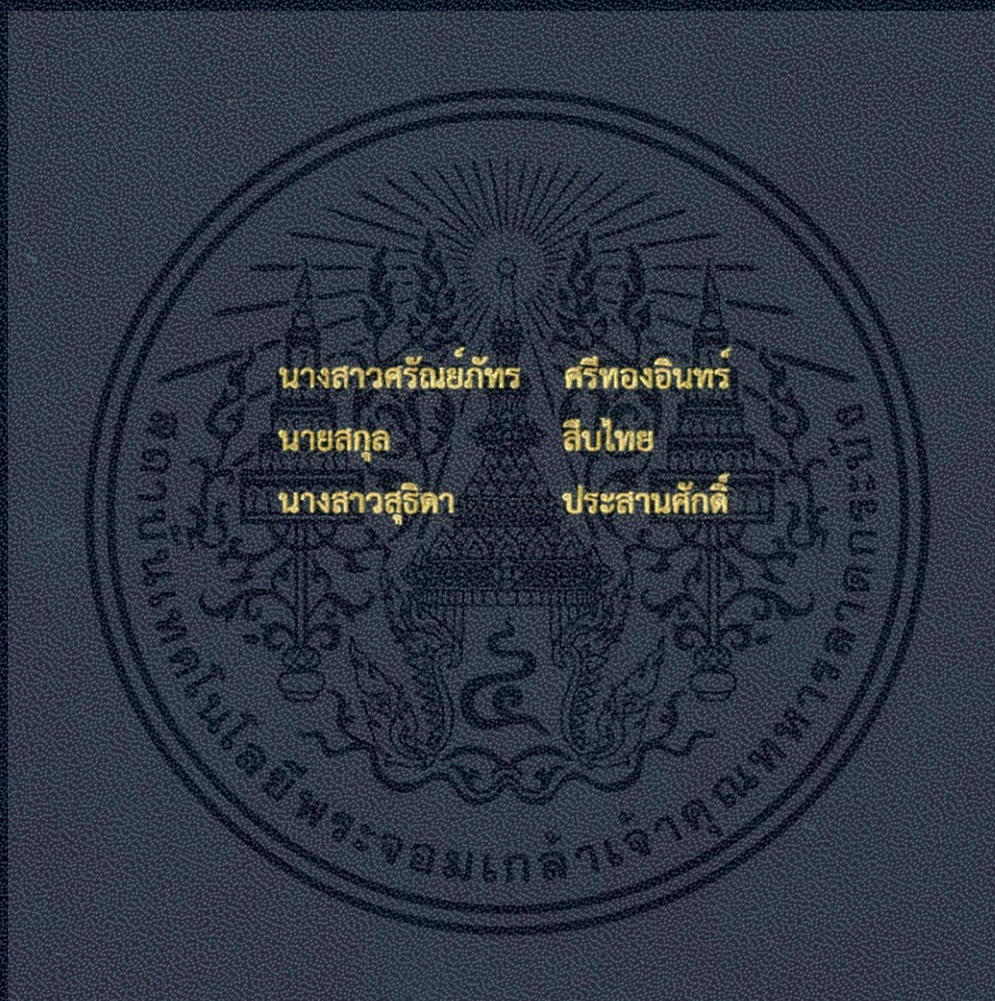


ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูรีเยร์
FOURIER ANALYSIS EXPERIMENTAL SET



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูรีเยร์
FOURIER ANALYSIS EXPERIMENTAL SET



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2557 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOURIER ANALYSIS EXPERIMENTAL SET



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูรีเยร์
FOURIER ANALYSIS EXPERIMENTAL SET

ชื่อนักศึกษา นางสาวศรัณย์ภัทร ศรีทองอินทร์ รหัสนักศึกษา 54050599
นายสกุล สืบไทย รหัสนักศึกษา 54050606
นางสาวสุธิดา ประสานศักดิ์ รหัสนักศึกษา 54050622

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2557
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|-----------------------------|--|
| ดร.ศ. ทิพวรรณ คล้ายบุญมี |  |
| ดร. พิชชานันท์ อีเศรษฐ์โสภณ |  |
| อ. ธนภรณ์ ตีลาวัฒนานนท์ |  |
| รศ. วิชาญ เตชิตธีระ |  |

ลิขสิทธิของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวศรัณย์ภัทร ศรีทองอินทร์ รหัสนักศึกษา 54050599 นายสกุล สืบไทย รหัสนักศึกษา 54050606 นางสาวสุธิดา ประสานศักดิ์ รหัสนักศึกษา 54050622 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ |
| ภาควิชา | ฟิสิกส์ |
| ปีการศึกษา | 2557 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ.วิชาญ เตชิตธีระ |

บทคัดย่อ

ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ ประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณที่สามารถสร้างสัญญาณคลื่นรูปไซน์, สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมโดยใช้ไอซีเบอร์ Xr2206 ที่สามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 100 Hz – 100 kHz ในการทดลองนำไปใช้เป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรกรองสัญญาณ ซึ่งให้ผลการทดลองออกมาดี นอกจากนั้นแล้วเมื่อนำวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter) มาประยุกต์ใช้จะแสดงให้เห็นฮาร์มอนิกที่สอดคล้องกับสมการคลื่นของฟูเรียร์

คำสำคัญ : เครื่องกำเนิดสัญญาณ ฟูเรียร์ วงจรกรองสัญญาณ

| | | | |
|---------------|--|------------|----------|
| Title | FOURIER ANALYSIS EXPERIMENTAL SET | | |
| Student | Miss Saranpat Sritongin | Student ID | 54050599 |
| | Mr. Sakul Suethai | Student ID | 54050606 |
| | Miss Sutida Prasansak | Student ID | 54050622 |
| Degree | Bachelor of Science in Applied Physics | | |
| Department | Physics | | |
| Academic Year | 2014 | | |
| Advisor | Assoc.Prof. Wicharn Techitdheera | | |

Abstract

Fourier Analysis Experimental Set with function generator that can give the sine waveform, triangular waveform and square waveform by using IC Xr2206 with good frequency respond from 100 Hz – 100 kHz. When the generator was used as input signal of electronic filter, it give a good result. Then the band pass filter was applied, it shows a few harmonics that correspond to the Fourier equation of that waveforms.

