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นมาในระบบนั้นๆ ตลอดเวลา ทั้งนี้สัญญาณรบกวนเกิดทั้งได้หลายปัจจัย เช่น สัญญาณรบกวนจากตัวเก็บประจุ ,ไดโอด หรือแม้กระทั่งอุณหภูมิ ทำให้การตรวจหาสัญญาณที่เราต้องการจริงๆ มีการถูกรบกวน ไม่ใช่สัญญาณที่เราต้องการจริงๆ

โดยในปัจจุบันมีเทคนิคหลายรูปแบบที่ใช้ในการคัดแยกสัญญาณรบกวนออกมา โดยในการทดลองนี้ จะทำการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนขนาดเล็กขึ้นมา เพื่อเอามาต่อยอดเป็นเครื่อง Stochastic Resonance เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้ในการแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่เราต้องการจะวัดจริงๆ โดยจะสร้างสัญญาณรบกวนขึ้นมาเป็นตัวเปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดได้ แล้วนำเอาสัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณรบกวนนั้นออกไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน
- 2) เครื่องขยายสัญญาณ
- 3) เครื่อง Power supply

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) เครื่องมือสามารถสร้างสัญญาณรบกวนแบบ White noise
- 2) เครื่องขยายสัญญาณสามารถเปลี่ยนอัตรากำลังขยายได้ 1- 100 เท่า
- 3) เครื่อง power supply สามารถจ่ายกระแสได้ที่ 9V 15V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัยจะสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัยและวางแผนการทำงาน
- ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีหลักการของสัญญาณรบกวน และการขยายสัญญาณ
- ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบวงจรของเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนและวงจรขยายสัญญาณพร้อม Power Supply
- ขั้นตอนที่ 4 สร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรขยายสัญญาณพร้อม Power supply
- ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผล
- ขั้นตอนที่ 6 จัดทำรูปเล่มและการนำเสนอ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

| การดำเนินงาน | ระยะเวลา |     |     |      |     |     |     |     |     |      |       |     |  |
|--------------|----------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|--|
|              | มิ.ย     | ก.ค | ส.ค | ก.ย. | ต.ค | พ.ย | ธ.ค | ม.ค | ก.พ | มี.ค | เม.ย. | พ.ค |  |
| ขั้นตอนที่ 1 |          |     |     |      |     |     |     |     |     |      |       |     |  |
| ขั้นตอนที่ 2 |          |     |     |      |     |     |     |     |     |      |       |     |  |
| ขั้นตอนที่ 3 |          |     |     |      |     |     |     |     |     |      |       |     |  |
| ขั้นตอนที่ 4 |          |     |     |      |     |     |     |     |     |      |       |     |  |
| ขั้นตอนที่ 5 |          |     |     |      |     |     |     |     |     |      |       |     |  |
| ขั้นตอนที่ 6 |          |     |     |      |     |     |     |     |     |      |       |     |  |

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนและเครื่องขยายสัญญาณที่ออกแบบสามารถใช้ได้จริง
- 2) เราสามารถเข้าใจระบบการทำงานต่างๆของเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนและเครื่องขยายสัญญาณ
- 3) เราสามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับในการสร้างสัญญาณรบกวนในแบบต่างๆ เพื่อนำไปต่อยอดในการทำเครื่องเพื่อตรวจวัดและคัดสัญญาณรบกวนออกจากระบบ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการประยุกต์เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนก็เพื่อให้สัญญาณที่ออกมาเป็นสัญญาณที่ไม่มีสัญญาณรบกวนอยู่เลย

#### 2.1 Noise Generator เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน

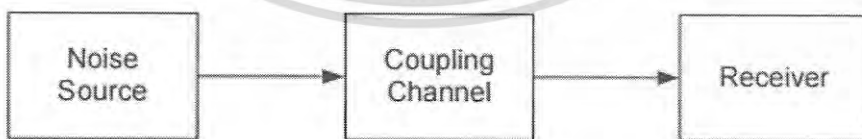
เป็นเครื่องที่ใช้กำเนิดสัญญาณรบกวน มีระบบการสร้างสัญญาณรบกวน ควบคุมการทำงานด้วยวงจรสร้าง Noise โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว เป็นหลักที่ใช้ในการสร้างสัญญาณรบกวน และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ในการปรับลดสัญญาณรบกวนที่ได้แสดงออกมาทาง output วงจรจะใช้ไฟ 24 V ต่อเข้ากับไฟบ้าน และใช้วงจร supply ในการลดกระแสไฟให้เหลือ 24 V แล้วต่อเข้ากับวงจรในการสร้าง Noise

#### 2.2 Noise สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวน (Noise) คือสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้น นอกเหนือไปจากสัญญาณที่ได้ออกแบบเอาไว้ noise เป็นสิ่งไม่ต้องการของพลังงานไฟฟ้า และแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะลดคุณภาพของสัญญาณและข้อมูล

#### ความไวต่อสัญญาณรบกวน (Sensitivity)

ความไวต่อสัญญาณรบกวน แสดงให้เห็นถึงความสามารถของอุปกรณ์หรือวงจรในการตอบสนองสัญญาณรบกวน โดยที่วงจรมันยังสามารถทำงานต่อไปได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ ทางเดินของสัญญาณ รบกวนประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน เส้นทางเชื่อมโยงสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังตัวรับ หรือการคัปปลิง (Coupling) และวงจรตัวรับสัญญาณรบกวน ดังรูป



รูปที่ 2.1 การเชื่อมโยงสัญญาณ

## แหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน

แหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. สัญญาณรบกวนภายใน (Intrinsic noise sources) คือสัญญาณรบกวนที่เกิดจากปรากฏการณ์สุ่มภายในอุปกรณ์ไฟฟ้า เกิดจากปรากฏการณ์สมภายในอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อุณหภูมิต่ำ และสารกึ่งตัวนำในระบบการขยายสัญญาณ เช่น ตัวต้านทาน ไดโอด ตัวเก็บประจุ ทรานซิสเตอร์และไอซีต่างๆ เป็นต้น
2. สัญญาณรบกวนจากภายนอก (Extrinsic noise sources)

แบ่งออกมาเป็น 2 ประเภท

- แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจากธรรมชาติ (Natural noise source) เช่น ฟ้าผ่า ฟ้าร้อง อุณหภูมิ เป็นต้น
- แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่สร้างโดยมนุษย์ (Man-Made noise source) เช่น มอเตอร์ สวิตช์ สัญญาณรบกวนจากเครื่องส่งวิทยุ เป็นต้น

## สัญญาณรบกวนจากตัวเก็บประจุ

สัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวเก็บประจุมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการรั่วของตัวเก็บประจุเกิดจากค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุ มีค่าสูงมากๆ ประกอบกับวงจรภายในของตัวเก็บประจุมีค่าน้อยมากๆ ทำให้ค่าความต้านทานโดยรวมมีค่าลดลง จึงทำให้มีกระแสรั่วไหล
2. สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการสูญเสียของไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss) เกิดขึ้นขณะที่มีการเก็บประจุและคายประจุ เมื่อมีความต่างศักย์ระหว่างสายตัวนำ จะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นบนสาย เมื่อมีค่าต่างศักย์อิเล็กตรอนจะได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าทำให้การโคจรเสียรูปเดิมไป โดยจะมีพลังงานหนึ่งสูญเสียกลายเป็นความร้อน

## สัญญาณรบกวนจากตัวไดโอด

สัญญาณรบกวนที่เกิดจากไดโอดคือ shot noise กล่าวคือ ในขณะที่ป้อนแรงดันไบอัสตรงให้กับไดโอดก็จะเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่รอยต่อ พี-เอ็นทั้งนี้เพราะเกิดการเคลื่อนที่ของพลังงานจันท์และกระแสจากพาหะผ่านโครงสร้างรอยต่อสารพี-เอ็นทำให้เกิดการเคลื่อนที่สวนทางกัน แต่ในขณะที่ไดโอดอยู่ในสภาวะปกติคือไม่มีการป้อนแหล่งจ่ายใด ๆ กระแสภายในไดโอดจะมีค่าเท่ากัน

## สัญญาณรบกวนจากทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ก็ทำให้เกิด shot noise เป็นสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อการทำงานของวงจรเป็นอย่างมากทั้งนี้เพราะเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสก็เกิด shot noise ตรงที่รอยต่อพี-เอ็น ทั้งสองด้านของทรานซิสเตอร์ แรงดันรบกวนและกระแสรบกวนของทรานซิสเตอร์จะแปรผันตามความถี่ที่รับเข้ามา ถ้าความถี่สูงความสามารถของทรานซิสเตอร์ก็จะลดลง วิธีการแก้ไขในกรณีที่เกี่ยวข้องกับความถี่สูงก็เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีย่านความถี่สูง

## สัญญาณรบกวนจากไอซี

สาเหตุที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในตัวไอซี มาจากวงจรที่ถูกสร้างขึ้นมาแล้วต่อรวมกันเป็นวงจรแล้วนำมาสร้างเป็นไอซีหรือบางครั้งมักจะเรียกว่าวงจรเสมือนแต่ในปัจจุบันไอซีได้มีการพัฒนา ขบวนการผลิตอยู่เสมอจึงทำให้การรบกวนในตัวไอซีมีค่าน้อยลงแต่ก็ไม่หมดไปพอมืออยู่บ้างแต่ก็ไม่มากมายถึงกับทำให้วงจรทำงานผิดพลาด อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในไอซีส่วนมากจะเป็นส่วนที่เป็นอินพุตเสียส่วนใหญ่แต่ก็สามารถแก้ไขได้โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่คัดเลือกเป็นกรณีพิเศษ

## สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุณหภูมิ (Thermal noise)

เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนบนตัวนำ ซึ่งส่งผลให้เกิดความร้อนไปรบกวนการเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ผิดไป โดยสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum) ของสัญญาณรบกวนนี้จะมีลักษณะที่ฮามอนิกของสัญญาณรบกวนจะมีค่าพลังงาน เท่ากันอย่างต่อเนื่องตลอดย่านสเปกตรัม

## คุณสมบัติของสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนเป็นปรากฏการณ์แบบสุ่ม (Random) ทำให้เราไม่สามารถ บอกขนาดมัน เวลาใดเวลาหนึ่งได้ แต่บอกกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนได้

ค่าของสัญญาณแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยค่าแรงดันส่วนใหญ่จะน้อยกว่าค่าแรงดันยอด ทำให้เราวัดจากผลที่แท้จริงไม่ถูกต้อง จึงต้องใช้ค่าแรงดัน RMS แทน โดยค่าแรงดันของสัญญาณรบกวน มีค่าเท่ากับ

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_n^2(t) dt}$$

โดย T คือคาบเวลาในการวัดสัญญาณรบกวน

## กำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน

กำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่ตกคร่อมความต้านทาน (R) คือ

$$P_{avg} = \frac{V_n^2}{R}$$

เมื่อ R=1 จะได้ว่า

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_n^2(t) dt}$$

$$P_{avg} = \frac{1}{T}$$

ดังนั้นค่า RMS คือค่า Normalized ของกำลังเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัญญาณรบกวนพื้นฐาน

แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. สัญญาณรบกวนแบบ Thermal noise
2. สัญญาณรบกวนช็อค (Short Noise)
3. สัญญาณรบกวนฟลิคเกอร์ (Flicker noise)

### สัญญาณรบกวน Thermal noise

เกิดจากการเคลื่อนของอิเล็กตรอนและประจุพาหะอื่นๆ อันเนื่องจากผลของความร้อนในตัว ความต้านทาน และสารกึ่งตัวนำต่างๆ ทำให้เกิดแรงดันซึ่งเราเรียกว่า การรบกวนจากความร้อน (Thermal noise) หรือ White Noise

- เป็น White noise จะประกอบไปด้วยสเปกตรัมความหนาแน่นของกำลังสม่ำเสมอตลอดทุกย่านความถี่ที่กว้างมาก และเป็นสัญญาณรบกวนเบื้องต้นในทุกวงจร
  - Thermal noise จะเกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่มีการสูญเสียกำลังงานเท่านั้น
  - ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในอุดมคติไม่มี Thermal noise
- เมื่อความร้อนเป็นแหล่งทำให้เกิดสัญญาณรบกวน เราสามารถลดได้โดยการลดความร้อนของความต้านทานได้ การออกแบบความต้านทานแบบฟิล์ม และแก้วชนิดพิเศษสามารถทำให้ลดการเกิดสัญญาณรบกวนลงได้

### ค่าแรงดันของสัญญาณรบกวน (โวลต์)

$$V_{rms} = \sqrt{4RkT\Delta f}$$

เมื่อ R= ความต้านทานของตัวนำ

k= ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann Constant =  $1.38 \times 10^{-23}$  จูล/เคลวิน )

T= อุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน (K)

$\Delta f$ = ช่วงของความถี่ที่สนใจ

### สัญญาณรบกวนแบบช็อค (Short Noise)

สัญญาณรบกวนชนิดหนึ่งที่เกิดจากสาเหตุทางไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ในอุปกรณ์แอกทีฟต่างๆ เช่น ไดโอด หรือทรานซิสเตอร์ เมื่อมีกระแสไฟตรงไหลผ่านรอยต่อ p-n ทำให้เกิดการถ่ายพลังงานจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดความเร่งเป็นช่วงๆ ทำให้สเปกตรัมของความถี่ของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นย่านความถี่ที่กว้างหรือกำเนิดสัญญาณรบกวนแบบ white noise ที่มีความหนาแน่นสเปกตรัมคงที่

สัญญาณรบกวนฟลิคเกอร์ (Flicker noise)

คือ สัญญาณรบกวน  $1/f$  noise จะให้ระดับสัญญาณรบกวนเป็นเส้นกราฟ ที่มีความชัน  $1/f$  ซึ่งจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีความถี่เพิ่มมากขึ้น ระดับของสัญญาณรบกวนนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพในกระบวนการผลิตเสียงเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เป็นมลพิษชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อการได้ยินของมนุษย์และอันตรายอื่นๆ

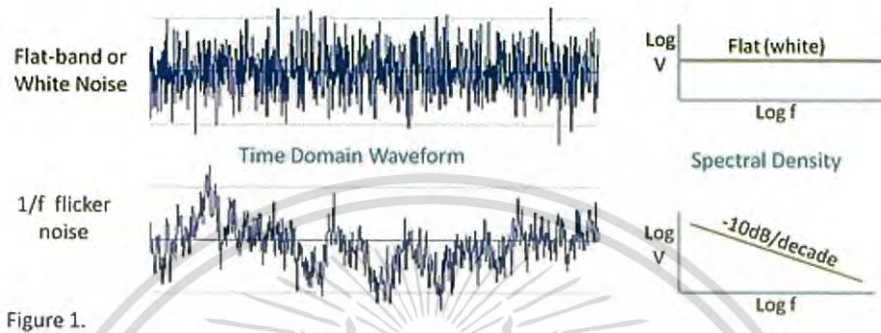
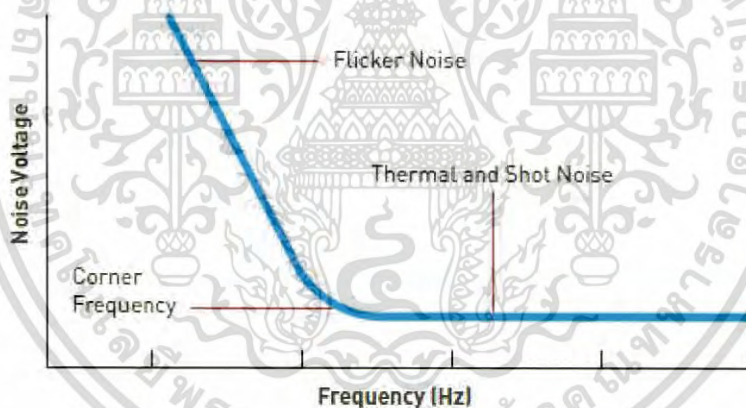


Figure 1.

รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบลักษณะของสัญญาณรบกวนทั้งสองชนิด



รูปที่ 2.3 กราฟเปรียบเทียบโวลต์ของสัญญาณรบกวนทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

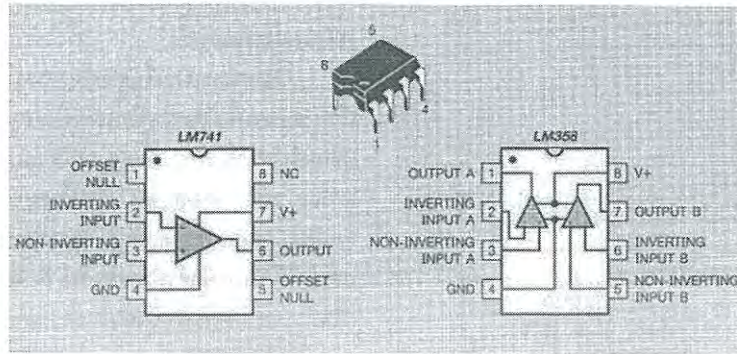
### 2.3 IC : integrated circuit

วงจรรวม หรือ วงจรเบ็ดเสร็จ (integrated circuit ; IC) หมายถึง วงจรที่นำเอาไดโอด, ทรานซิสเตอร์, ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรขนาดเล็ก ในปัจจุบันแผ่นวงจรนี้จะทำด้วยแผ่นซิลิคอน บางที่อาจเรียก ชิพ (Chip) และสร้างองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ ฝังอยู่บนแผ่นผลึกนี้ ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า Monolithic การสร้างองค์ประกอบวงจบบนผิวผลึกนี้ จะใช้กรรมวิธีทางด้านการถ่ายภาพอย่างละเอียด ผสมกับขบวนการทางเคมีทำให้ลายวงจรมีความละเอียดสูงมาก สามารถบรรจุองค์ประกอบวงจรได้จำนวนมาก ภายในไอซี จะมีส่วนของลอจิกมากมาย ในบรรดาวงจรเบ็ดเสร็จที่ซับซ้อนสูง เช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งใช้ทำงานควบคุม คอมพิวเตอร์ จนถึงโทรศัพท์มือถือ แม้กระทั่งเตาอบไมโครเวฟแบบดิจิทัล สำหรับชิพหน่วยความจำ (RAM) เป็นอีกประเภทหนึ่งของวงจบบัดเสร็จ ที่มีความสำคัญมากในยุคปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีดูตำแหน่งขาของไอซี ให้สังเกตจุดบนขอบ ตัวไอซี ขาข้างที่อยู่ใกล้จุดเรียกว่า ขาที่ 1 แล้วให้นับเรียงต่อกันไปตามลำดับ ดังแสดงในรูป ทางขวามือเป็นรูปถ่ายจริงของไอซีตัวหนึ่ง



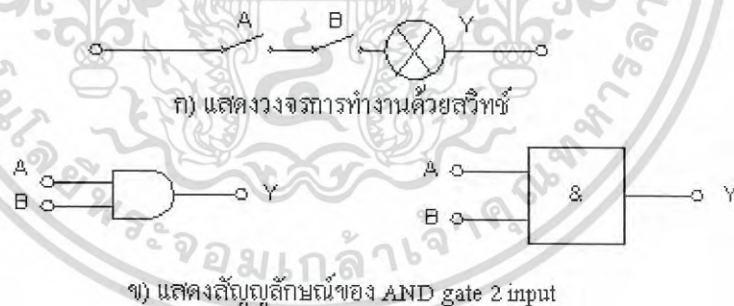
รูปที่ 2.6 การนับขาของ IC

## 2.4 ELECTRONIC LOGIC GATES

เกทพื้นฐานจะประกอบไปด้วยชนิดของ เกท 3 ชนิด คือ แอนด์เกท (AND gate), ออร์เกท (OR gate) และ นอทเกท (NOT gate) ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาเพิ่มเป็นเกทพิเศษเพิ่มเติมมาเช่น แนนด์เกท (NAND gate), นอร์เกท (NOR gate), เอกซ์คลูซีฟนอร์เกท (EX-OR gate) เป็นต้น

### 1. แอนด์เกท (AND gate)

AND gate เป็นการกระทำการ AND ระหว่างอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไป โดยมีลักษณะของเอาต์พุตคือ เอาต์พุตจะเป็น “1” เพียงกรณีเดียวเท่านั้นเมื่ออินพุตทุกตัวเป็น “1” ซึ่ง AND gate มีสัญลักษณ์ และการทำงานดังรูป

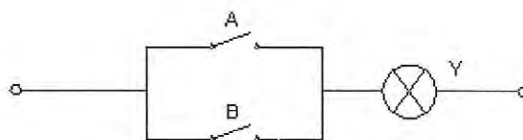


รูปที่ 2.7 การทำงานของ AND Gates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ออร์เกต (OR gate)

OR gate เป็นการกระทำการ OR ระหว่างอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไป โดยมีลักษณะของเอาต์พุตคือ เอาต์พุตจะเป็น “1” ก็ต่อเมื่อมีอินพุตหนึ่งอินพุตใดหรืออินพุตทุกตัวเป็น “1”



ก) แสดงวงจรการทำงานด้วยสวิตช์

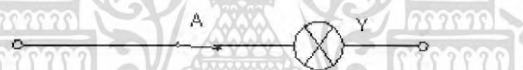


ข) แสดงสัญลักษณ์ของ OR gate 2 input

รูปที่ 2.8 การทำงานของ OR Gates

## 3. นอทเกต (NOT gate) หรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter)

Not gate เป็นเกตที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอินพุตจาก “0” เป็น “1” หรือจาก “1” เป็น “0” ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการคอมพลิเมนต์ก็ได้เช่นกัน NOT gate นั้นจะมีเพียงอินพุตเดียวเท่านั้น



ก) แสดงวงจรการทำงานด้วยสวิตช์

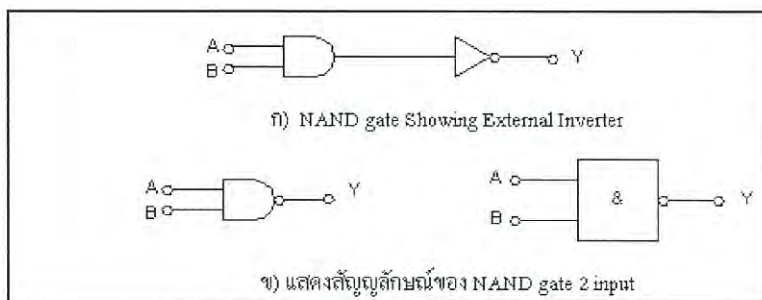


ข) แสดงสัญลักษณ์ของ NOT gate

รูปที่ 2.9 การทำงานของ NOT Gates

## 4. แนนด์เกต (NAND gate)

NAND gate เป็นการนำเอาการกระทำการ AND ระหว่างอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไป แล้วนำเอาท์พุตที่ได้ไปผ่าน NOT gate (AND + INVERTER = NAND) โดยมีลักษณะของเอาต์พุตที่ตรงกันข้ามกับ AND gate คือ เอาต์พุตจะเป็น “0” เพียงกรณีเดียวเท่านั้นเมื่ออินพุตทุกตัวเป็น “1” ซึ่ง



ก) NAND gate Showing External Inverter

ข) แสดงสัญลักษณ์ของ NAND gate 2 input

รูปที่ 2.10 การทำงานของ NAND Gates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. นอร์เกต (NOR gate)

NOR gate เป็นการนำเอาการกระทำ OR ระหว่างอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไป แล้วนำเอาท์พุทที่ได้ไปผ่าน NOT gate โดยมีลักษณะของเอาท์พุทตรงกันข้ามกับ OR gate คือ เอาท์พุทจะเป็น “0” ก็ต่อเมื่อมีอินพุตหนึ่งอินพุตใดหรืออินพุตทุกตัวเป็น “1”



ก) NOR gate Showing External Inverter



ข) แสดงสัญลักษณ์ของ NOR gate 2 input  
รูปที่ 2.11 การทำงานของ NOR Gates

## 6. เอ็กซคลูซีฟ-ออร์เกต (EXCLUSIVE-OR gate)

EXCLUSIVE-OR gate เป็นเกทพิเศษชนิดหนึ่งซึ่งเป็นการนำเอา NOT gate AND gate OR gate มาทำการต่อรวมกัน ประกอบไปด้วยอินพุต 2 อินพุต ซึ่งจะมีลักษณะของเอาท์พุทจะเป็น “0” ก็ต่อเมื่อมีอินพุตทั้งสองอินพุตมี Logical เหมือนกัน เช่น เป็น “0” หรือเป็น “1” ทั้งสองอินพุตและเอาท์พุทจะเป็น “1” ก็ต่อเมื่อมีอินพุตทั้งสองอินพุตมี Logical ต่างกัน



ก) เกทชนิดต่าง ๆ ที่ต่อเป็น EX-OR gate

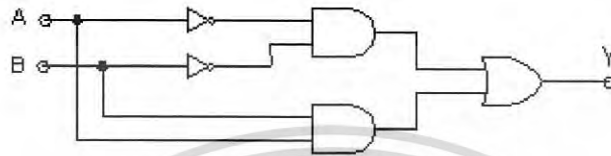


ข) สัญลักษณ์ของ EX-OR gate

รูปที่ 2.12 การทำงานของ EX-OR Gates

7. เอ็กซคลูซีฟ-นอร์เกต (EXCLUSIVE-NOR gate) หรือ Comparators

EXCLUSIVE-NOR gate เป็นเกตพิเศษอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นการนำเอา NOT gate AND gate OR gate มาทำการต่อรวมกันเช่นเดียวกับ EXCLUSIVE-OR gate ประกอบไปด้วยอินพุต 2 อินพุต ซึ่งจะมีลักษณะของเอาต์พุตจะตรงกันข้ามกับเอาต์พุตของ EXCLUSIVE-OR gate คือ เอาต์พุตจะเป็น “0” ก็ต่อเมื่อมีอินพุตทั้งสองอินพุตมี Logical ต่างกัน และเอาต์พุตจะเป็น “1” ก็ต่อเมื่อมีอินพุตทั้งสองอินพุตมี Logical เหมือนกัน เช่น เป็น “0” หรือเป็น “1” ทั้งสองอินพุต



ก) เกตชนิดต่าง ๆ ที่ต่อเป็น EX-NOR gate



ข) สัญลักษณ์ของ EX-NOR gate

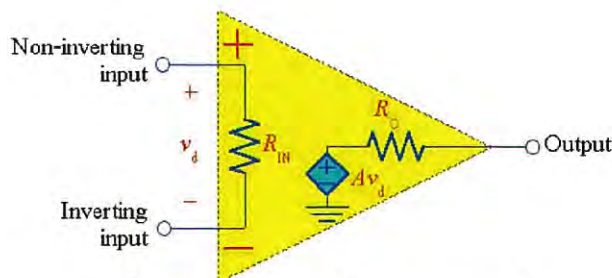
รูปที่ 2.13 การทำงานของ EX-NOR Gates

2.5 Op-Amp (Operational Amplifiers)

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดัน โดยออปแอมป์มีโครงสร้างภายในเป็นวงจรที่ซับซ้อน ประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน, ทรานซิสเตอร์, ตัวเก็บประจุ และ ไดโอด จำนวนมาก



รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์ของออปแอมป์



รูปที่ 2.15 ลักษณะภายในของออปแอมป์

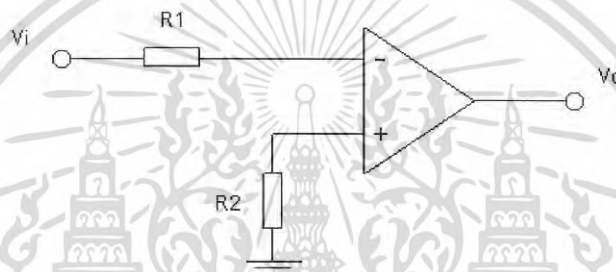
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออปแอมป์จะมีขั้วอินพุต(ป้อนเข้า) 2 ขั้ว นั่นคือ ขั้วอินพุตบวกเรียกว่า Non-inverting terminal และขั้วอินพุตลบเรียกว่า Inverting terminal และขั้วเอาต์พุต 1 ขั้ว ส่วนทางด้านอินพุตของออปแอมป์จะประกอบด้วยตัวต้านทาน  $R_{IN}$  ซึ่งเป็นความต้านทานทางด้านอินพุตของออปแอมป์ โดยจะมีแรงดันตกคร่อมระหว่างขั้วอินพุตบวกและขั้วอินพุตลบ เท่ากับ  $v_d$  ส่วนทางด้านเอาต์พุตจะประกอบด้วยตัวต้านทาน  $R_O$  เป็นความต้านทานที่มองเข้าไปทางขั้วเอาต์พุตของออปแอมป์ และแหล่งจ่ายแรงดันที่ควบคุมด้วยแรงดันที่มีค่าเท่ากับ  $Av_d$  ค่า  $A$  นี้เรียกว่าอัตราขยายวงเปิด (Open loop gain) ของออปแอมป์

### วงจรการใช้งานพื้นฐานของไอซีออปแอมป์

#### 1. วงจรขยายสัญญาณแรงดัน

1.1 แบบเปิดลูป (Open loop amplifier) คือการต่อวงจรที่ไม่มีการต่อสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับมายังอินพุต

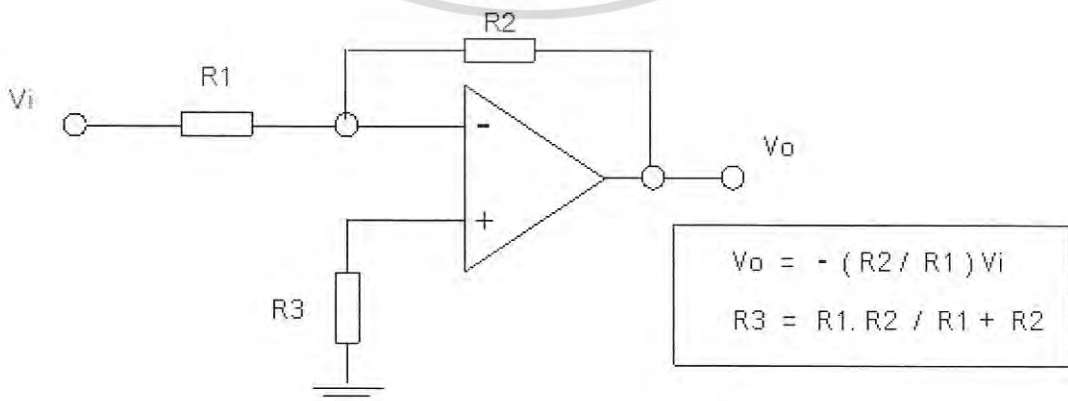


รูปที่ 2.16 การต่อวงจรขยายแบบเปิดลูป

ในทางอุดมคติ วงจรการขยายแบบนี้จะให้ผลการขยายสัญญาณสูงมากเป็นอนันต์ นั่นคือ  $V_o = \infty$

1.2 แบบปิดลูป (Closed loop amplifier) คือการต่อวงจรที่มีการต่อสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับมายังอินพุต เพื่อควบคุมอัตราขยายและผลตอบสนองความถี่ให้ได้ตามต้องการ

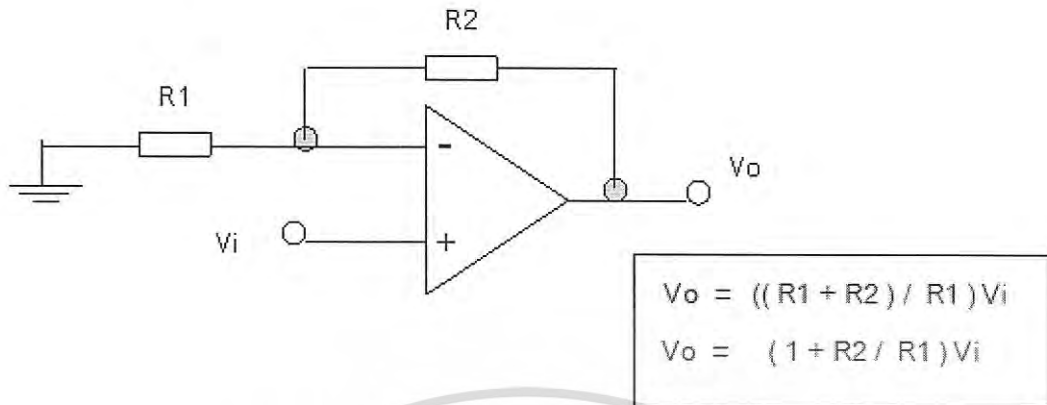
1.2.1 วงจรขยายแรงดันกลับเฟส (Inverting amplifier) สัญญาณเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกันข้ามกับสัญญาณอินพุต



รูปที่ 2.17 การต่อวงจรขยายแบบกลับเฟส

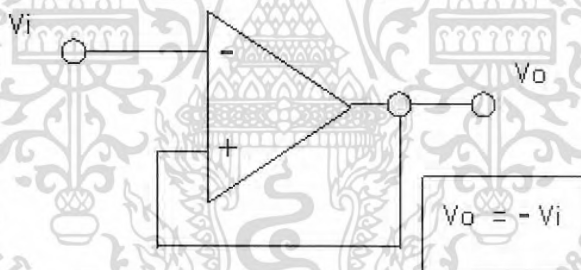
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 วงจรขยายแรงดันไม่กลับเฟส (Non - Inverting amplifier) สัญญาณเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับสัญญาณอินพุต

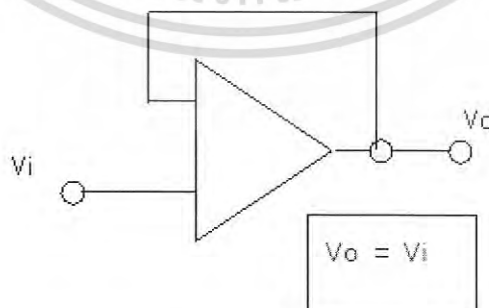


รูปที่ 2.18 การต่อวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

1.2.3 วงจรบัฟเฟอร์ ( Buffer ) เป็นวงจรที่ให้อัตราการขยายเท่ากับ 1 ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่างวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน วงจรบัฟเฟอร์นี้จะมีค่าความต้านทานอินพุตสูง เมื่อนำไปต่อเป็นโหลดวงจรอื่น ก็ไม่ทำให้ให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรอื่นนั้นลดลง และเมื่อนำไปขับวงจรอื่นก็สามารถจ่ายกระแสไปให้วงจรอื่นได้ โดยไม่ทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุตของมันเองลดลง



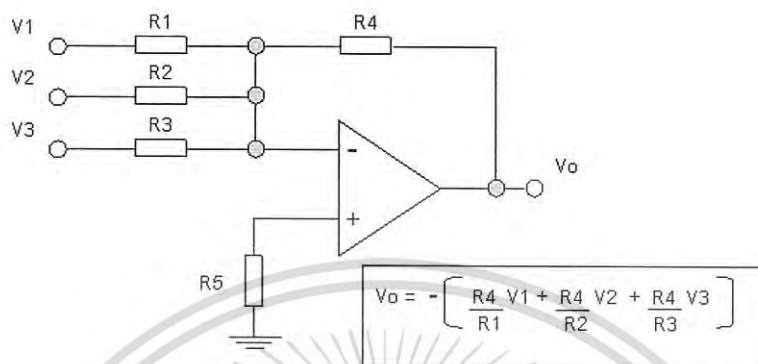
รูปที่ 2.19 วงจรบัฟเฟอร์แบบกลับเฟส



รูปที่ 2.20 วงจรบัฟเฟอร์แบบไม่กลับเฟส

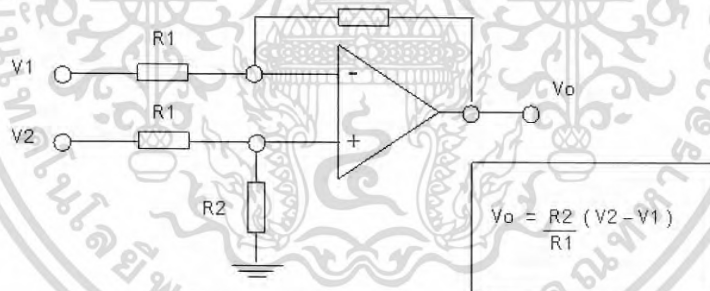
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4 วงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส (Inverting summing amplifier) เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟสที่ใช้ในกรณีพิเศษ วงจรชนิดนี้จะให้เฟสของสัญญาณที่เอาต์พุตตรงกันข้ามกับอินพุต แต่แรงดันที่ได้ที่เอาต์พุตจะมีค่าเทียบเท่ากับผลบวกทางพีชคณิตของผลที่ได้จากการขยายสัญญาณอินพุตแต่ละอินพุต



รูปที่ 2.21 การต่อวงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส

1.2.5 วงจรขยายผลต่าง (Difference amplifier) เป็นวงจรที่นำสัญญาณอินพุตมาหักล้างกัน

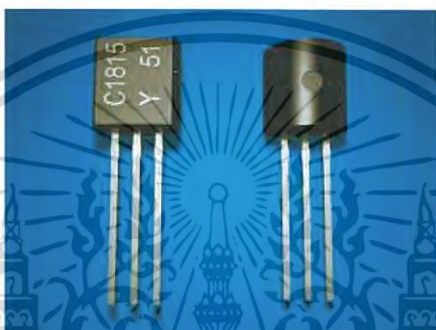


รูปที่ 2.22 การต่อวงจรขยายผลต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

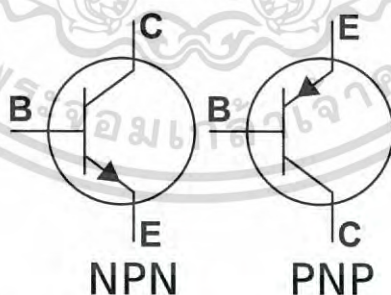
ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาจากไดโอด ซึ่งคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์นั้น หมายถึงสามารถนำไปใช้งานในด้านขยายสัญญาณ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง โดยการป้อนสัญญาณที่มีขนาดเล็กให้ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสได้มากที่สามารถทำให้เกิดสัญญาณขนาดใหญ่ทางขาออกได้สบายๆ และทรานซิสเตอร์ยังเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถทำหน้าที่ ขยายสัญญาณไฟฟ้า เปิด/ปิดสัญญาณไฟฟ้า คงค่าแรงดันไฟฟ้า หรือกล้ำสัญญาณไฟฟ้า (modulate) เป็นต้น การทำงานของทรานซิสเตอร์เปรียบได้กับวาล์วที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าขาเข้า เพื่อปรับขนาดกระแสไฟฟ้าขาออกที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดัน ทรานซิสเตอร์มีขาต่อใช้งานทั้งหมดสามขา คือ ขาคอลเล็กเตอร์(C), ขาอิมิตเตอร์(E), ขาเบส(B)



รูปที่ 2.23 ลักษณะของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภทคือ

1. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
2. ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

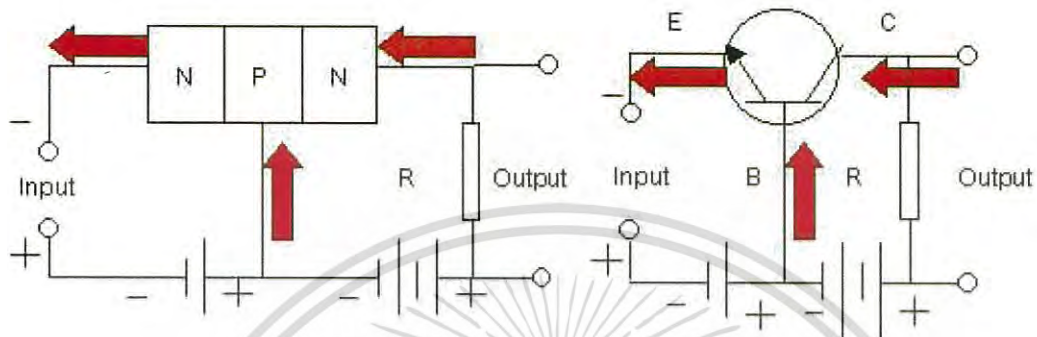


รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ลักษณะของทรานซิสเตอร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวอย่างการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

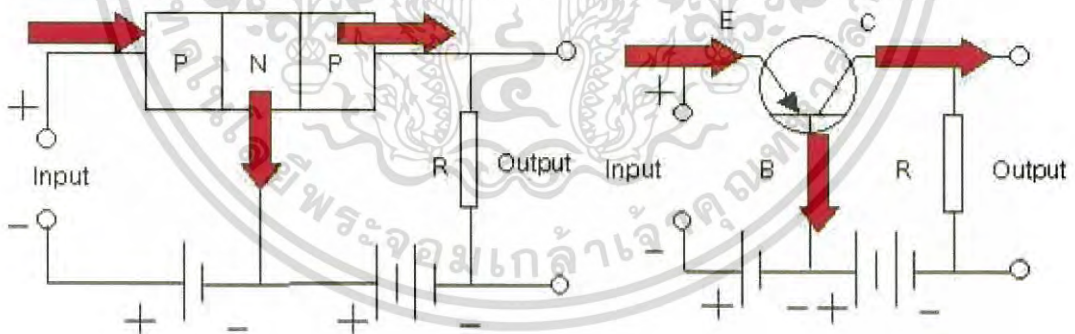
การป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN คือ การจ่ายโพลบให้ขา E เมื่อเทียบกับที่จ่ายให้ขา B และจ่ายโพลบให้ขา C เมื่อเทียบกับโพลบที่จ่ายให้ขา B มีทั้งโพลบและโพลบ แต่การเทียบศักย์ Forward นั้นจะเทียบระหว่างขา B กับขา E เท่านั้น ทำให้ขา B ซึ่งเป็นสาร P ได้รับแรงไฟ Forward คือเป็นโพลบเมื่อเทียบกับขา E เท่านั้น แสดงดังรูป



รูปที่ 2.25 การทำงานของทรานซิสเตอร์แบบ NPN

### ตัวอย่างการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

การป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP โดยการจ่ายโพลบให้ขา E เมื่อเทียบกับโพลบที่จ่ายให้ขา B และจ่ายโพลบให้ขา C เมื่อเทียบกับโพลบที่จ่ายให้ขา B ทำให้ขา B มีทั้งโพลบและโพลบ ทำให้ขา B ซึ่งเป็นสาร N ได้รับ Forward Bias คือ เป็นลบเมื่อเทียบกับขา E เท่านั้น แสดงดังรูป



รูปที่ 2.26 การทำงานของทรานซิสเตอร์แบบ PNP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างสัญญาณรบกวนในแต่ละวงจรว่า noise ในแต่ละวงจรเหมาะสมกับงานแบบไหน ควบคุม noise โดยการปรับค่าต้านทานที่อยู่ในวงจร จะทำให้ noise ที่เกิดขึ้นมีค่าต่างกัน นอกจากนี้ยังศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

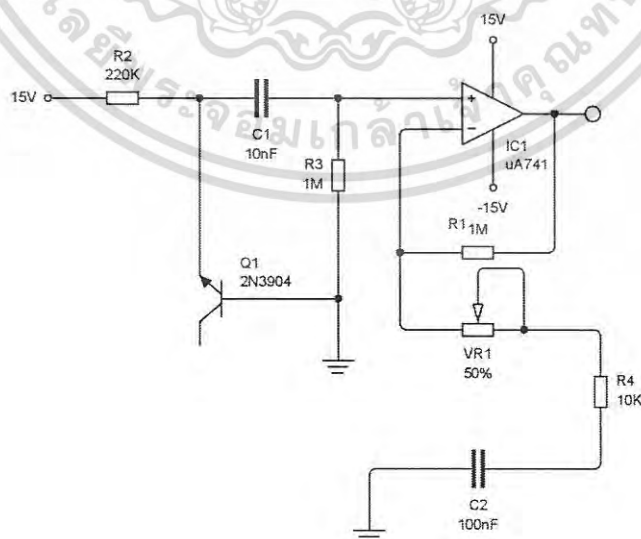
- 3.1.1 Proto board
- 3.1.2 ตัวความต้านทาน
- 3.1.3 ทรานซิสเตอร์ แบบ NPN Junction
- 3.1.4 ตัวเก็บประจุ
- 3.1.5 IC เบอร์ UA741, LF351n
- 3.1.6 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)
- 3.1.7 Function generator
- 3.1.8 Oscilloscope

#### 3.2 วิธีการดำเนินงาน

##### 3.2.1 วงจรการสร้างสัญญาณรบกวน

การดำเนินงานวิจัยเริ่มศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของสัญญาณรบกวนที่ต้องการจะสร้าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบวงจร โดยได้นำ IC เบอร์ UA741 และทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 มาใช้ในการผลิตสัญญาณรบกวน

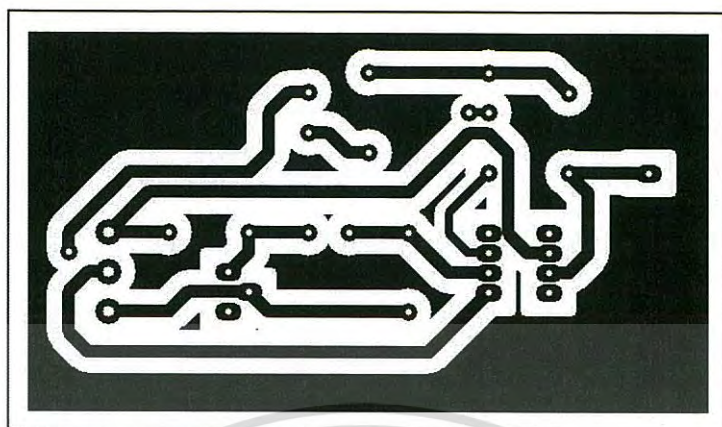
1. วงจรการสร้างสัญญาณรบกวน โดยเขียนเป็น schematic



รูปที่ 3.1 การเขียน schematic ในวงจรสร้างสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การเขียน PCB Layout ในโปรแกรม Circuit Wizard



รูปที่ 3.2 PCB Layout ของวงจรสัญญาณรบกวน

## 3. รูปแบบเครื่องสร้างสัญญาณรบกวน



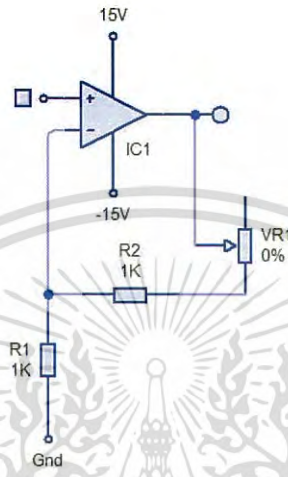
รูปที่ 3.3 เครื่องสร้างสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

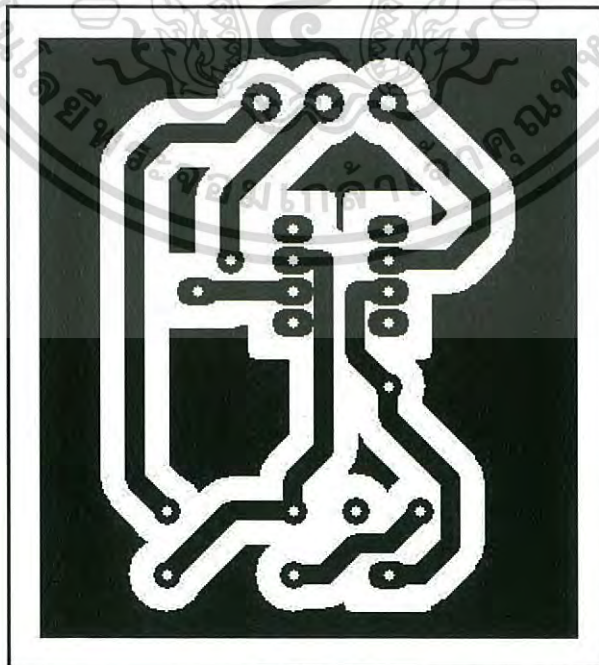
การดำเนินงานวิจัยเริ่มศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของการขยายสัญญาณในรูปแบบที่ต้องการจะขยาย อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบวงจร โดยได้นำ IC เบอร์ LF351 และตัวต้านทานในค่าต่างๆ มาใช้ปรับกำลังขยายที่ต้องการ

1. วงจรขยายสัญญาณ โดยเขียนเป็น schematic



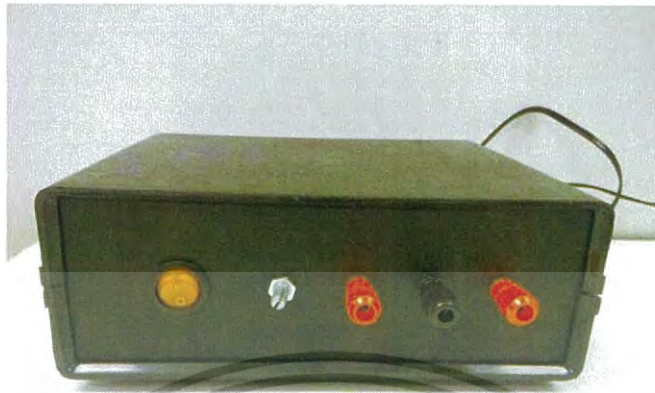
รูปที่ 3.4 การเขียน schematic ในวงจรสร้างการขยายสัญญาณ

2. การเขียน PCB Layout ในโปรแกรม Circuit Wizard



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.5 PCB Layout ของวงจรขยายสัญญาณหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

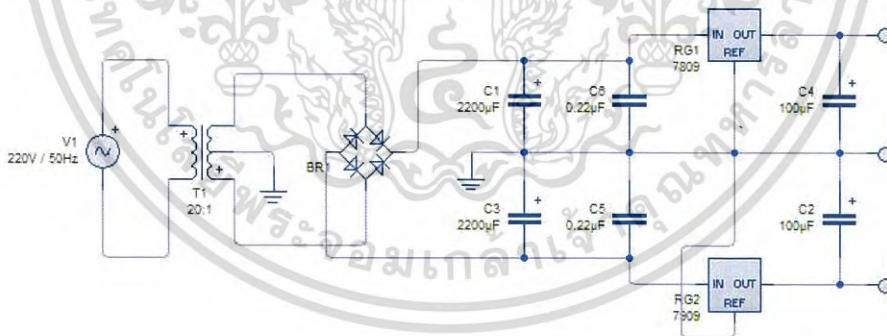
### 3. รูปแบบเครื่องสร้างสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.6 เครื่องสร้างสัญญาณรบกวน

### 3.2.2 วงจร Power Supply

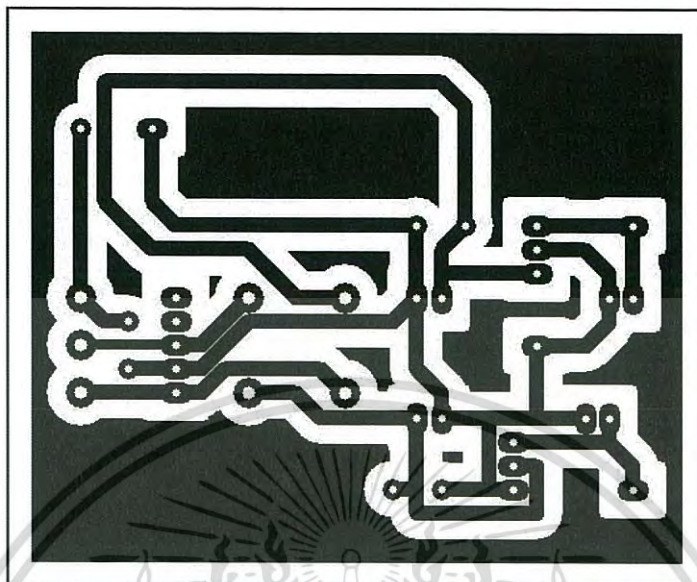
#### 1. วงจร Power Supply โดยเขียนเป็น Schematic



รูปที่ 3.7 วงจร Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การเขียน PCB Layout ในโปรแกรม Circuit Wizard



รูปที่ 3.8 PCB Layout Power supply

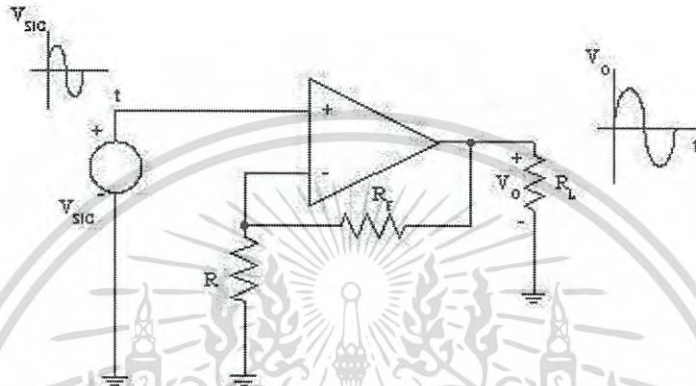
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การคิดกำลังขยายสัญญาณของวงจร