Keywords : Function generator, Fourier, Electronic filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งในการตรวจการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ กำกับติดตามและให้คำแนะนำช่วยเหลือให้คำปรึกษาที่ดีเยี่ยมและขอขอบพระคุณ ดร. พิษานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยและขอขอบพระคุณกรรมการดำเนินการสอบที่ให้คำแนะนำที่ทำงานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและประสบการณ์อันเป็นประโยชน์และทรงคุณค่าแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณพ่อแม่ที่คอยเป็นกำลังใจอย่างดี คอยสนับสนุนการทำวิจัยในทุกด้านจนทำให้การทำวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ น้องสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกคนที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของกรวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาบุพการีผู้ให้กำเนิดและอบรมเลี้ยงดูตลอดจนบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย

นางสาวศรัณย์ภัทร ศรีทองอินทร์
นายสกุล สืบไทย
นางสาวสุธิดา ประสานศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญรูป | ช |
| คำย่อ/สัญลักษณ์ | ฅ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 อนุกรมฟูรีเยร์ | 3 |
| 2.2 วงจรกรองความถี่ | 5 |
| 2.2.1 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter : LPF) | 5 |
| 2.2.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter : HPF) | 7 |
| 2.2.3 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter : BPF) | 8 |
| 2.2.3.1 วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงแคบผ่าน | 11 |
| 2.2.3.2 วงจรกรองความถี่ผ่านในช่วงกว้าง | 11 |
| 2.2.4 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter : BRF) | 12 |
| 2.3 ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | |
| 2.3.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องกำเนิดสัญญาณ | 13 |
| 2.3.2 การนำไปใช้งานของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ | 14 |
| 2.3.3 รูปสัญญาณ | 15 |
| 2.3.4 การปรับย่านความถี่ | 15 |
| 2.3.5 การปรับแต่งความแรงของสัญญาณ | 15 |
| 2.4 ทฤษฎีของวงจรถ่ายสัญญาณ | |
| 2.4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม | 16 |
| 2.4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย | 18 |
| 2.4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม | 21 |
| 2.4.4 วงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นไซน์ | 25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย | |
| 3.1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ | 29 |
| 3.2 ขั้นตอนการสร้างวงจรกรองสัญญาณ | 30 |
| 3.3 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูรีเยร์ | 35 |
| 3.4 วิธีการทดลอง | 37 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล | |
| 4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ | 39 |
| 4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรกรองสัญญาณ | 42 |
| 4.3 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก | 51 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 52 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 52 |
| เอกสารอ้างอิง | 53 |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก | |
| ภาคผนวก ข | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| 2.1 แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดของ sine หรือ cosine ที่ประกอบเป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยม (5 ฮาร์มอนิกแรก) | 4 |
| 2.2 แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดของ sine หรือ cosine ที่ประกอบเป็นรูปสัญญาณสามเหลี่ยม (5 ฮาร์มอนิกแรก) | 5 |
| 2.3 แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดของ sine หรือ cosine ที่ประกอบเป็นรูปสัญญาณฟันเลื่อย (5 ฮาร์มอนิกแรก) | 5 |
| 4.1 แสดงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ค่าต่างๆ | 38 |
| 4.2 แสดงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ความถี่ค่าต่างๆ | 39 |
| 4.3 แสดงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปไซน์ที่ความถี่ค่าต่างๆ | 40 |
| 4.4 แสดงค่าแอมพลิจูดของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่ความถี่ 100 Hz – 2000 Hz | 41 |
| 4.5 แสดงค่าแอมพลิจูดของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงที่ความถี่ 100 Hz – 2000 Hz | 42 |
| 4.6 แสดงค่าแอมพลิจูดของวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ที่ความถี่ 100 Hz – 2000 Hz | 43 |
| 4.7 แสดงค่าแอมพลิจูดของวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ที่ความถี่ 100 Hz – 2000 Hz | 44 |
| 4.8 แสดงความถี่และแอมพลิจูดที่ฮาร์มอนิกค่าต่างๆของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม | 51 |
| 4.9 แสดงความถี่และแอมพลิจูดที่ฮาร์มอนิกค่าต่างๆของสัญญาณรูปสามเหลี่ยม | 51 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบการวิเคราะห์ฟูเรียร์ | 1 |
| 2.1 สัญญาณสี่เหลี่ยม | 3 |
| 2.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ (dB) | 6 |
| 2.3 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิงความถี่ | 8 |
| 2.4 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ และกราฟแสดงผลตอบสนองอัตราขยายเชิงความถี่ | 9 |
| 2.5 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ ของวงจรผสมที่เกิดจากการเอาวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคด กับวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบให้ค่า 60 เดซิเบลต่อดีเคด มาต่อรวมกัน | 12 |
| 2.6 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่และผลตอบสนองต่อความถี่ | 13 |
| 2.7 บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 14 |
| 2.8 ลักษณะรูปคลื่นแบบต่าง ๆ | 15 |
| 2.9 วงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม | 16 |
| 2.10 กราฟแรงดันของวงจรถ่ายสัญญาณสี่เหลี่ยม | 17 |
| 2.11 วงจรกำเนิดฟันเลื่อย | 18 |
| 2.12 วงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดียวมาใช้เป็นสวิตช์ | 20 |
| 2.13 วงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม | 21 |
| 2.14 วงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยมที่ได้จากการรวมวงจรรวมอินทิเกรเตอร์กับคอมพาราเตอร์ | 22 |
| 2.15 วงจรคอมพาราเตอร์และวงจรถ่ายสัญญาณสามเหลี่ยม | 24 |
| 2.16 การนำออปแอมป์มาใช้ในวงจร | 26 |
| 2.17 ลักษณะวงจรถ่ายสัญญาณ | 27 |
| 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน | 28 |
| 3.2 วงจรของเครื่องกำเนิดสัญญาณ | 29 |
| 3.3 รูปแบบกล่องเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ | 29 |
| 3.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ | 31 |
| 3.5 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง | 31 |
| 3.6 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ | 33 |
| 3.7 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ | 33 |
| 3.8 วงจรภายในของวงจรกรองสัญญาณ | 34 |
| 3.9 รูปแบบกล่องของวงจรกรองสัญญาณ | 34 |
| 3.10 วงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ | 35 |
| 3.11 วงจรนับความถี่ | 35 |
| 3.12 วงจรภายในของชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ | 36 |
| 3.13 ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ | 36 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp | 45 |
| 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่แอมพลิจูดเท่ากับ 3 Vpp | 45 |
| 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่แอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp | 46 |
| 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงที่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp | 46 |
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงที่แอมพลิจูดเท่ากับ 3 Vpp | 47 |
| 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงที่แอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp | 47 |
| 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ที่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp | 48 |
| 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ที่แอมพลิจูดเท่ากับ 3 Vpp | 48 |
| 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ที่แอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp | 49 |
| 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรลดทอนช่วงสัญญาณความถี่ที่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp | 49 |
| 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรลดทอนช่วงสัญญาณความถี่ที่แอมพลิจูดเท่ากับ 3 Vpp | 50 |
| 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรลดทอนช่วงสัญญาณความถี่ที่แอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp | 50 |

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ

| | |
|----------|----------------|
| T | period |
| π | pi |
| Hz | hertz |
| Ω | ohm |
| F | farad |
| R | resistor |
| C | capacitor |
| Q | quality factor |
| f | frequency |

ความหมาย

| |
|------------------|
| คาบ |
| พาย |
| เฮิร์ตซ์ |
| โอห์ม |
| ฟารัด |
| ตัวต้านทาน |
| ตัวเก็บประจุ |
| ควอลิตี้แฟกเตอร์ |
| ความถี่ |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การวิเคราะห์แบบฟูรีเยร์เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์คิดค้นโดยนาย Joseph Fourier ที่สามารถอธิบายการรวมกันของฟังก์ชันไซน์ได้เป็นอย่างดี โดยฟังก์ชันคาบทั้งหลายนี้พบว่าสามารถสร้างขึ้นมาจากการรวมกันของฟังก์ชัน sine และ cosine แบบที่เป็นฮาร์มอนิก เรียกว่าอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series)

หลักการของอนุกรมฟูรีเยร์เป็นหลักการที่สำคัญและมีประโยชน์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งจึงประสงค์จะสร้างชุดทดลองเพื่อแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงหลักการของอนุกรมฟูรีเยร์ ซึ่งโดยสังเขปแล้วจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการทำงานของระบบการวิเคราะห์ฟูรีเยร์

จากรูปเป็นวงจรแสดงการทำงานด้วยหลักการของการวิเคราะห์ฟูรีเยร์ สัญญาณรูปมาตรฐาน เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม จากเครื่องกำเนิดสัญญาณจะถูกส่งเข้าไปในวงจรกรองความถี่แบบแถบผ่าน (band pass filter) ซึ่งเมื่อปรับความถี่ผ่านไปเรื่อยๆจะพบว่า จะมีฟังก์ชันรูปไซน์แสดงออกที่เครื่องออสซิลโลสโคป โดยค่าความถี่ที่ออกมาจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่าความถี่ของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ใส่เข้าไป (เรียกว่า ฮาร์มอนิก) ซึ่งจะมีค่าเป็นไปตามสมการของอนุกรมฟูรีเยร์สำหรับสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมว่าประกอบด้วยค่าความถี่ฮาร์มอนิกใดบ้าง ทั้งนี้โครงงานพิเศษนี้จึงประสงค์จะสร้างชุดทดลองดังกล่าว โดยเน้นที่เครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณแบบแถบปรับความถี่ผ่านได้

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและสร้างอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ
- 2) เพื่อศึกษาและสร้างวงจรกรองสัญญาณ(Filter) แบบต่างๆ
- 3) เพื่อสร้างชุดทดลองในการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม
- 4) นำเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณ(Filter)ไปประยุกต์ใช้ในการทดลองการวิเคราะห์ฟูรีเยร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณที่สามารถให้ลักษณะสัญญาณอย่างน้อย 3 ชนิด คือ sine, square และ triangle ทำงานในย่านความถี่ 1Hz – 100 kHz
- 2) สร้างเครื่องกรองสัญญาณ 4 ชนิด คือ Low Pass Filter , High Pass Filter, Band Pass Filter, Band reject Filter และสามารถกรองความถี่ในย่าน 100Hz – 2kHz

1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ
- 2) ศึกษาการทำงานของวงจรกรองสัญญาณแบบต่างๆ
- 3) ออกแบบเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณ
- 4) ทดลองสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณใน proto-board ก่อนนำมาลงกล่องจริง
- 5) นำเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองความถี่ที่ได้มาทำการทดลองพร้อมทั้งแก้ไขจุดบกพร่อง
- 6) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

| ปีการศึกษา | การดำเนินงาน | ระยะเวลาในการดำเนินงาน | | | | |
|------------|--------------|------------------------|------|------|------|------|
| | | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| 2557 | 1) | | | | | |
| | 2) | | | | | |
| | 3) | | | | | |
| | 4) | | | | | |

| ปีการศึกษา | การดำเนินงาน | ระยะเวลาในการดำเนินงาน | | | | |
|------------|--------------|------------------------|------|-------|-------|------|
| | | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. |
| 2557 | 4) | | | | | |
| | 5) | | | | | |
| | 6) | | | | | |

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ
- 2) มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของวงจรกรองสัญญาณ
- 3) สามารถสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองความถี่เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง
- 4) สามารถวิเคราะห์รูปสัญญาณแบบต่างๆได้โดยใช้คุณสมบัติของอนุกรมฟูเรียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น และขอสงวนสิทธิ์ในเงื่อนไขด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุกรมฟูเรียร์

ฟังก์ชันที่เป็นคาบทั้งหลายนั้นพบว่าสามารถสร้างขึ้นมาจากการรวมกันของฟังก์ชัน Sine และ Cosine แบบที่เรียกว่าเป็นอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series) ตามชื่อของนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสผู้ค้นพบ (Joseph Fourier, 1768-1830) ฟังก์ชันที่เป็นคาบ (T) หมายถึงฟังก์ชันที่มีค่าซ้ำเดิม

ในกรณีของคลื่นหรือสัญญาณไฟฟ้าที่มีรูปแบบ (waveform) ต่าง ๆ เป็นฟังก์ชันที่มีคาบ เราจึงสามารถเขียนฟังก์ชันเหล่านี้ในรูปของอนุกรมฟูเรียร์ ได้เป็น

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (2.1)$$

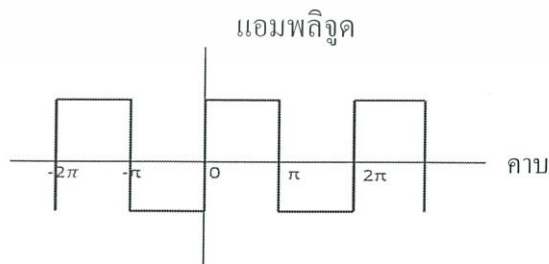
โดยที่ a_0 , a_n และ b_n เรียกว่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรของ Euler's (Euler's formulas)

$$a_0 = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx \quad (2.2)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx \quad (2.3)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx \quad (2.4)$$

ถ้าทำการวิเคราะห์สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (square waveform) ที่มีคาบอยู่ในช่วง $-\pi$ ถึง π ซึ่งแสดงได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.1 สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.1) เราสามารถที่จะวิเคราะห์สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมออกมาได้เป็นอนุกรมดังนี้

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \left\{ \sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right\} \quad (2.5)$$

หรือเขียนในรูปทั่วไปได้เป็น

$$f(t) = f_0 \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{2m-1} \sin(2m-1) \omega t \quad (2.6)$$

ในสมการ (2.6) ให้เทอมแรกของอนุกรมของ $f(t)$ มีแอมพลิจูดเป็น 1 จะได้ อนุกรมที่ดูเฉพาะแอมพลิจูดได้เป็น (ประกอบด้วยฮาร์มอนิกที่ 1,3,5,7,9,... โดยที่ฮาร์มอนิกที่ 3 มีความถี่เป็นสามเท่าของค่าความถี่แรก ฮาร์มอนิกที่ 5 มีความถี่เป็นห้าเท่าของค่าความถี่แรก)

$$f(t) = 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{9} + \dots \quad (2.7)$$

ในกรณีของคลื่นรูปอื่นๆมีอนุกรมดังนี้

ส่วนคลื่นรูปสามเหลี่ยม (triangular waveform) ที่มีแอมพลิจูดเฉพาะค่าบวกและคาบตั้งแต่ 0 ถึง 2π คือ

$$f(t) = \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \left\{ \cos(\omega t) + \frac{1}{3^2} \cos(3\omega t) + \frac{1}{5^2} \cos(5\omega t) + \dots \right\} \quad (2.8)$$

และคลื่นรูปฟันเลื่อย (sawtooth waveform) ที่มีแอมพลิจูดเฉพาะค่าบวกและคาบตั้งแต่ 0 ถึง 2π คือ

$$f(t) = \pi - 2 \left\{ \sin(\omega t) + \frac{1}{2} \sin(2\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \dots \right\} \quad (2.9)$$