##### 4.1.1 วิธีคิดกำลังขยายสัญญาณของวงจร



รูปที่ 4.1 วิธีในการคิดกำลังขยายของวงจร

จากสูตร  $A_v = 1 + \frac{R_f}{R}$

โดยที่  $R = 1\text{k}\Omega$

$R_f = 100\text{ k}\Omega$

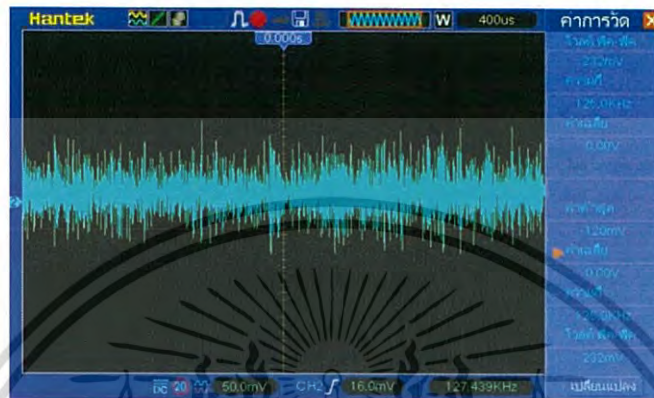
จะได้  $A_v = 1 + \frac{100}{1}$   
 $= 1 + 100$   
 $= 101 \text{ เท่า}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

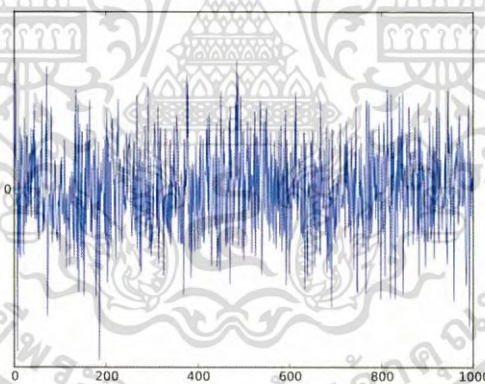
## 4.2 ผลการทดสอบวงจร

### 4.3.1 ผลการทดสอบของวงจรกำเนิดสัญญาณรบกวน

จากการทดลองจะใช้ IC UA741 และ transistor 2N3904 ในการต่อวงจรสร้างสัญญาณรบกวน จากนั้นจะได้สัญญาณรบกวนออกมาโดยวัดออกมาจาก oscilloscope จะมี  $V_{p-p} = 200 \text{ mV}$  แล้วนำมาเทียบกับสัญญาณรบกวนตามทฤษฎี



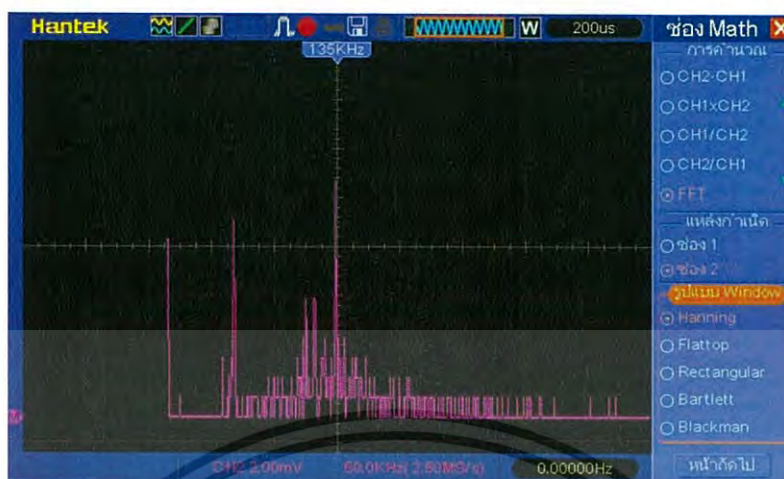
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณรบกวนที่วัดได้



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณรบกวนตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลการทดสอบ FFT ของวงจรกำเนิดสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผล FFT

#### 4.3.3 ผลการทดสอบของวงจรขยายสัญญาณ

ในการทดสอบเราจะทำการขยายสัญญาณที่ความถี่ 100 Hz 1.27kHz และ 10.0 kHz โดยเราจะทำการขยายสัญญาณตั้งแต่ 20 เท่า จนถึง 100 เท่า จากการเปลี่ยนค่าตัวต้านทานไปเรื่อยๆ จะได้ผลตามตารางข้างล่าง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการขยายสัญญาณ

ที่  $f = 100 \text{ Hz}$

Amplitude = 320mV

$R = 1k$

| ค่าตัว<br>ต้านทาน<br>(k $\Omega$ ) | V output (V) | กำลังขยายสัญญาณ<br>จากการคำนวณ | กำลังขยายสัญญาณ<br>จาก $V_{\text{output}}$ | เปอร์เซ็นต์<br>คลาดเคลื่อน<br>(%) |
|------------------------------------|--------------|--------------------------------|--|-----------------------------------|
| 26                                 | 8.72         | 27                             | 26   | 0.93                              |
| 39                                 | 12.6         | 40                             | 37.5                                       | 1.56                              |
| 56                                 | 16.8         | 57                             | 52.5                                       | 7.89                              |
| 71                                 | 21.4         | 72                             | 66.87                                      | 7.125                             |
| 81                                 | 23.0         | 82                             | 78.12                                      | 12.35                             |
| *86                                | 26.0         | 87                             | 80.62                                      | 6.60                              |
| *91                                | 27.0         | 92                             | 84.37                                      | 8.28                              |
| *100                               | 27.8         | 101                            | 87.5                                       | 13.98                             |

หมายเหตุ \* คือกราฟรูปไซน์โดนตัดขอบบนขอบล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการขยายสัญญาณ

ที่  $f = 1.27\text{kHz}$

Amplitude = 130mV

$R = 1\text{k}$

| ค่าตัวต้านทาน<br>( $k\Omega$ ) | V output (V) | กำลังขยายสัญญาณ<br>จากการคำนวณ | กำลังขยาย<br>สัญญาณจาก V<br>output | เปอร์เซ็นต์<br>คลาดเคลื่อน<br>(%) |
|--------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 26                             | 3.56         | 27                             | 27.05                              | 1.42                              |
| 39                             | 5.20         | 40                             | 38.25                              | 0                                 |
| 56                             | 7.44         | 57                             | 54.70                              | 0.40                              |
| 62                             | 8.08         | 63                             | 59.41                              | 1.34                              |
| 73                             | 10.0         | 74                             | 70.05                              | 4.00                              |
| 82                             | 11.0         | 83                             | 82.35                              | 1.95                              |
| 92                             | 12.4         | 93                             | 91.17                              | 2.56                              |
| 100                            | 13.4         | 101                            | 97.05                              | 2.06                              |

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการขยายสัญญาณ

ที่  $f = 10.0\text{ kHz}$

Amplitude = 130mV

$R = 1\text{k}$

| ค่าตัว<br>ต้านทาน<br>( $k\Omega$ ) | V output (V) | กำลังขยายสัญญาณ<br>จากการคำนวณ | กำลังขยาย<br>สัญญาณจาก V<br>output | เปอร์เซ็นต์<br>คลาดเคลื่อน<br>(%) |
|------------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 26                                 | 3.56         | 27                             | 26.47                              | 1.42                              |
| 39                                 | 5.00         | 40                             | 37.64                              | 3.84                              |
| 56                                 | 7.20         | 57                             | 54.11                              | 2.83                              |
| 62                                 | 7.84         | 63                             | 60                                 | 4.28                              |
| 73                                 | 9.12         | 74                             | 70.58                              | 5.20                              |
| 81                                 | 10.0         | 82                             | 74.26                              | 6.19                              |
| 94                                 | 11.5         | 95                             | 82.35                              | 6.88                              |
| 100                                | 12.4         | 101                            | 91.17                              | 5.55                              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 1. ผลการทดลองเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน

จากการศึกษาการทำงานของ IC เบอร์ UA741 แล้วนำมาทดลองเราจะได้สัญญาณรบกวนที่มีขนาด  $V_{p-p}$  ที่ 200 mV แล้วนำสัญญาณรบกวนที่ได้ไปเทียบกับสัญญาณรบกวนตามทฤษฎี ผลปรากฏว่าสัญญาณที่เครื่องให้สร้างได้ มีลักษณะและขนาดที่เหมือนกับสัญญาณรบกวนตามทฤษฎี แต่เมื่อทดสอบฮาร์มอนิกต่างๆ ด้วยฟังก์ชัน FFT พบว่าความถี่เกาะกลุ่มอยู่เป็นบริเวณหนึ่งมากเป็นพิเศษ และมีค่ากึ่งกลางอยู่ประมาณ 135 kHz

##### 2. ผลการทดลองเครื่องขยายสัญญาณ

จากการศึกษาการทำงานของ IC เบอร์ LF351 พบว่า IC เบอร์นี้ใช้กระแสในการทำงานที่  $+15V$   $-18V$  ทำการขยายสัญญาณตั้งแต่ 1 เท่า ไปจนถึง 100 เท่า โดยเราได้กำหนดค่า  $R = 1k\Omega$  และใช้ค่า  $R_f$  ในค่าต่างๆกัน ตามการคำนวณในสูตรคิดอัตรากำลังขยายสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะไม่กลับเฟส และพอนำค่าที่คำนวณมาเทียบกับอัตราขยายในวงจรจะมีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนมากที่สุด 13% ที่กำลังขยาย 95 เท่า ที่ความถี่ 10 kHz

#### 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ศึกษาการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาสร้างสัญญาณรบกวนได้ ทั้ง UA741 และไอซีเบอร์ต่างๆ

ควรศึกษาวงจรการทำงาน ขั้นตอนในการทดลอง เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้ามาเกี่ยวข้อง ควรมีความระมัดระวังในการต่อวงจร เนื่องจากถ้าผิดพลาดจะทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดแยกสัญญาณรบกวนกับสัญญาณที่ต้องการได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ณ์ดนัย พรหมคำปา. 2556. IC ย่อมาจากอะไร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://thoenggj.blogspot.com/2013/02/ic.html>
- [2] วิชาการ.คอม. 2552. IC คืออะไร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.vcharkarn.com/vcafe/170122>
- [3] อาจารย์ดร.นรรัตน์ วัฒนมงคล. 2555. สัญญาณรบกวน (Noise). (ออนไลน์). แหล่งที่มา [http://www.ee.buu.ac.th/attachments/article/237/6%20%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B8%99%20\(Noise\).pdf](http://www.ee.buu.ac.th/attachments/article/237/6%20%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B8%99%20(Noise).pdf)
- [4] ส.อ. พลกร จีร์รัตน์รักษ์. Noise สิ่งรบกวน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://503244015.eu5.org/noise.html>
- [5] White Noise. (ออนไลน์). แหล่งที่มา [https://en.wikipedia.org/wiki/White\\_noise](https://en.wikipedia.org/wiki/White_noise)
- [6] Op-amp. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <https://fivedots.coe.psu.ac.th/~kpatimakorn/240-206/chap8/chap8-7.html>
- [7] ออปแอมป์ (Operational Amplifiers, Op-Amp). (ออนไลน์). แหล่งที่มา [http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/elect ric/R-L/chap5\\_1.htm](http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/elect ric/R-L/chap5_1.htm)
- [8] ออปแอมป์และการใช้งาน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.sukhothaitc.ac.th/faifa/Personal/kraisorn/teaching/OP-A.htm>
- [9] ทรานซิสเตอร์ (Transistor) คืออะไร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.psptech.co.th/%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B8%AA%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8Ctransistor%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-14858.page>
- [10] Cascade Microtech. 2554. On-Wafer Flicker Noise Measurement. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.cascademicrotech.com/blog/2011/on-wafer-flicker-noise-measurement-defining-noise/>
- [11] ทรานซิสเตอร์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B8%AA%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C>
- [12] NOISE GENERATOR. (ออนไลน์). แหล่งที่มา [http://www.tradeofic.com/Circuit/2635-NOISE\\_GENERATOR.html](http://www.tradeofic.com/Circuit/2635-NOISE_GENERATOR.html)
- [13] วารสาร Semiconductor. ทรานซิสเตอร์ สารกึ่งตัวนำสำคัญ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา [http://electronics.se-ed.com/contents/068S165/068s165\\_p01.asp](http://electronics.se-ed.com/contents/068S165/068s165_p01.asp)
- [14] อาจารย์ พันธุ์ศักดิ์ พลอินทร์. ทรานซิสเตอร์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www2.tatc.ac.th/e-learning/story11.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



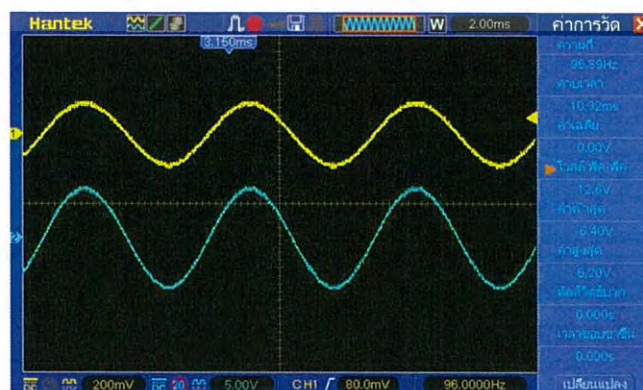
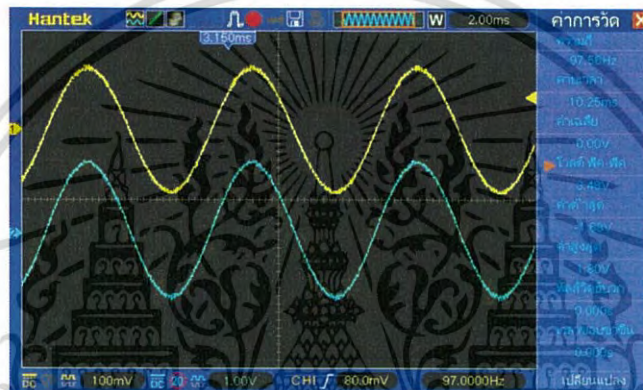
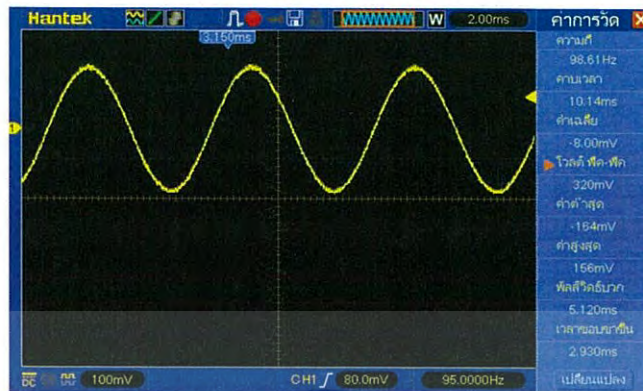
ภาคผนวก ก

กำลังขยายของวงจรขยายสัญญาณ

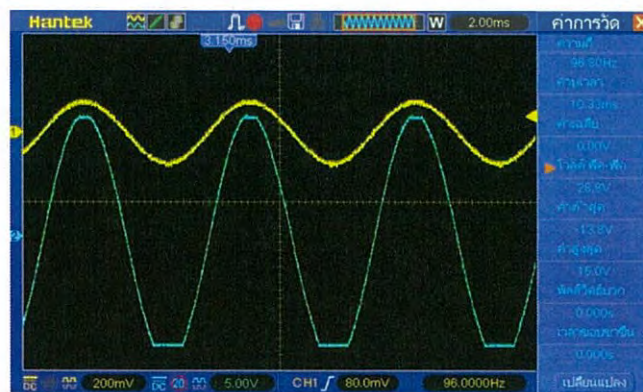
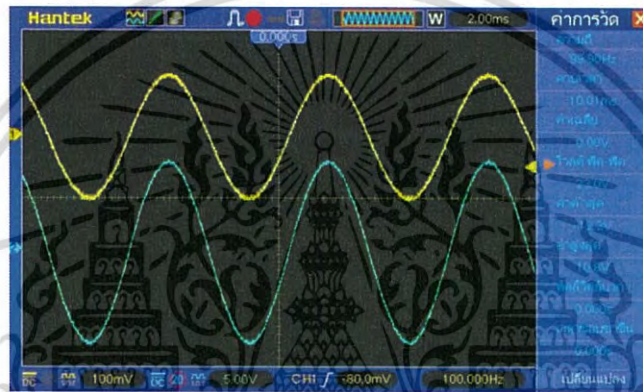
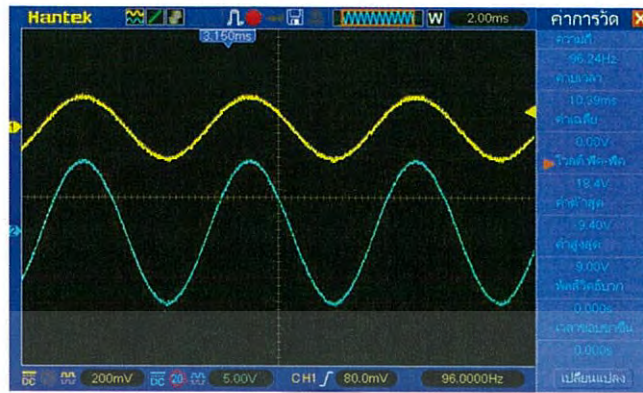
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังขยาย

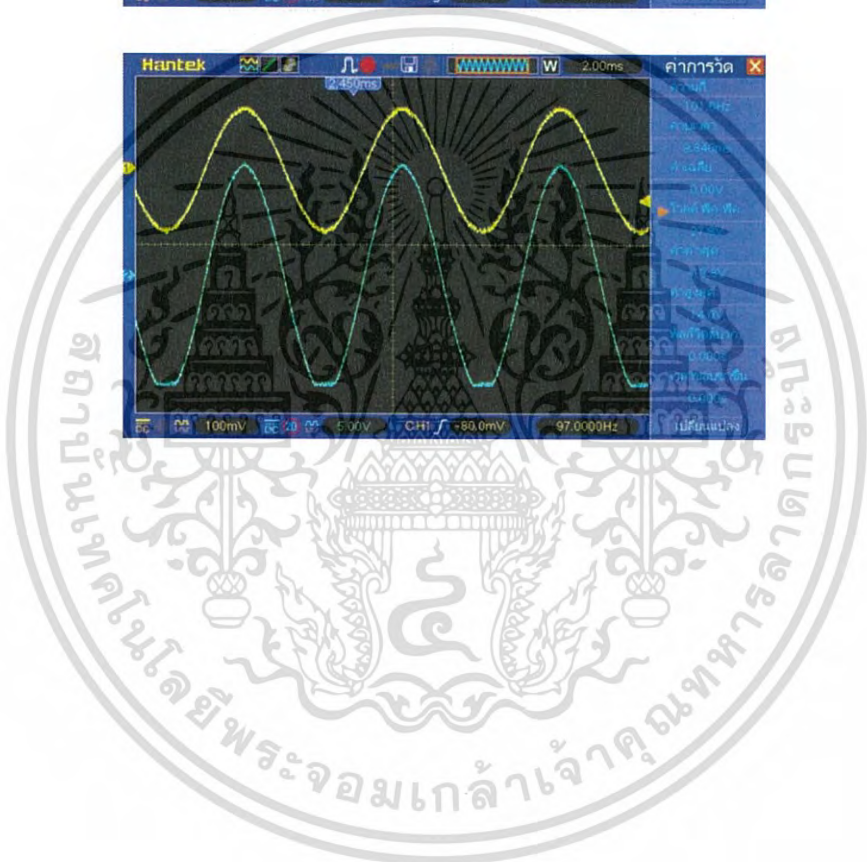
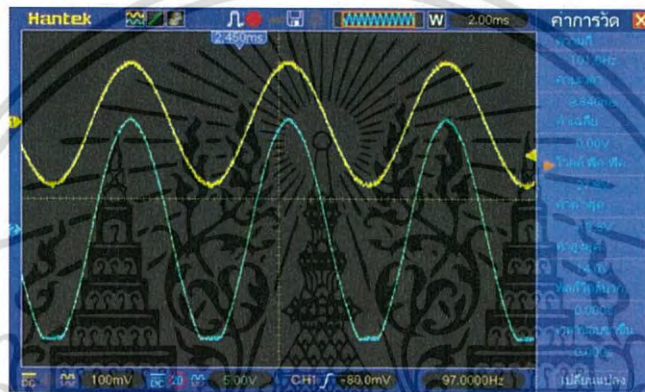
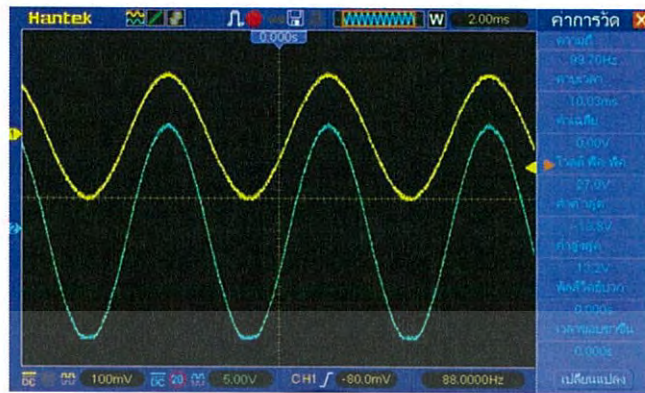
ที่  $f = 100 \text{ Hz}$   $320 \text{ mV}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



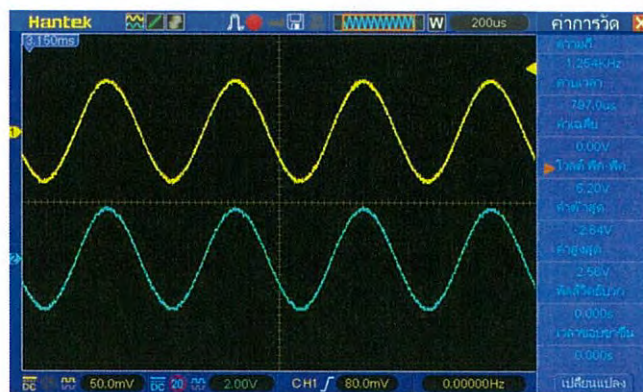
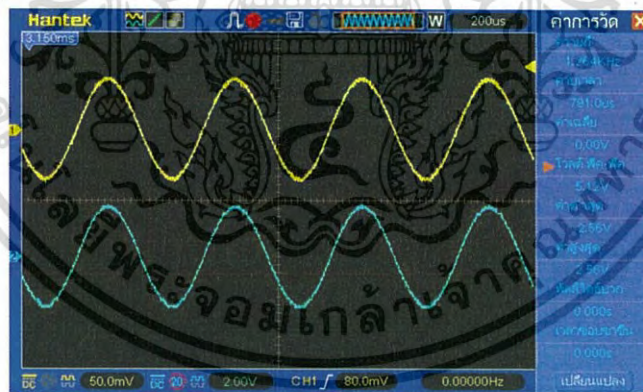
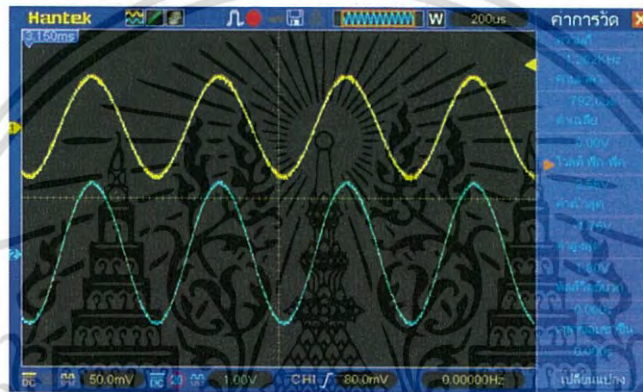
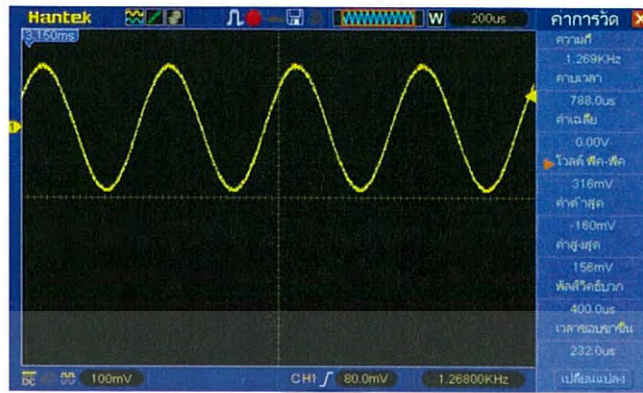
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



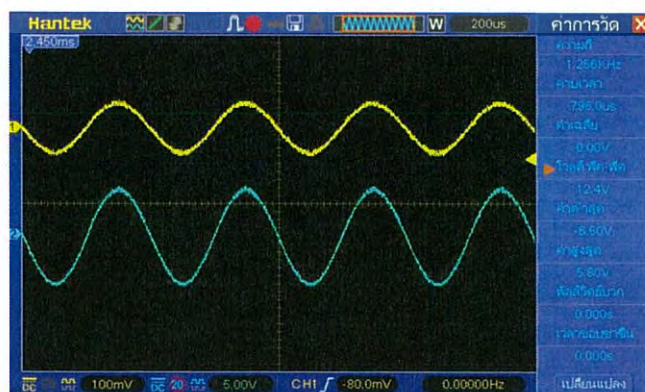
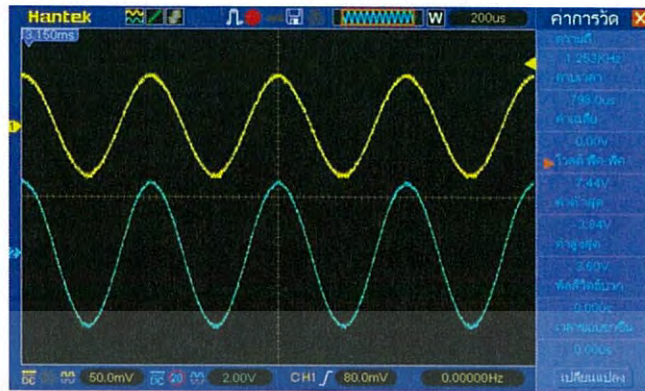
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กำลังขยาย

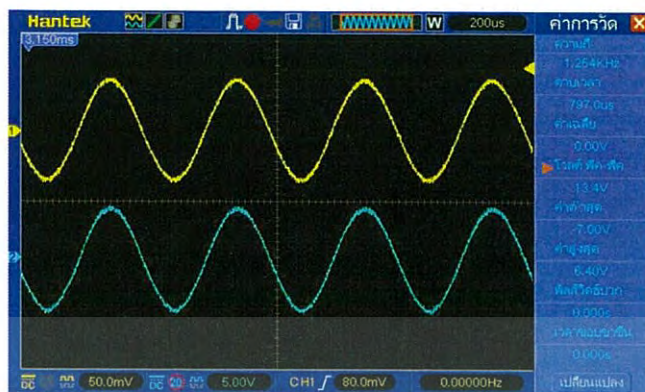
ที่  $f = 1 \text{ kHz}$  316 mV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



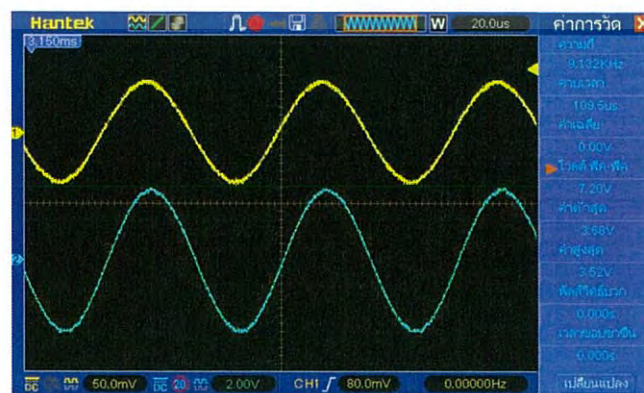
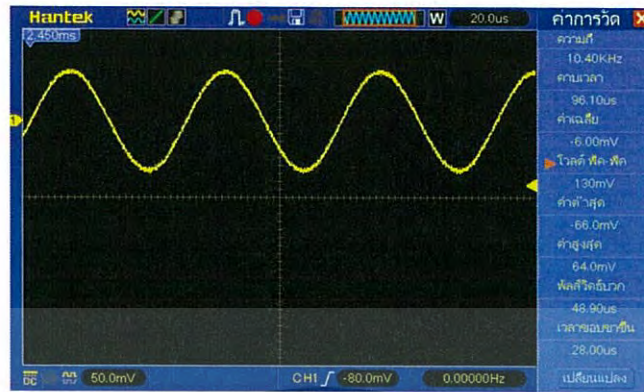
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



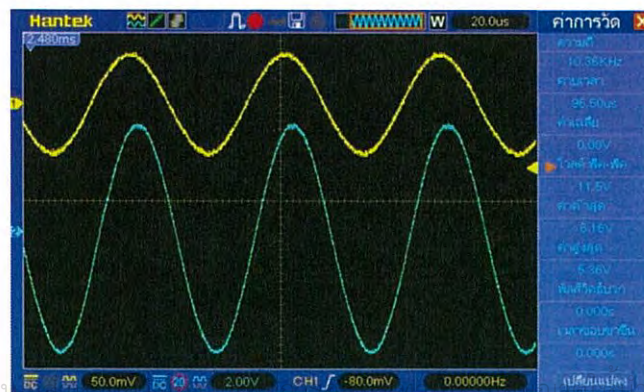
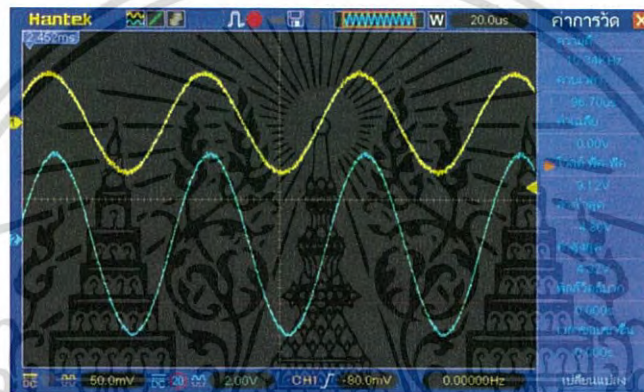
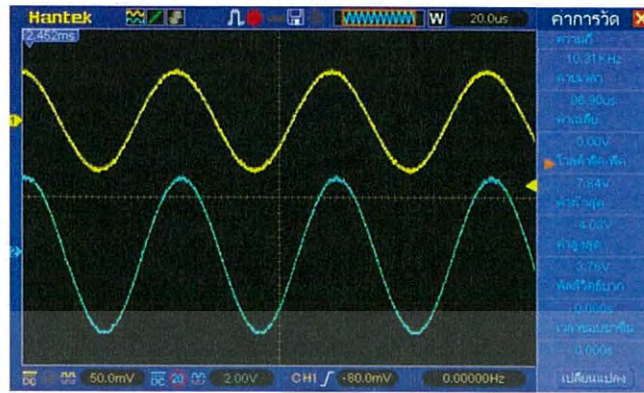
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กำลังขยาย

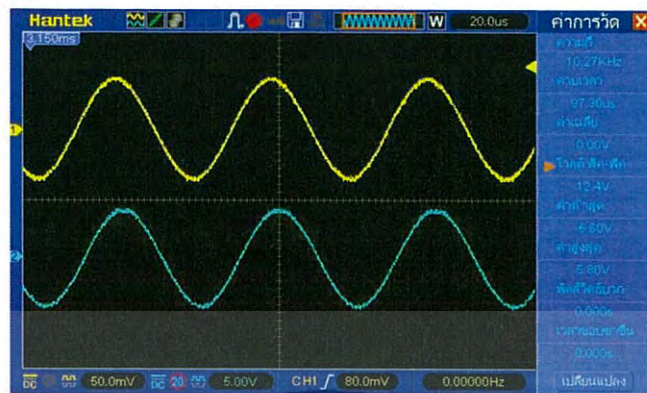
ที่  $f = 10 \text{ kHz}$  130 mV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท ฮันเทค อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
Datasheet

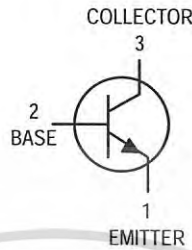
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# General Purpose Transistors

## NPN Silicon

**2N3903**  
**2N3904\***

\*Motorola Preferred Device



CASE 29-04, STYLE 1  
TO-92 (TO-226AA)

### MAXIMUM RATINGS

| Rating   | Symbol         | Value       | Unit                          |
|--|----------------|-------------|-------------------------------|
| Collector-Emitter Voltage  | $V_{CE0}$      | 40          | Vdc                           |
| Collector-Base Voltage   | $V_{CB0}$      | 60          | Vdc                           |
| Emitter-Base Voltage   | $V_{EB0}$      | 6.0         | Vdc                           |
| Collector Current — Continuous   | $I_C$          | 200         | mAdc                          |
| Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>Derate above $25^\circ\text{C}$ | $P_D$          | 625<br>5.0  | mW<br>mW/ $^\circ\text{C}$    |
| Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$<br>Derate above $25^\circ\text{C}$ | $P_D$          | 1.5<br>12   | Watts<br>mW/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Junction<br>Temperature Range                                    | $T_J, T_{stg}$ | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$              |

### THERMAL CHARACTERISTICS(1)

| Characteristic                          | Symbol          | Max  | Unit                      |
|---|-----------------|------|---------------------------|
| Thermal Resistance, Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | 200  | $^\circ\text{C}/\text{W}$ |
| Thermal Resistance, Junction to Case    | $R_{\theta JC}$ | 83.3 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ |

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

| Characteristic | Symbol | Min | Max | Unit |
|----------------|--------|-----|-----|------|
|----------------|--------|-----|-----|------|

### OFF CHARACTERISTICS

|   |               |     |    |      |
|---|---------------|-----|----|------|
| Collector-Emitter Breakdown Voltage (2)<br>( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}, I_B = 0$ )    | $V_{(BR)CEO}$ | 40  | —  | Vdc  |
| Collector-Base Breakdown Voltage<br>( $I_C = 10 \mu\text{Adc}, I_E = 0$ )           | $V_{(BR)CBO}$ | 60  | —  | Vdc  |
| Emitter-Base Breakdown Voltage<br>( $I_E = 10 \mu\text{Adc}, I_C = 0$ )             | $V_{(BR)EBO}$ | 6.0 | —  | Vdc  |
| Base Cutoff Current<br>( $V_{CE} = 30 \text{ Vdc}, V_{EB} = 3.0 \text{ Vdc}$ )      | $I_{BL}$      | —   | 50 | nAdc |
| Collector Cutoff Current<br>( $V_{CE} = 30 \text{ Vdc}, V_{EB} = 3.0 \text{ Vdc}$ ) | $I_{CEX}$     | —   | 50 | nAdc |

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements.
2. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ ; Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

REV 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้เข้าใจประโยชน์ด้านการค้า

## 2N3903 2N3904

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

| Characteristic  | Symbol           | Min       | Max          | Unit |
|---|------------------|-----------|--------------|------|
| <b>ON CHARACTERISTICS</b>   |                  |           |              |      |
| DC Current Gain <sup>(1)</sup><br>( $I_C = 0.1 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )   | 2N3903<br>2N3904 | 20<br>40  | —<br>—       | —    |
| ( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )   | 2N3903<br>2N3904 | 35<br>70  | —<br>—       | —    |
| ( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )  | 2N3903<br>2N3904 | 50<br>100 | 150<br>300   | —    |
| ( $I_C = 50 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )  | 2N3903<br>2N3904 | 30<br>60  | —<br>—       | —    |
| ( $I_C = 100 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )   | 2N3903<br>2N3904 | 15<br>30  | —<br>—       | —    |
| Collector–Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup><br>( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0 \text{ mAdc}$ )<br>( $I_C = 50 \text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0 \text{ mAdc}$ ) |                  | —<br>—    | 0.2<br>0.3   | Vdc  |
| Base–Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup><br>( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0 \text{ mAdc}$ )<br>( $I_C = 50 \text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0 \text{ mAdc}$ )      |                  | 0.65<br>— | 0.85<br>0.95 | Vdc  |

### SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS

|  |                  |                     |            |                             |
|--|------------------|---------------------|------------|-----------------------------|
| Current–Gain — Bandwidth Product<br>( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 20 \text{ Vdc}$ , $f = 100 \text{ MHz}$ )              | 2N3903<br>2N3904 | $f_T$<br>250<br>300 | —<br>—     | MHz                         |
| Output Capacitance<br>( $V_{CB} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0 \text{ MHz}$ )   |                  | $C_{obo}$           | —          | 4.0 pF                      |
| Input Capacitance<br>( $V_{EB} = 0.5 \text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0 \text{ MHz}$ )  |                  | $C_{ibo}$           | —          | 8.0 pF                      |
| Input Impedance<br>( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )                              | 2N3903<br>2N3904 | $h_{ie}$            | 1.0<br>1.0 | 8.0<br>10 k $\Omega$        |
| Voltage Feedback Ratio<br>( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )                       | 2N3903<br>2N3904 | $h_{re}$            | 0.1<br>0.5 | 5.0<br>8.0 $\times 10^{-4}$ |
| Small–Signal Current Gain<br>( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )                    | 2N3903<br>2N3904 | $h_{fe}$            | 50<br>100  | 200<br>400                  |
| Output Admittance<br>( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )                            |                  | $h_{oe}$            | 1.0        | 40 $\mu\text{mhos}$         |
| Noise Figure<br>( $I_C = 100 \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ ) | 2N3903<br>2N3904 | NF                  | —<br>—     | 6.0<br>5.0 dB               |

### SWITCHING CHARACTERISTICS

|              |   |                  |       |        |            |    |
|--------------|---|------------------|-------|--------|------------|----|
| Delay Time   | $(V_{CC} = 3.0 \text{ Vdc}$ , $V_{BE} = 0.5 \text{ Vdc}$ ,<br>$I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $I_{B1} = 1.0 \text{ mAdc}$ ) |                  | $t_d$ | —      | 35         | ns |
| Rise Time    |   |                  | $t_r$ | —      | 35         | ns |
| Storage Time | $(V_{CC} = 3.0 \text{ Vdc}$ , $I_C = 10 \text{ mAdc}$ ,<br>$I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mAdc}$ )                     | 2N3903<br>2N3904 | $t_s$ | —<br>— | 175<br>200 | ns |
| Fall Time    |   |                  | $t_f$ | —      | 50         | ns |

1. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ ; Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

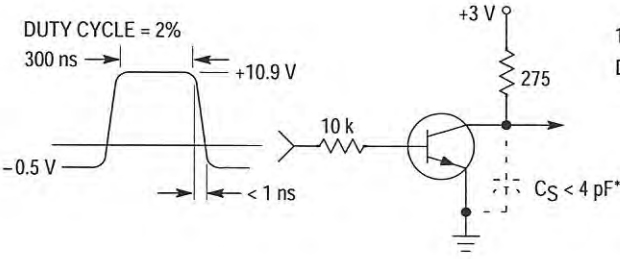


Figure 1. Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

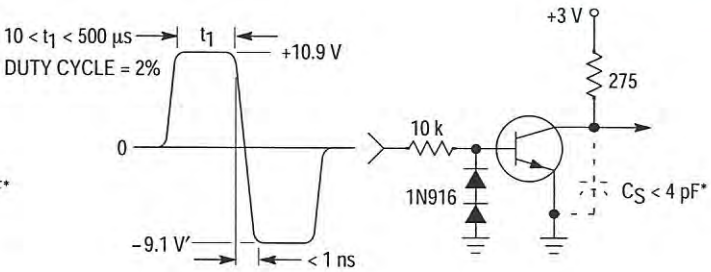


Figure 2. Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

\* Total shunt capacitance of test jig and connectors

TYPICAL TRANSIENT CHARACTERISTICS

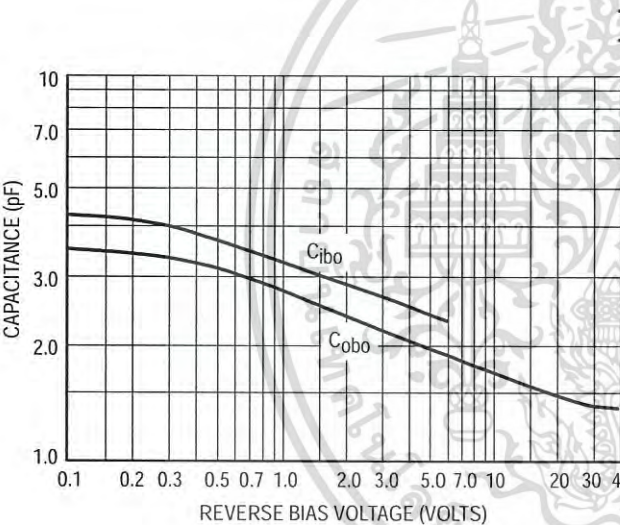


Figure 3. Capacitance

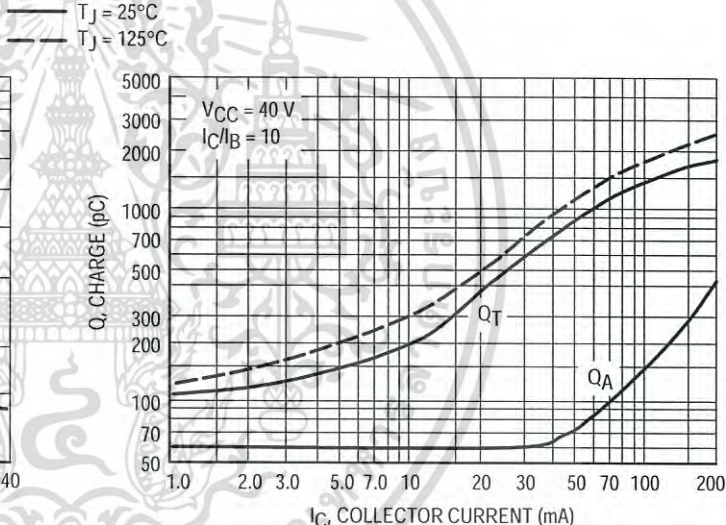


Figure 4. Charge Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

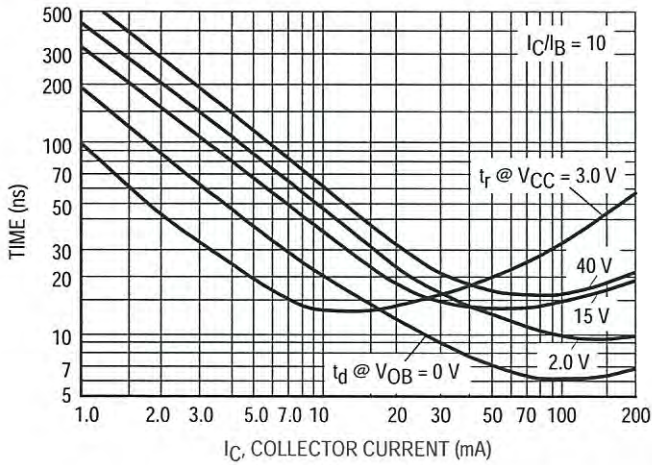


Figure 5. Turn-On Time

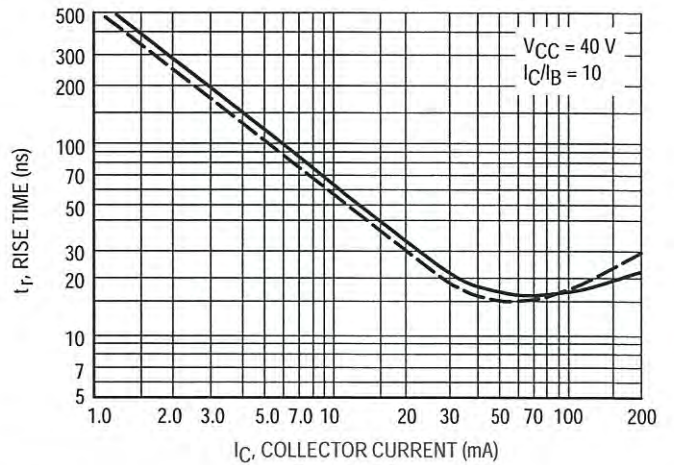


Figure 6. Rise Time

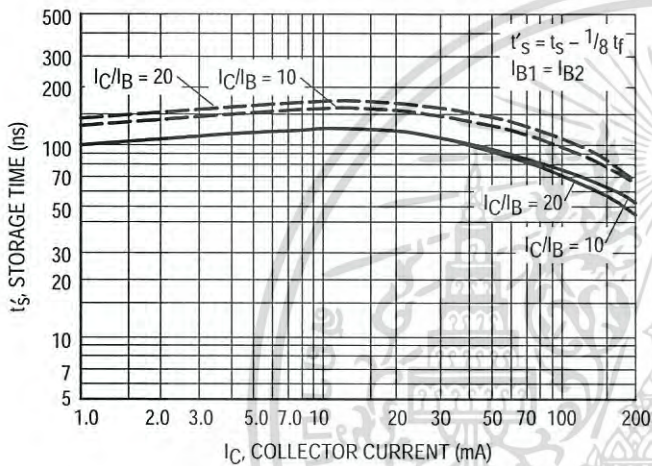


Figure 7. Storage Time

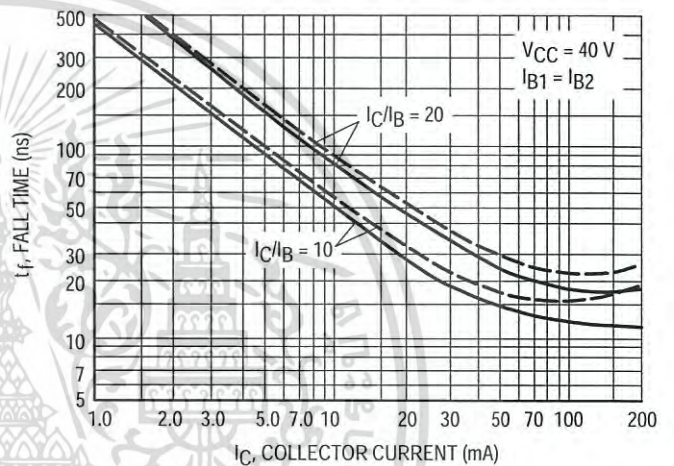


Figure 8. Fall Time

**TYPICAL AUDIO SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS  
NOISE FIGURE VARIATIONS**  
( $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , Bandwidth = 1.0 Hz)

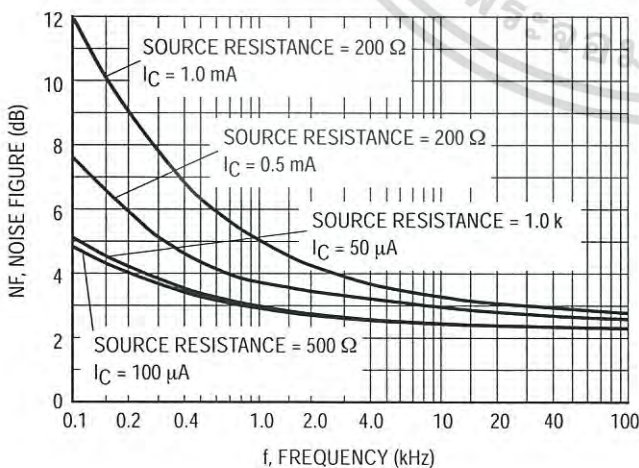


Figure 9.

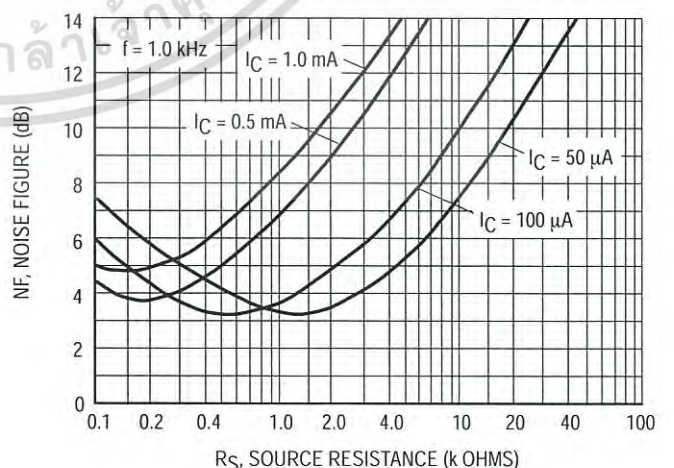


Figure 10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**h PARAMETERS**

( $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ ,  $f = 1.0 \text{ kHz}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