ดังนั้นเราอาจเขียนความสัมพันธ์เฉพาะแอมพลิจูดกับความถี่ของ (sine หรือ cos) สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และฟันเลื่อยได้ดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดของ sine หรือ cosine ที่ประกอบเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (5 ฮาร์มอนิกแรก)

| | | | | | |
|--------------|-----|-----|---------------|------|---------------|
| ความถี่ (Hz) | 440 | 880 | 1320 | 1760 | 2200 |
| แอมพลิจูด | 1 | 0 | $\frac{1}{3}$ | 0 | $\frac{1}{5}$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดของ sine หรือ cosine ที่ประกอบเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (5 ฮาร์มอนิกแรก)

| | | | | | |
|--------------|-----|-----|---------------|------|----------------|
| ความถี่ (Hz) | 440 | 880 | 1320 | 1760 | 2200 |
| แอมพลิจูด | 1 | 0 | $\frac{1}{9}$ | 0 | $\frac{1}{25}$ |

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดของ sine หรือ cosine ที่ประกอบเป็นสัญญาณรูปฟันเลื่อย (5 ฮาร์มอนิกแรก)

| | | | | | |
|--------------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| ความถี่ (Hz) | 440 | 880 | 1320 | 1760 | 2200 |
| แอมพลิจูด | 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{5}$ |

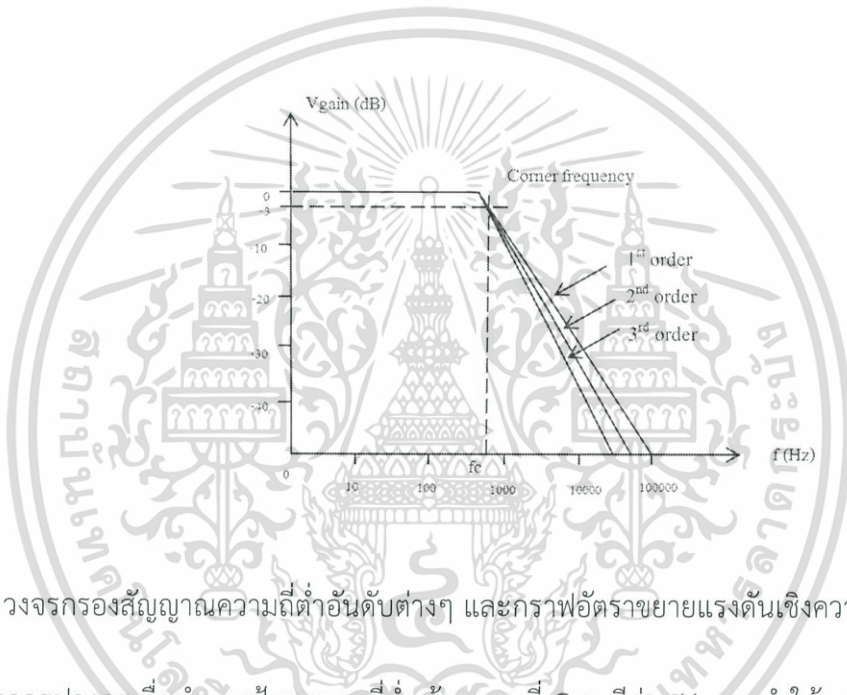
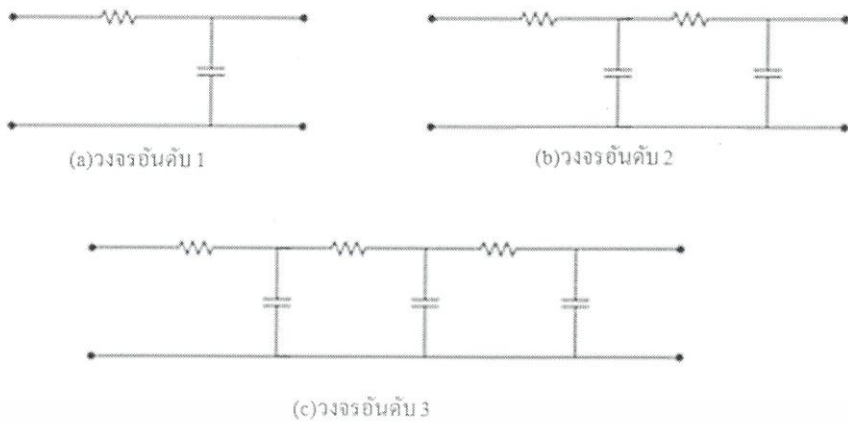
2.2 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่หรือฟิลเตอร์ (Filter) คือวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่ใด ๆ ความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

วงจรกรองความถี่แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

2.2.1 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF)

วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ หมายถึง วงจรที่จะยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ที่กำหนดสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จะลดทอนไปตามลำดับ ลักษณะของวงจรมีตั้งแต่อันดับหนึ่งขึ้นไป ดังรูป



รูปที่ 2.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ (dB)

จากรูปวงจรเมื่อทำการป้อนความถี่ต่ำเข้าวงจร ที่ C จะมีค่า X_C สูง ทำให้ความถี่ความต่างศักย์ตกคร่อมที่ C เป็นส่วนใหญ่ (จาก $X_C = \frac{1}{\omega C}$) ระดับสัญญาณ Output จึงอ่านค่าได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่า X_C จะลดลง ทำให้ความต่างศักย์ตกคร่อมที่ C น้อยลง ระดับสัญญาณ Output จึงอ่านค่าได้น้อยลง เรียกว่าความถี่สูงผ่านได้น้อย

ในทางทฤษฎีวงจรกรองความถี่ต่ำจะยอมให้สัญญาณใดๆ ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดซึ่งเรียกว่า ความถี่คัทออฟ หรือ ความถี่ขอบเขต (Cutoff Frequency) ผ่านไปได้ โดยไม่มีการลดทอนของสัญญาณ และถ้าความถี่ของสัญญาณอินพุตมีค่าเกินที่กำหนดไว้ สัญญาณเอาท์พุทควรมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะทำเช่นนั้นได้ เนื่องจากการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นดังรูปที่ 2.2 คือเมื่อสัญญาณมีความถี่สูงขึ้นวงจรจะลดสัญญาณลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจะลดลงในอัตราคงที่ค่าหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านก็คือ ค่าความถี่คัตออฟ ω_c ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งความถี่คัตออฟหาได้จากสมการ

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

| | | | |
|--------|------------|-------------|--------------------------|
| โดยที่ | ω_c | มีหน่วยเป็น | เรเดียนต่อวินาที (rad/s) |
| | f_c | มีหน่วยเป็น | เฮิรตซ์ (Hz) |
| | R | มีหน่วยเป็น | โอห์ม (Ω) |
| | C | มีหน่วยเป็น | ฟารัด (F) |

ในทำนองเดียวกันเมื่อกำหนด ω_c ไว้แล้ว ต้องการจะหาค่า R ก็จะได้เป็น

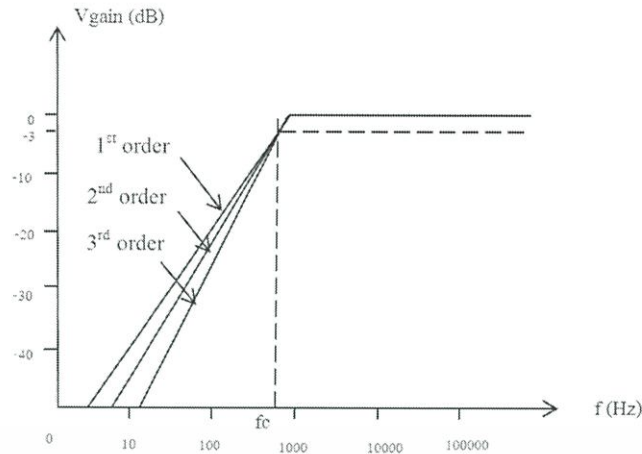
$$R = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

2.2.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter: HPF)

วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงมีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ คือการตอบสนองต่อสัญญาณของวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านและลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งแสดงวงจรและกราฟการตอบสนองอัตราขยายแรงดันความถี่ได้ ดังแสดงในรูป ที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

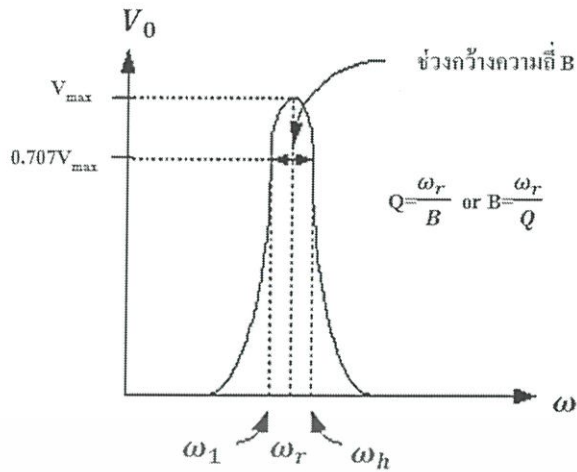


รูปที่ 2.3 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิงความถี่

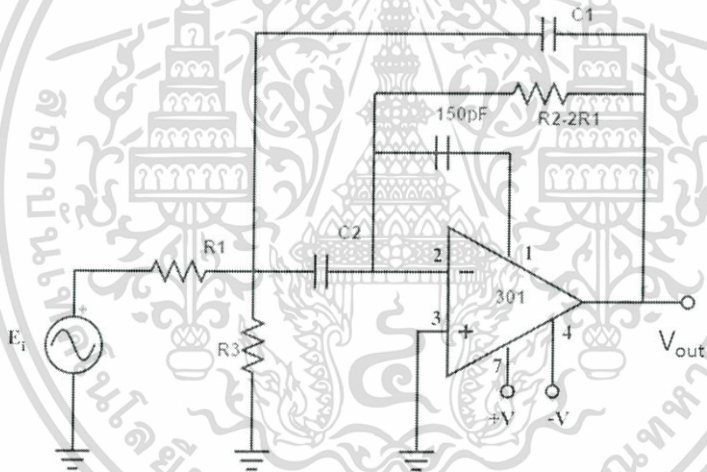
จากรูปจะเห็นว่า C และ R ต่ออนุกรมกับวงจร โดย output วัดคร่อม R เมื่อป้อนความถี่ต่ำกว่าเข้ามาที่ C จะมีค่า X_C สูง ทำให้สัญญาณผ่าน R ไปได้น้อย เรียกได้ว่าสัญญาณที่ผ่านมาจาก R ลงกราวด์ได้หมด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้น C จะมีค่า X_C ลดลง สัญญาณจะผ่านได้มากขึ้น สัญญาณก็จะลงกราวด์น้อยลงเพราะ สัญญาณที่ออกไปยัง Output จะมีมากขึ้น จนถึงระดับความแรงของสัญญาณประมาณ 70.7 % ของความแรงสูงสุด ระดับนี้เองที่เราเรียกว่า ช่วงความถี่ Cut off เมื่อความถี่สูงกว่า ความถี่ นี้ ค่า X_C น้อยลง และค่าความตงคัยจะตกคร่อม R มากขึ้น ความถี่จึงผ่านไปทีจุด Output ได้

2.2.3 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter: BPF)

วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่เป็นวงจรที่มีลักษณะคล้ายกับการนำเอาวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำและความถี่สูงมาต่อรวมกัน (Cascade) ดังนั้น วงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง จะยอมให้สัญญาณผ่านไปได้เฉพาะช่วงที่กำหนดเท่านั้น ความถี่ที่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกจำกัดโดยการลดทอนให้หมดไป



ก) กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง



ข) ลักษณะการต่อวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง

รูปที่ 2.4 กราฟผลการตอบสนองอัตราขยายเชิงความถี่และวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 แสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรแบบนี้ ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด V_{\max} จะปรากฏขึ้นเฉพาะบางช่วงของความถี่เท่านั้น เรียกความถี่นั้นว่า ความถี่เรโซแนนต์ (resonant frequency) แทนได้ด้วย ω_r ตำแหน่งของความถี่ที่มีค่าแรงดันลดลงเป็น $0.707 V_{\max}$ จะมีอยู่ 2 ความถี่คือ ความถี่ที่สูงกว่า ω_r ค่าหนึ่ง และที่ต่ำกว่า ω_r อีกค่าหนึ่งเรียกความถี่ที่ $V_0 = 0.707 V_{\max}$ ที่สูงกว่า ω_r นี้ว่าความถี่คัตออฟช่วงสูง (high cutoff frequency) แทนด้วย ω_h และความถี่ที่ต่ำกว่า ω_r ว่า ความถี่คัตออฟช่วงต่ำ (low cutoff frequency) แทนได้ด้วย ω_1

จากความถี่ทั้งสอง เราจะได้ช่วงกว้างความถี่ B เป็น

$$B = \omega_h - \omega_1 \quad (2.10)$$

วงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ (narrow Band) และชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงกว้าง (wide band) สำหรับวิธีการกำหนดว่าวงจรชนิดใดเป็นชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบหรือช่วงกว้างนั้น กำหนดได้ดังนี้ถ้ามีช่วงกว้างความถี่น้อยกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B < 0.1 \omega_r$) เราจะเรียกว่าวงจรชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงแคบ ถ้ามีช่วงกว้างความถี่มากกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B > 0.1 \omega_r$) เราจะเรียกว่า วงจรชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงกว้าง

ในวงจรแบบเลือกความถี่ผ่านนี้จะมีอัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนต์และช่วงกว้างความถี่เรียกว่า คออลิตีแฟกเตอร์ (quality factor) แทนได้ด้วย Q ค่า Q นี้เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเลือกความถี่ใช้งาน ยิ่งค่า Q มีค่าสูงมากขึ้นเท่าใด วงจรก็ยิ่งมีความสามารถในการเลือกความถี่ได้ดีมากขึ้นเท่านั้น ค่า Q แสดงได้ดังในสมการ

$$Q = \frac{\omega_r}{B} \quad (2.11)$$

หรือ

$$B = \frac{\omega_r}{Q} \text{ rad/s} \quad (2.12)$$

โดยที่ B มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที สำหรับวงจรในแบบที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ ๆ นั้นจะมีค่า Q ที่สูงมากกว่า 10 และ ในวงจรผ่านแบบช่วงกว้างจะมีค่า Q น้อยกว่า 10