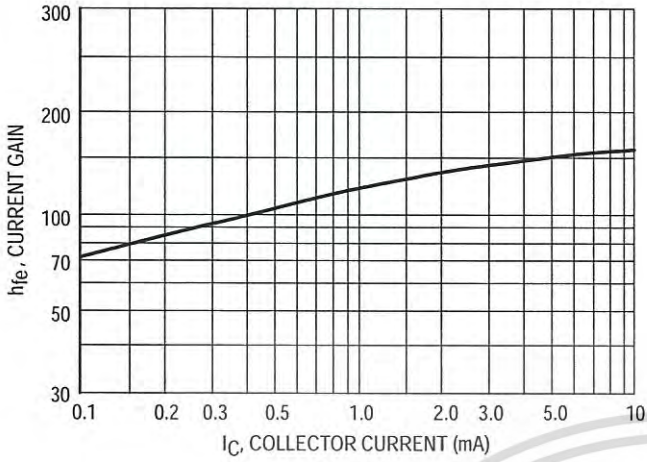


Figure 11. Current Gain

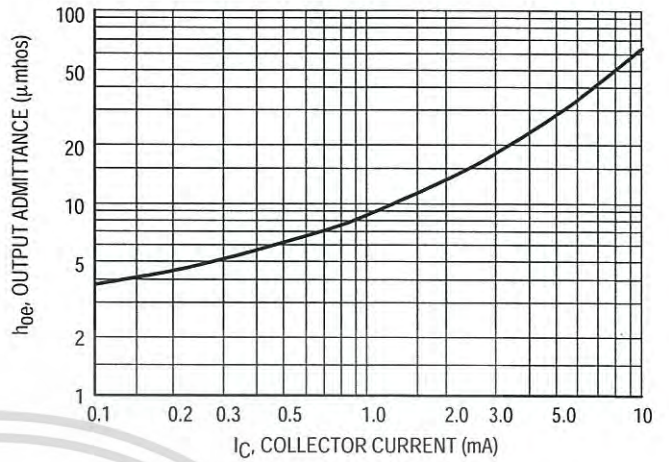


Figure 12. Output Admittance

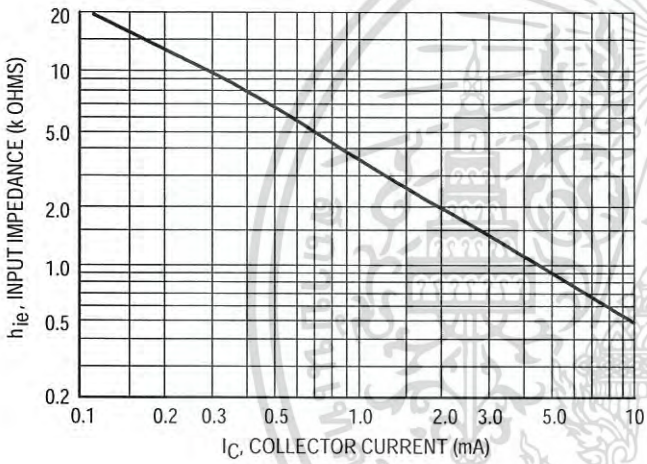


Figure 13. Input Impedance

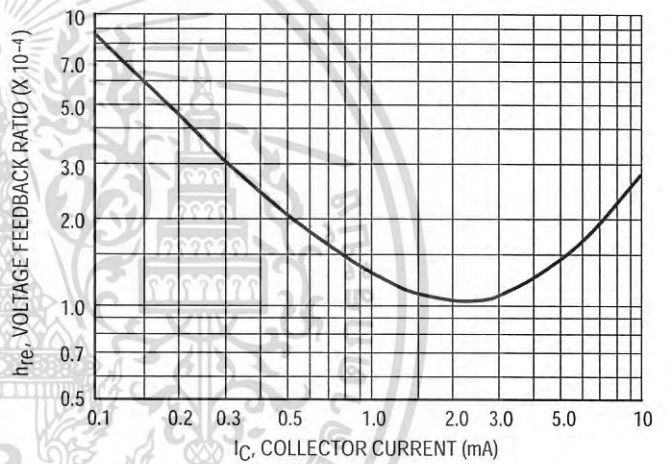


Figure 14. Voltage Feedback Ratio

**TYPICAL STATIC CHARACTERISTICS**

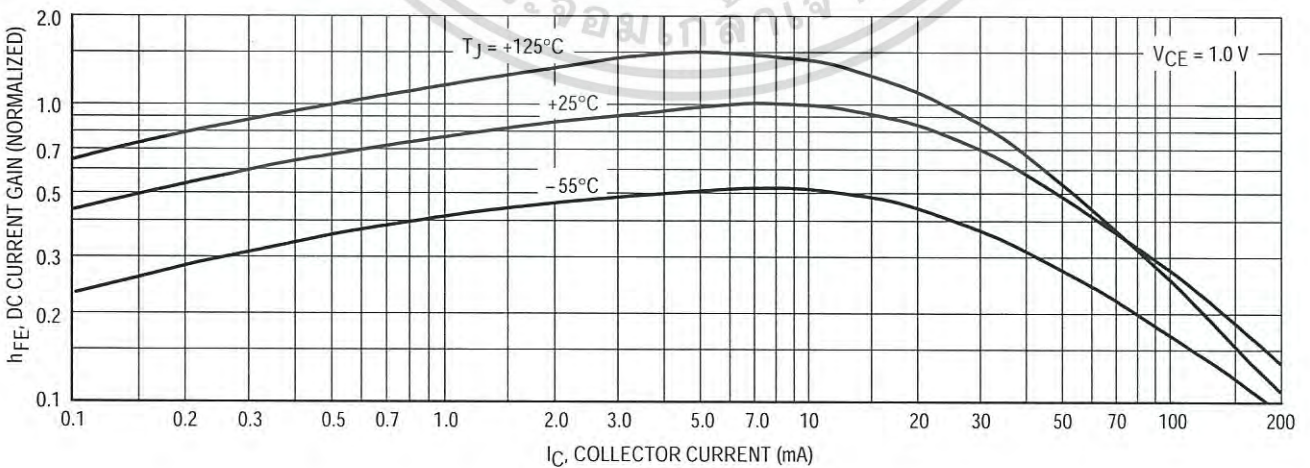


Figure 15. DC Current Gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

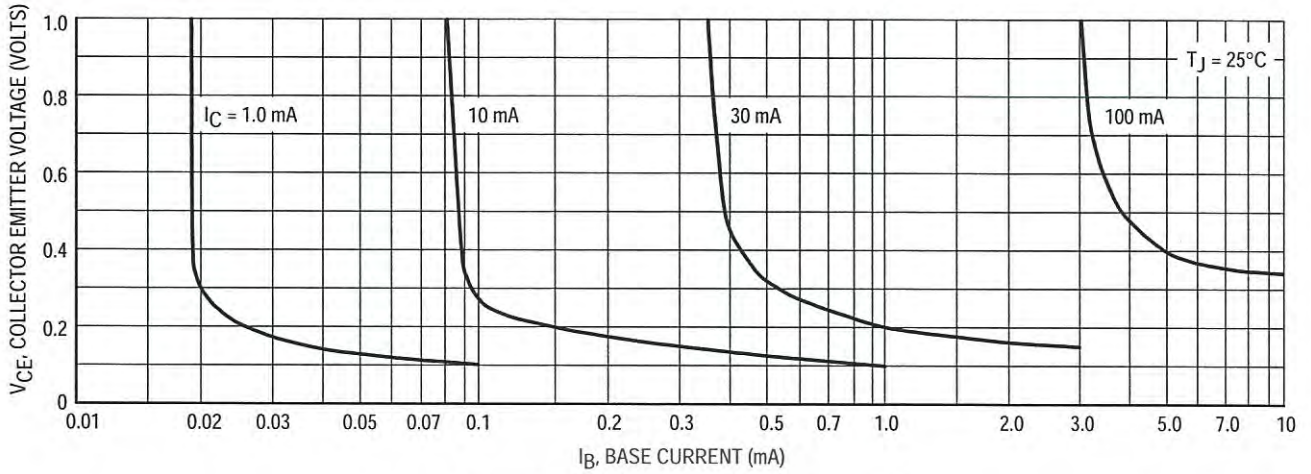


Figure 16. Collector Saturation Region

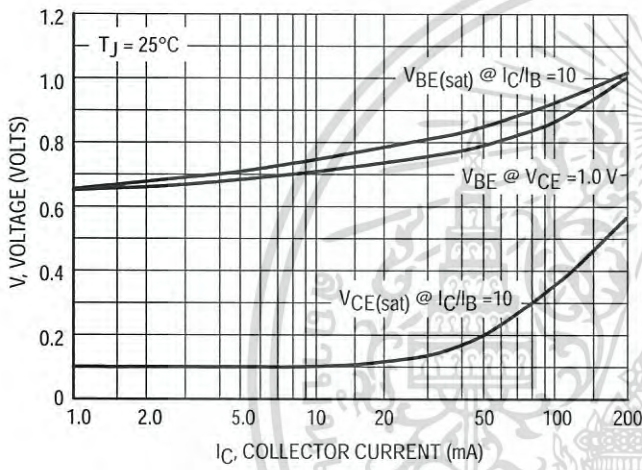


Figure 17. "ON" Voltages

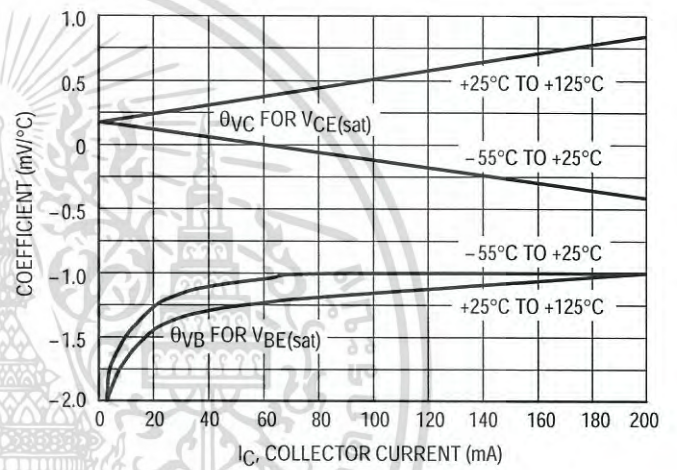
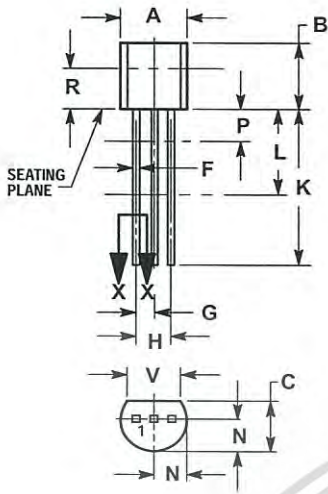


Figure 18. Temperature Coefficients

PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

| DIM | INCHES |       | MILLIMETERS |      |
|-----|--------|-------|-------------|------|
|     | MIN    | MAX   | MIN         | MAX  |
| A   | 0.175  | 0.205 | 4.45        | 5.20 |
| B   | 0.170  | 0.210 | 4.32        | 5.33 |
| C   | 0.125  | 0.165 | 3.18        | 4.19 |
| D   | 0.016  | 0.022 | 0.41        | 0.55 |
| F   | 0.016  | 0.019 | 0.41        | 0.48 |
| G   | 0.045  | 0.055 | 1.15        | 1.39 |
| H   | 0.095  | 0.105 | 2.42        | 2.66 |
| J   | 0.015  | 0.020 | 0.39        | 0.50 |
| K   | 0.500  | —     | 12.70       | —    |
| L   | 0.250  | —     | 6.35        | —    |
| N   | 0.080  | 0.105 | 2.04        | 2.66 |
| P   | —      | 0.100 | —           | 2.54 |
| R   | 0.115  | —     | 2.93        | —    |
| V   | 0.135  | —     | 3.43        | —    |

CASE 029-04  
(TO-226AA)  
ISSUE AD


STYLE 1:

1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

**How to reach us:**

**USA/EUROPE/Locations Not Listed:** Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 5405; Denver, Colorado 80217. 1-800-441-2447

**MFAX:** RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602-244-6609  
**INTERNET:** <http://Design-NET.com>

**JAPAN:** Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 81-3-3521-8315

**ASIA/PACIFIC:** Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 2N3903/D

# JFET Input Operational Amplifiers

These low cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art analog technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The JFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

These devices are available in single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403/LM324 bipolar devices.

- Input Offset Voltage of 5.0 mV Max (LF347B)
- Low Input Bias Current: 50 pA
- Low Input Noise Voltage:  $16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide Gain Bandwidth: 4.0 MHz
- High Slew Rate:  $13\text{V}/\mu\text{s}$
- Low Supply Current: 1.8 mA per Amplifier
- High Input Impedance:  $10^{12} \Omega$
- High Common Mode and Supply Voltage Rejection Ratios: 100 dB

## MAXIMUM RATINGS

| Rating   | Symbol                   | Value       | Unit        |
|--|--------------------------|-------------|-------------|
| Supply Voltage   | $V_{CC}$<br>$V_{EE}$     | +18<br>-18  | V           |
| Differential Input Voltage   | $V_{ID}$                 | $\pm 30$    | V           |
| Input Voltage Range (Note 1)   | $V_{IDR}$                | $\pm 15$    | V           |
| Output Short Circuit Duration (Note 2)   | $t_{SC}$                 | Continuous  |             |
| Power Dissipation at $T_A = +25^\circ\text{C}$<br>Derate above $T_A = +25^\circ\text{C}$ | $P_D$<br>$1/\theta_{JA}$ | 900<br>10   | mW<br>mW/°C |
| Operating Ambient Temperature Range  | $T_A$                    | 0 to +70    | °C          |
| Operating Junction Temperature Range   | $T_J$                    | 115         | °C          |
| Storage Temperature Range  | $T_{stg}$                | -65 to +150 | °C          |

- NOTES:**
1. Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is limited to the negative power supply.
  2. Any amplifier output can be shorted to ground indefinitely. However, if more than one amplifier output is shorted simultaneously, maximum junction temperature rating may be exceeded.

# LF347, B LF351 LF353

## FAMILY OF JFET OPERATIONAL AMPLIFIERS

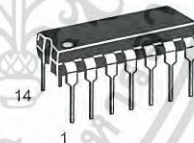
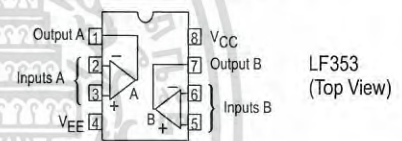
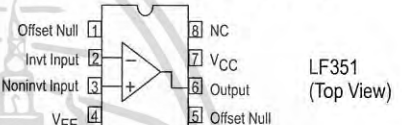


**N SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626



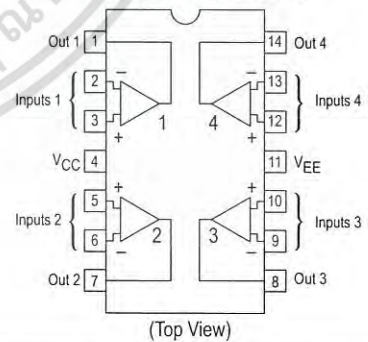
**D SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)

### PIN CONNECTIONS



**N SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 646

### PIN CONNECTIONS



## ORDERING INFORMATION

| Device            | Function         | Operating Temperature Range                   | Package                    |
|-------------------|------------------|---|----------------------------|
| LF351D<br>LF351N  | Single<br>Single | $T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ\text{C}$ | SO-8<br>Plastic DIP        |
| LF353D<br>LF353N  | Dual<br>Dual     |   | SO-8<br>Plastic DIP        |
| LF347BN<br>LF347N | Quad<br>Quad     |   | Plastic DIP<br>Plastic DIP |

## LF347, B LF351 LF353

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = +15$  V,  $V_{EE} = -15$  V,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

| Characteristic   | Symbol                   | LF347B   |               |              | LF347, LF351, LF353 |                   |                  | Unit                         |
|--|--------------------------|----------|---------------|--------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------------------|
|  |                          | Min      | Typ           | Max          | Min                 | Typ               | Max              |                              |
| Input Offset Voltage ( $R_S \leq 10$ k, $V_{CM} = 0$ )<br>$T_A = +25^\circ\text{C}$<br>$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$       | $V_{IO}$                 | –        | 1.0           | 5.0          | –                   | 5.0               | 10               | mV                           |
|  |                          | –        | –             | 8.0          | –                   | –                 | 13               |                              |
| Avg. Temperature Coefficient of Input Offset Voltage<br>$R_S \leq 10$ k, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$                     | $\Delta V_{IO}/\Delta T$ | –        | 10            | –            | –                   | 10                | –                | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Input Offset Current ( $V_{CM} = 0$ , Note 3)<br>$T_A = +25^\circ\text{C}$<br>$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$                | $I_{IO}$                 | –        | 25            | 100          | –                   | 25                | 100              | pA                           |
|  |                          | –        | –             | 4.0          | –                   | –                 | 4.0              | nA                           |
| Input Bias Current ( $V_{CM} = 0$ , Note 3)<br>$T_A = +25^\circ\text{C}$<br>$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$                  | $I_{IB}$                 | –        | 50            | 200          | –                   | 50                | 200              | pA                           |
|  |                          | –        | –             | 8.0          | –                   | –                 | 8.0              | nA                           |
| Input Resistance   | $r_i$                    | –        | $10^{12}$     | –            | –                   | $10^{12}$         | –                | $\Omega$                     |
| Common Mode Input Voltage Range  | $V_{ICR}$                | $\pm 11$ | +15<br>–12    | –            | $\pm 11$            | +15<br>–12        | –                | V                            |
| Large-Signal Voltage Gain ( $V_O = \pm 10$ V, $R_L = 2.0$ k)<br>$T_A = +25^\circ\text{C}$<br>$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ | $A_{VOL}$                | 50<br>25 | 100<br>–      | –<br>–       | 25<br>15            | 100<br>–          | –<br>–           | V/mV                         |
| Output Voltage Swing ( $R_L = 10$ k)   | $V_O$                    | $\pm 12$ | $\pm 14$      | –            | $\pm 12$            | $\pm 14$          | –                | V                            |
| Common Mode Rejection ( $R_S \leq 10$ k)   | CMR                      | 80       | 100           | –            | 70                  | 100               | –                | dB                           |
| Supply Voltage Rejection ( $R_S \leq 10$ k)  | PSRR                     | 80       | 100           | –            | 70                  | 100               | –                | dB                           |
| Supply Current<br>LF347<br>LF351<br>LF353  | $I_D$                    | –        | 7.2<br>–<br>– | 11<br>–<br>– | –                   | 7.2<br>1.8<br>3.6 | 11<br>3.4<br>6.5 | mA                           |
| Short Circuit Current  | $I_{SC}$                 | –        | 25            | –            | –                   | 25                | –                | mA                           |
| Slew Rate ( $A_V = +1$ )   | SR                       | –        | 13            | –            | –                   | 13                | –                | V/ $\mu\text{s}$             |
| Gain-Bandwidth Product   | BWp                      | –        | 4.0           | –            | –                   | 4.0               | –                | MHz                          |
| Equivalent Input Noise Voltage<br>( $R_S = 100$ $\Omega$ , $f = 1000$ Hz)  | $e_n$                    | –        | 24            | –            | –                   | 24                | –                | nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$       |
| Equivalent Input Noise Current ( $f = 1000$ Hz)  | $i_n$                    | –        | 0.01          | –            | –                   | 0.01              | –                | pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$       |
| Channel Separation (LF347, LF353)<br>1.0 Hz $\leq f \leq 20$ kHz (Input Referred)  | –                        | –        | –120          | –            | –                   | –120              | –                | dB                           |

For Typical Characteristic Performance Curves, refer to MC34001, 34002, 34004 data sheet.

**NOTE:** 3. Input bias currents of JFET input op amps approximately double for every  $10^\circ\text{C}$  rise in junction temperature. To maintain junction temperatures as close to ambient as is possible, pulse techniques are utilized during test.

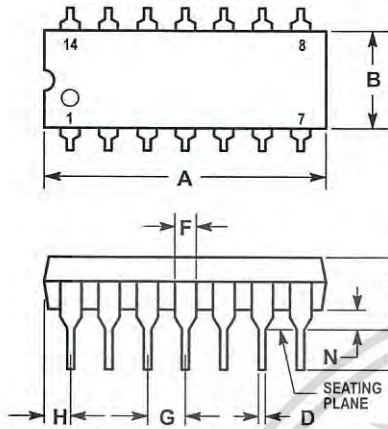
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



# LF347, B LF351 LF353

## OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 646-06  
ISSUE L



NOTES:

- LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
- DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
- DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
- ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

| DIM | INCHES    |       | MILLIMETERS |       |
|-----|-----------|-------|-------------|-------|
|     | MIN       | MAX   | MIN         | MAX   |
| A   | 0.715     | 0.770 | 18.16       | 19.56 |
| B   | 0.240     | 0.260 | 6.10        | 6.60  |
| C   | 0.145     | 0.185 | 3.69        | 4.69  |
| D   | 0.015     | 0.021 | 0.38        | 0.53  |
| F   | 0.040     | 0.070 | 1.02        | 1.78  |
| G   | 0.100 BSC |       | 2.54 BSC    |       |
| H   | 0.052     | 0.095 | 1.32        | 2.41  |
| J   | 0.008     | 0.015 | 0.20        | 0.38  |
| K   | 0.115     | 0.135 | 2.92        | 3.43  |
| L   | 0.300 BSC |       | 7.62 BSC    |       |
| M   | 0° 10°    |       | 0° 10°      |       |
| N   | 0.015     | 0.039 | 0.39        | 1.01  |

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

**How to reach us:**

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609  
INTERNET: <http://Design-NET.com>

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**MOTOROLA**  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป LF347/D





# UA741

## GENERAL PURPOSE SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- LARGE INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP
- HIGH GAIN
- SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- NO FREQUENCY COMPENSATION REQUIRED
- SAME PIN CONFIGURATION AS THE UA709

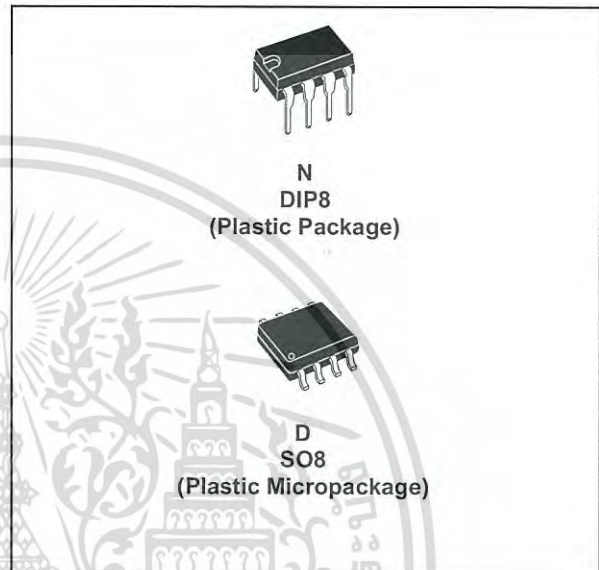
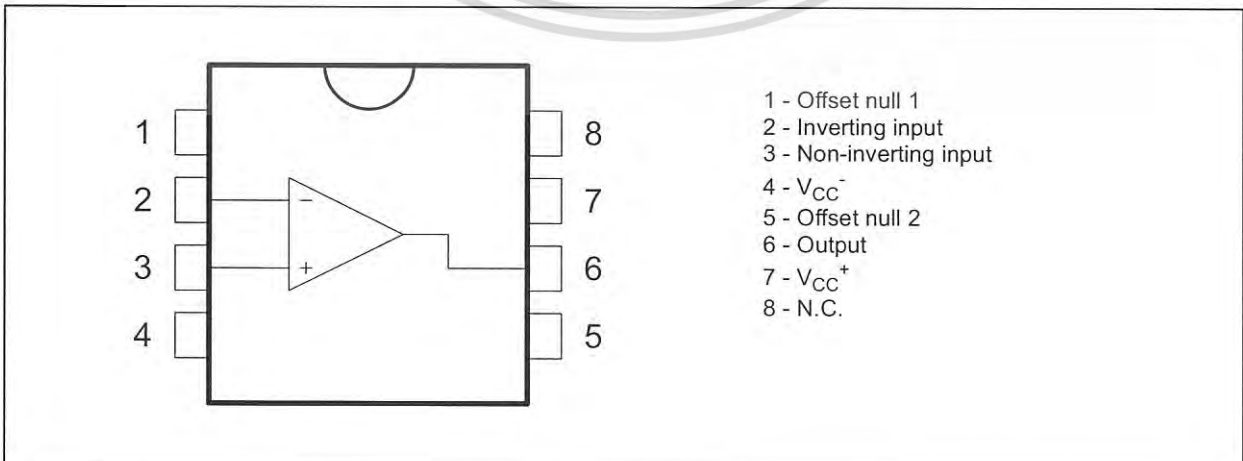
### DESCRIPTION

The UA741 is a high performance monolithic operational amplifier constructed on a single silicon chip. It is intended for a wide range of analog applications.