สรุป ช่วงความถี่แคบคือ มีค่า $B < 0.01$; $Q > 10$

ช่วงความถี่กว้างคือ มีค่า $B > 0.01$; $Q < 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 วงจรกรองความถี่เฉพาะ ช่วงแคบผ่าน

ขั้นแรกในการออกแบบวงจรต้องกำหนดค่าของช่วงกว้างความถี่ B ที่จะใช้งาน และ คำนวณค่า Q ของวงจรเสีย ก่อน โดยคำนวณ ได้จากสมการที่ (2.11) (หรืออาจ กำหนดค่า Q และคำนวณค่า B ก็ได้) หลังจากนั้นจึงจะเป็นการเลือกและคำนวณค่าของอุปกรณ์ อื่นๆเพิ่มเติมขั้นตอนในการพิจารณาต่อไป เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาจะกำหนดให้

กำหนดให้ $A_r = 1$ เลือก $C_1 = C_2 = C$ ให้มีค่าที่เหมาะสม ต่อจากนั้นก็คำนวณ ค่า R_1 , R_2 และ R_3 โดยได้จากสมการ

$$R_2 = \frac{2}{BC} \quad (2.13)$$

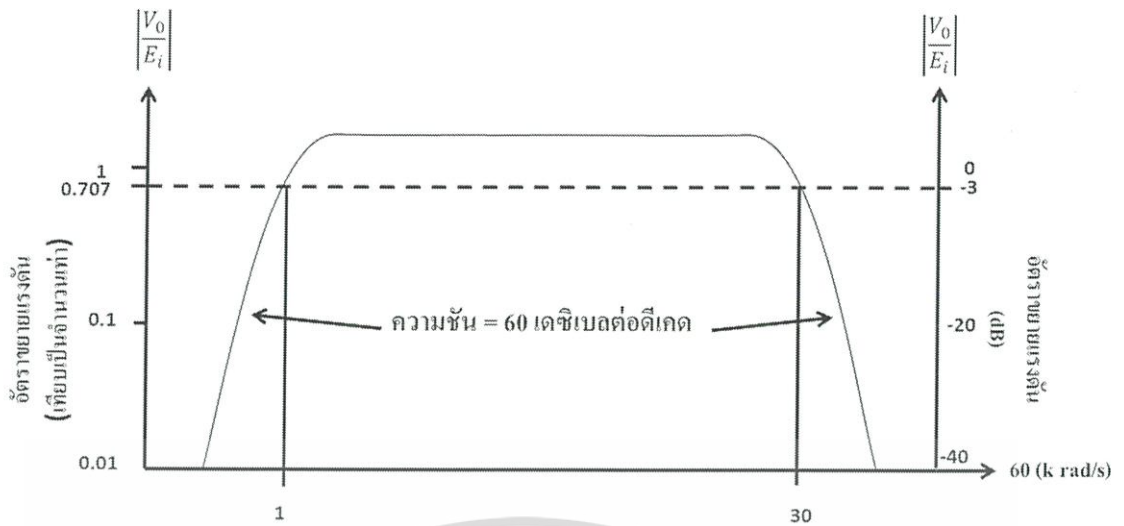
$$R_2 = \frac{R_2}{2} \quad (2.14)$$

$$R_3 = \frac{R_2}{(4Q^2 - 2)} = \frac{R_2}{4Q^2} \quad (2.15)$$

B ในสมการที่ (2.13) มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

2.2.3.2 วงจรกรองความถี่ผ่านในช่วงกว้าง

วงจรใช้งานสามารถใช้เป็นวงจรเดียวกับ วงจรกรองความถี่แบบผ่านในช่วงแคบได้ ดังในรูป ที่ 2.4 (ข) โดยเลือกให้ Q มีค่าน้อยกว่า 10 ($Q < 10$) การคำนวณค่าของอุปกรณ์จะเหมือนกับในหัวข้อ ที่แล้ว คือใช้สมการที่ (2.13) ถึงสมการที่ (2.15) ได้ (เฉพาะในกรณีที่ $4Q^2 > 2$ เท่านั้น) มี แนวความคิดบางอย่างเกี่ยวกับวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงนี้ว่า วงจรชนิดนี้สามารถสร้างได้จาก การนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำ มาต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่สูง ตัวอย่างเช่น นำวงจรกรองความถี่ ต่ำ แบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคต มาต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่สูงดังรูปที่ 2.2 ซึ่ง จะให้ผลตอบสนองทางความถี่ดังในรูปที่ 2.3 ถึงแม้ว่าวงจรใหม่ที่สร้างนี้ จะต้องใช้อุปกรณ์ ถึง 4 ตัวก็ตาม แต่ก็มีข้อดีอยู่คือว่า จะให้อัตราความชันสูงถึง 60 เดซิเบลต่อดีเคตเลยทีเดียวทั้งในคัต ออฟช่วงความถี่ต่ำ ช่วงความถี่สูง และมีอัตราขยายเป็น 1 ตลอดในความถี่ช่วงผ่าน

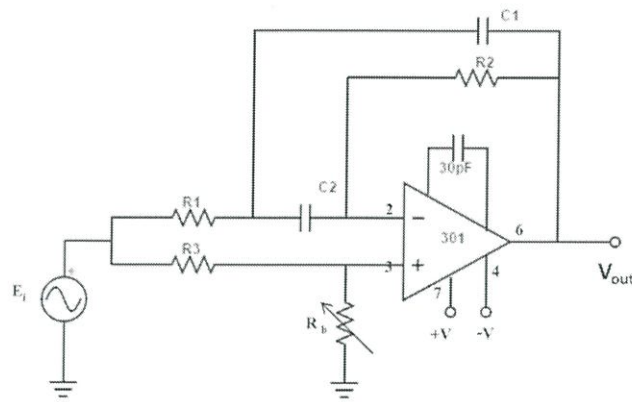


รูปที่ 2.5 กราฟการตอบสนองความถี่ ของวงจรผสมที่เกิดจากการเอาวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ บัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคด กับวงจรจรรยากรองความถี่สูงผ่านแบบให้ ค่า 60 เดซิเบลต่อดีเคด มาต่อรวมกัน

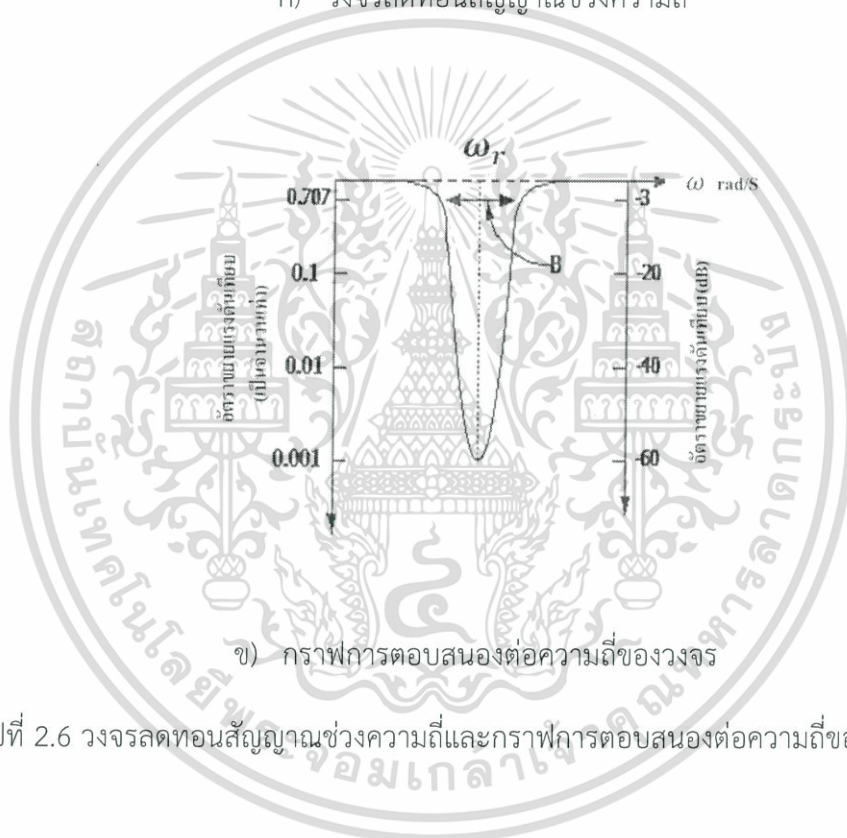
การนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำและความถี่สูงมาต่อรวมกัน เพื่อให้ได้วงจรกรองความถี่ เฉพาะช่วง แบบนี้มีข้อนำสังเกตว่า ในการนำมาต่อรวมกันนั้น สามารถสลับตำแหน่งกันระหว่างวงจร ทั้งสองได้ ซึ่งได้ผลการทำงานเหมือนกัน ข้อสำคัญคือว่า ต้องเลือกความถี่คutoff ให้ถูกต้องตาม ที่ต้องการเท่านั้น

2.2.4 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter: BRF)

วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่เป็นวงจรที่กำจัดความถี่บางช่วงออกไป บางครั้งเรา เรียกว่า นอตช์ฟิลเตอร์ (notch filter) ตัวอย่างของวงจรแสดงได้ในรูปที่ 2.6 (ก) ซึ่งจะ ให้ผลตอบสนองทางความถี่ดังในรูปที่ 2.6 (ข) จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีความถี่ช่วงผ่านอยู่สอง ช่วงทั้งซ้ายและขวา และมีความถี่ที่อยู่ตรงกลางถูกกำจัดหายไปความถี่นี้เราจะเรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ (ω_r) เช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเฉพาะช่วงตัวอย่าง ของวงจรประเภทนี้ ได้แก่ การกำจัดความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ หรือ 400 เฮิร์ตซ์ในการใช้งานมอเตอร์เจเนอเรเตอร์ เพื่อเป็น การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น การคำนวณและออกแบบวงจรก็เช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ผ่าน เฉพาะช่วงคือ ต้องนำเอาช่วงกว้างความถี่ B และค่าควอลิตีแฟกเตอร์ Q มาคิดร่วมกับ ω_r ด้วย



ก) วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่



ข) กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจร

รูปที่ 2.6 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่และกราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจร

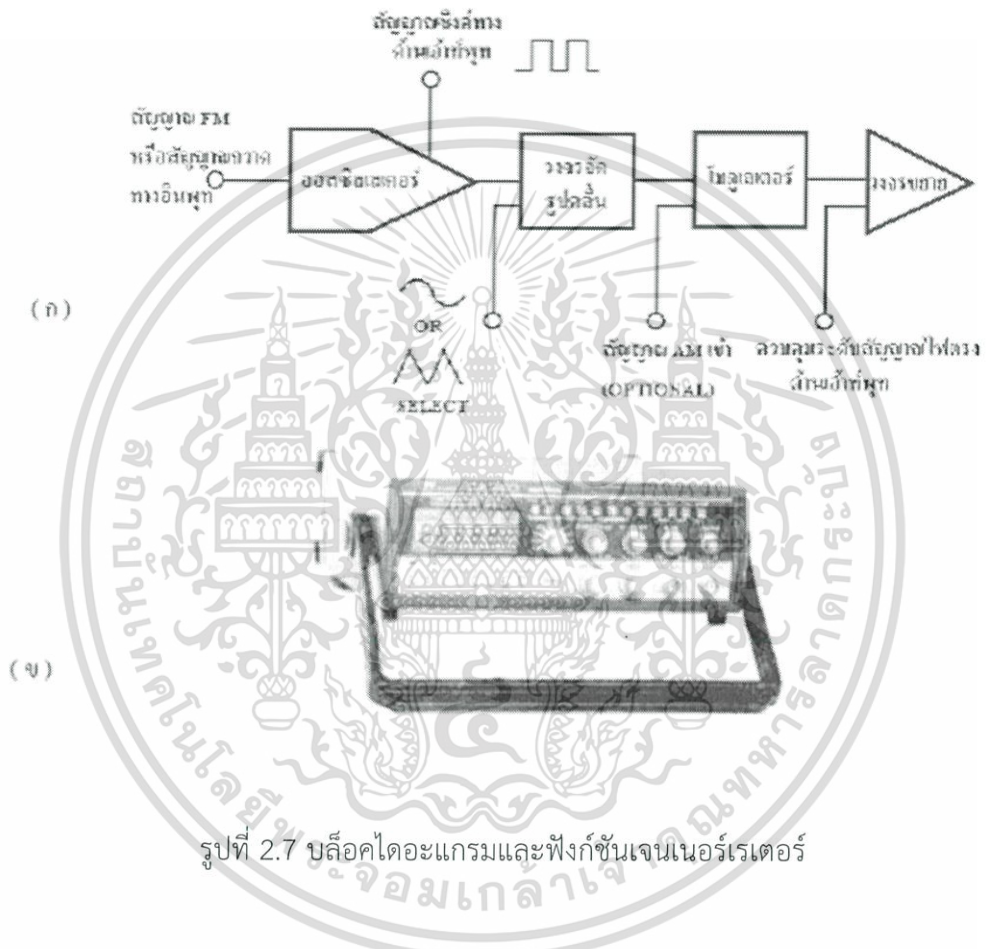
2.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณ

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์หรือเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทำงานได้หลายหน้าที่ โครงสร้าง ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์จะมีวงจรออสซิลเลตที่สามารถสร้างรูปคลื่นที่แน่นอน แต่ละเครื่องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ดังรูป (ก) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (1) วงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่กำหนดคาบเวลา (Time period) ให้กับคลื่นหรือเรียกว่า มัลติไวเบรเตอร์ หรือตัวกำเนิดความถี่แบบต่อเนื่องเป็นตัวกำเนิดรูปคลื่นแบบต่างๆนั่นเอง
- (2) ตัวสร้างหรือจัดรูปแบบของคลื่น (Wave shaper)
- (3) ส่วนโมดูเลเตอร์ใช้สำหรับสร้างสัญญาณ AM หรือ FM เอาท์พุทบัฟเฟอร์ของภาคขยาย (Output buffer amplifier)
- (4) วงจรขยาย ทำหน้าที่ควบคุมระดับสัญญาณไฟตรงด้านเอาท์พุท