- Summing amplifier
- Voltage follower
- Integrator
- Active filter
- Function generator

The high gain and wide range of operating voltages provide superior performances in integrator, summing amplifier and general feedback applications. The internal compensation network (6dB/octave) insures stability in closed loop circuits.

### PIN CONNECTIONS (top view)

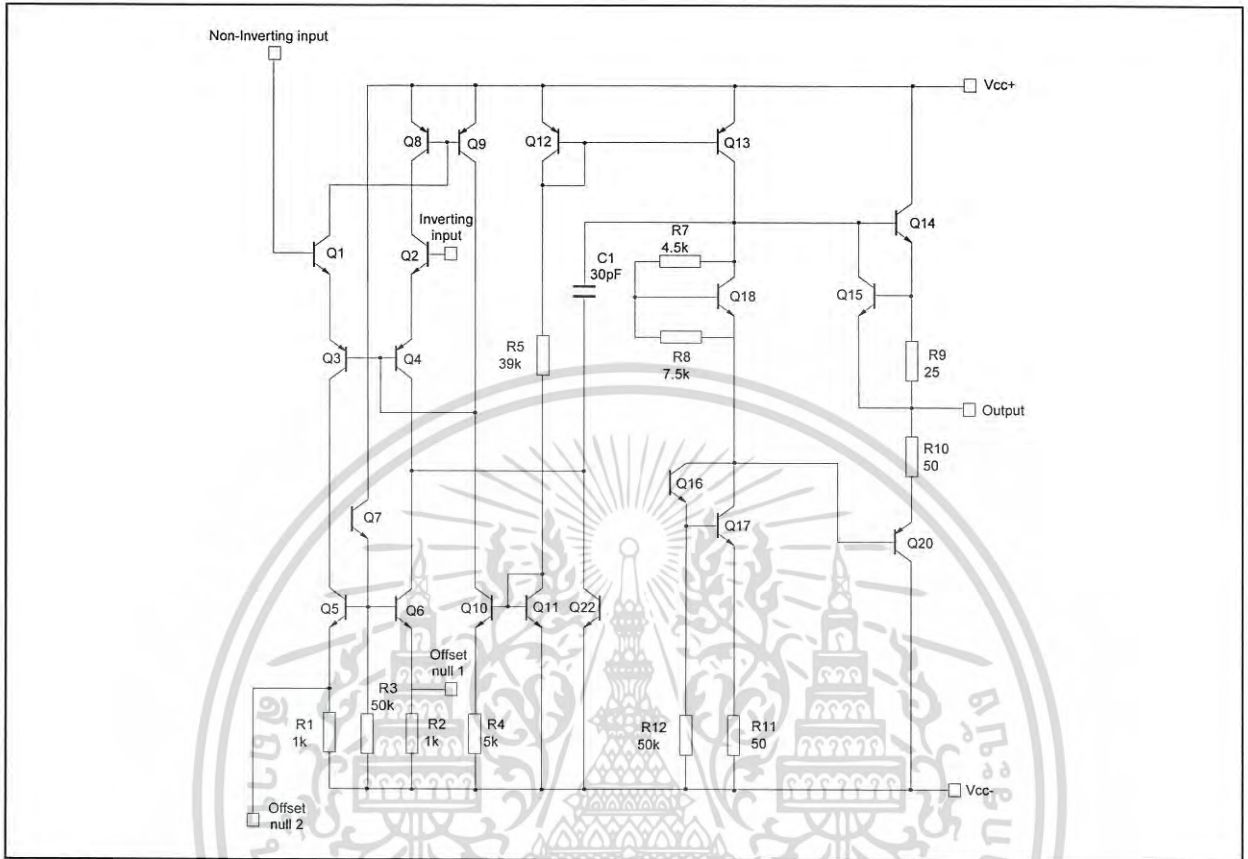


### ORDER CODE

| Part Number       | Temperature Range | Package |   |
|-------------------|-------------------|---------|---|
|                   |                   | N       | D |
| UA741C            | 0°C, +70°C        | •       | • |
| UA741I            | -40°C, +105°C     | •       | • |
| UA741M            | -55°C, +125°C     | •       | • |
| Example : UA741CN |                   |         |   |

N = Dual in Line Package (DIP)  
 D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

**SCHEMATIC DIAGRAM**



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

| Symbol     | Parameter                            | UA741M      | UA741I      | UA741C   | Unit |
|------------|--------------------------------------|-------------|-------------|----------|------|
| $V_{CC}$   | Supply voltage                       |             | $\pm 22$    |          | V    |
| $V_{id}$   | Differential Input Voltage           |             | $\pm 30$    |          | V    |
| $V_i$      | Input Voltage                        |             | $\pm 15$    |          | V    |
| $P_{tot}$  | Power Dissipation <sup>1)</sup>      |             | 500         |          | mW   |
|            | Output Short-circuit Duration        |             | Infinite    |          |      |
| $T_{oper}$ | Operating Free-air Temperature Range | -55 to +125 | -40 to +105 | 0 to +70 | °C   |
| $T_{stg}$  | Storage Temperature Range            |             | -65 to +150 |          | °C   |

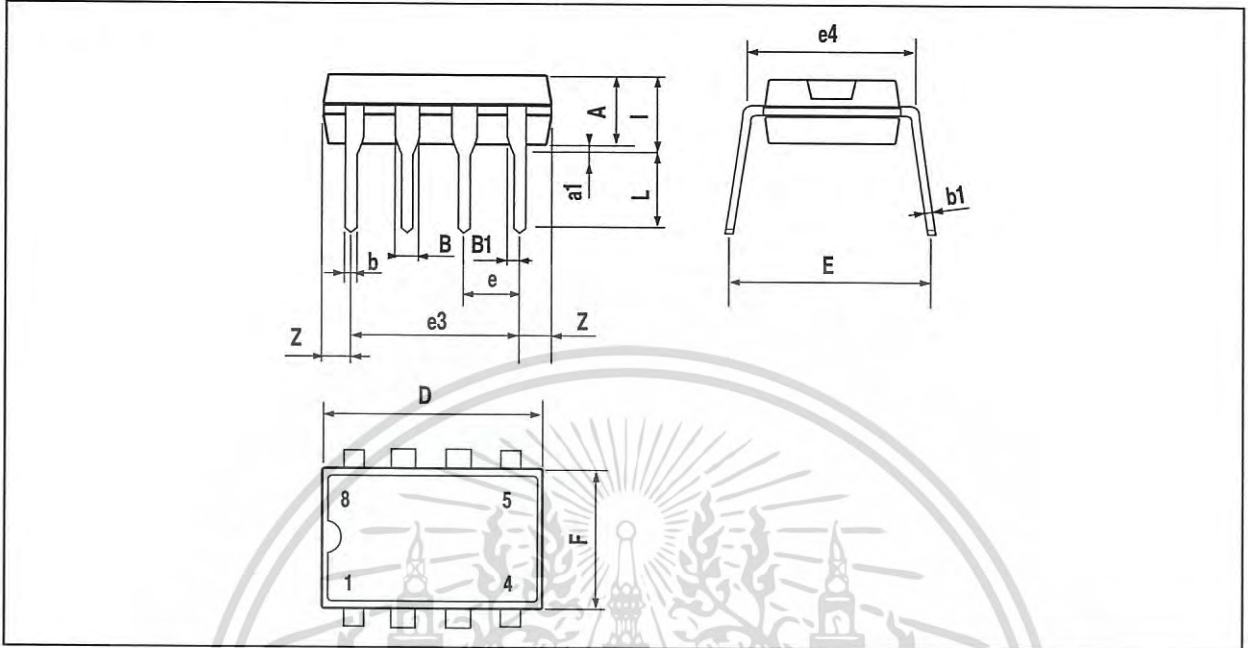
1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (Tj) is not exceeded.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 15V$ ,  $T_{amb} = +25^{\circ}C$  (unless otherwise specified)

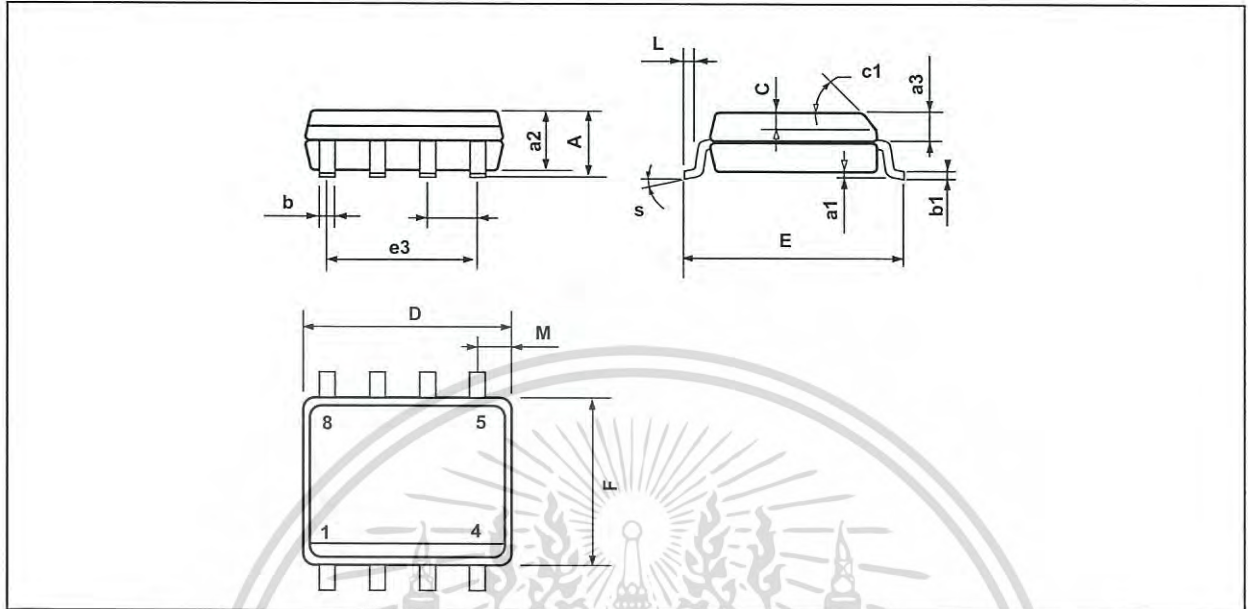
| Symbol        | Parameter  | Min.                 | Typ. | Max.       | Unit                   |
|---------------|--|----------------------|------|------------|------------------------|
| $V_{io}$      | Input Offset Voltage ( $R_S \leq 10k\Omega$ )<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$                       |                      | 1    | 5<br>6     | mV                     |
| $I_{io}$      | Input Offset Current<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$  |                      | 2    | 30<br>70   | nA                     |
| $I_{ib}$      | Input Bias Current<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$  |                      | 10   | 100<br>200 | nA                     |
| $A_{vd}$      | Large Signal Voltage Gain ( $V_o = \pm 10V$ , $R_L = 2k\Omega$ )<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$    | 50<br>25             | 200  |            | V/mV                   |
| SVR           | Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_S \leq 10k\Omega$ )<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$             | 77<br>77             | 90   |            | dB                     |
| $I_{CC}$      | Supply Current, no load<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$   |                      | 1.7  | 2.8<br>3.3 | mA                     |
| $V_{icm}$     | Input Common Mode Voltage Range<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$                                     | $\pm 12$<br>$\pm 12$ |      |            | V                      |
| CMR           | Common Mode Rejection Ratio ( $R_S \leq 10k\Omega$ )<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$                | 70<br>70             | 90   |            | dB                     |
| $I_{OS}$      | Output short Circuit Current   | 10                   | 25   | 40         | mA                     |
| $\pm V_{opp}$ | Output Voltage Swing<br>$T_{amb} = +25^{\circ}C$<br>$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$  |                      |      |            | V                      |
|               | $R_L = 10k\Omega$  | 12                   | 14   |            |                        |
|               | $R_L = 2k\Omega$   | 10                   | 13   |            |                        |
|               | $R_L = 10k\Omega$  | 12                   |      |            |                        |
|               | $R_L = 2k\Omega$   | 10                   |      |            |                        |
| SR            | Slew Rate<br>$V_i = \pm 10V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain   | 0.25                 | 0.5  |            | V/ $\mu s$             |
| $t_r$         | Rise Time<br>$V_i = \pm 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain  |                      | 0.3  |            | $\mu s$                |
| $K_{ov}$      | Overshoot<br>$V_i = 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain  |                      | 5    |            | %                      |
| $R_i$         | Input Resistance   | 0.3                  | 2    |            | M $\Omega$             |
| GBP           | Gain Bandwidth Product<br>$V_i = 10mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $f = 100kHz$   | 0.7                  | 1    |            | MHz                    |
| THD           | Total Harmonic Distortion<br>$f = 1kHz$ , $A_v = 20dB$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 2V_{pp}$ , $C_L = 100pF$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$ |                      | 0.06 |            | %                      |
| $e_n$         | Equivalent Input Noise Voltage<br>$f = 1kHz$ , $R_S = 100\Omega$   |                      | 23   |            | $\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$ |
| $\phi_m$      | Phase Margin   |                      | 50   |            | Degrees                |

**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
**8 PINS - PLASTIC DIP**



| Dim. | Millimeters |      |       | Inches |       |       |
|------|-------------|------|-------|--------|-------|-------|
|      | Min.        | Typ. | Max.  | Min.   | Typ.  | Max.  |
| A    |             | 3.32 |       |        | 0.131 |       |
| a1   | 0.51        |      |       | 0.020  |       |       |
| B    | 1.15        |      | 1.65  | 0.045  |       | 0.065 |
| b    | 0.356       |      | 0.55  | 0.014  |       | 0.022 |
| b1   | 0.204       |      | 0.304 | 0.008  |       | 0.012 |
| D    |             |      | 10.92 |        |       | 0.430 |
| E    | 7.95        |      | 9.75  | 0.313  |       | 0.384 |
| e    |             | 2.54 |       |        | 0.100 |       |
| e3   |             | 7.62 |       |        | 0.300 |       |
| e4   |             | 7.62 |       |        | 0.300 |       |
| F    |             |      | 6.6   |        |       | 0.260 |
| i    |             |      | 5.08  |        |       | 0.200 |
| L    | 3.18        |      | 3.81  | 0.125  |       | 0.150 |
| Z    |             |      | 1.52  |        |       | 0.060 |

**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
**8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)**



| Dim. | Millimeters |      |            | Inches |       |       |
|------|-------------|------|------------|--------|-------|-------|
|      | Min.        | Typ. | Max.       | Min.   | Typ.  | Max.  |
| A    |             |      | 1.75       |        |       | 0.069 |
| a1   | 0.1         |      | 0.25       | 0.004  |       | 0.010 |
| a2   |             |      | 1.65       |        |       | 0.065 |
| a3   | 0.65        |      | 0.85       | 0.026  |       | 0.033 |
| b    | 0.35        |      | 0.48       | 0.014  |       | 0.019 |
| b1   | 0.19        |      | 0.25       | 0.007  |       | 0.010 |
| C    | 0.25        |      | 0.5        | 0.010  |       | 0.020 |
| c1   |             |      | 45° (typ.) |        |       |       |
| D    | 4.8         |      | 5.0        | 0.189  |       | 0.197 |
| E    | 5.8         |      | 6.2        | 0.228  |       | 0.244 |
| e    |             | 1.27 |            |        | 0.050 |       |
| e3   |             | 3.81 |            |        | 0.150 |       |
| F    | 3.8         |      | 4.0        | 0.150  |       | 0.157 |
| L    | 0.4         |      | 1.27       | 0.016  |       | 0.050 |
| M    |             |      | 0.6        |        |       | 0.024 |
| S    |             |      | 8° (max.)  |        |       |       |

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved  
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia  
 Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States

© <http://www.st.com>



This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้