2.3.2 การนำไปใช้งานของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่

เครื่องกำเนิดความถี่สามารถสร้างรูปคลื่นเอาท์พุทได้หลายรูปคลื่นสัญญาณที่กำหนดขึ้นมา ซึ่งต้องสามารถควบคุมได้ ทั้งการปรับแต่งรูปคลื่น ปรับแต่งความแรงและปรับแต่งความถี่ได้ เพื่อใช้เป็นสัญญาณส่งออกไปยังอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ เพื่อการตรวจสอบ ตรวจสอบซ่อมปรับแต่ง หรือวัดเปรียบเทียบค่า โดยถือว่าสัญญาณที่กำหนดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นสัญญาณมาตรฐานหรือสัญญาณอ้างอิง ในการนำไปใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณไม่ว่าจะเป็นชนิดใดก็ตามควรต้องมีคุณสมบัติในการทำงานและการใช้งานที่เหมือนกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความถี่ที่ถูกผลิตขึ้นมาต้องมีความคงที่และสามารถอ่านค่าออกมาได้
2. สัญญาณที่กำเนิดขึ้นมาต้องไม่ผิดเพี้ยน และไม่มีสัญญาณรบกวน (มีค่าน้อยๆ)
3. สามารถควบคุมความแรงของสัญญาณที่ผลิตขึ้นมาได้ ตั้งแต่แรงดันต่ำจนถึงค่าแรงดันสูง

2.3.3 รูปสัญญาณ

รูปสัญญาณที่เป็นมาตรฐานจะมีอยู่ 5 ชนิดคือ รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular wave) รูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw tooth Wave) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และ รูปคลื่นพัลส์ (Pulse Wave) เป็นต้น แสดงดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.8 ลักษณะรูปคลื่นแบบต่าง ๆ

2.3.4 การปรับย่านความถี่

การปรับความถี่ มีย่านความถี่ใช้งานเริ่มตั้งแต่เศษส่วนของเฮิรตซ์ (Hz) ไปจนถึงหลายร้อย เฮิรตซ์(KHz) ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จากรูป 2.7 (ข) มีความถี่เอาท์พุทในย่าน 10 เท่า จากค่าต่ำสุด 0.2 Hz ถึงค่าสูงสุด 2 MHz

2.3.5 การปรับแต่งความแรงของสัญญาณ

การปรับแต่งความแรงของสัญญาณ จากรูป 2.7 (ข) ขนาดของสัญญาณด้านเอาท์พุท โดยทั่วไปมีค่าพีคทูพีค (Peak to peak) เป็น 0–20 V และเปลี่ยนเป็น 0–2 V โดยใช้ปุ่มการลดทอน (Attenuation) 20 dB การเลือกความถี่มีความถูกต้องประมาณ $\pm 20\%$ ของค่าเต็มสเกลที่ย่านใดๆ

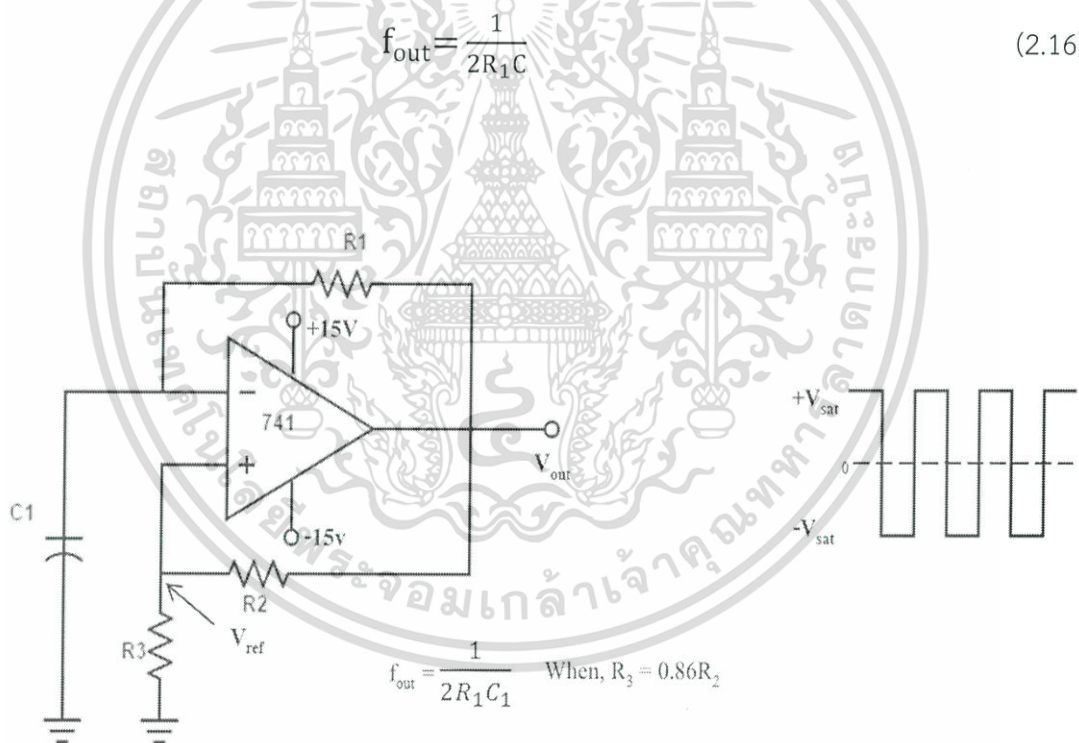
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ

2.4.1 วงจรถูกกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม

วงจรถูกกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นวงจรถูกชนิดหนึ่ง ซึ่งอยู่ในตระกูลของวงจรถูกมัลติไวยเบรเตอร์ชนิดอะอสเตเบิล (astable) นั่นคือ สัญญาณที่นำออกจากวงจรถูกนี้จะไม่คงที่ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะตลอดเวลา (ระดับสูงหรือต่ำ) โดยปราศจากสัญญาณอินพุตใด ๆ วงจรถูกในรูปที่ 2.9 เป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมแบบพื้นฐาน จะเห็นได้ว่ามีการนำสัญญาณจากเอาต์พุตมาป้อนกลับสองทาง สัญญาณเอาต์พุตที่ถูกนำออกมาผ่านตัวต้านทาน R_1 เข้าสู่ขั้วอินพุตลบและต่อกับตัวเก็บประจุ C จะเป็นภาคที่กำหนดความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยม ส่วนตัวต้านทาน R_2 และ R_3 เป็นภาคที่ใช้กำหนดแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ให้กับขั้วอินพุตบวก จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ถ้าเลือกใช้ R_3 ที่มีค่าเป็น 86% ของ R_2 ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตรูปคลื่นสี่เหลี่ยม จะหาได้จากสมการ

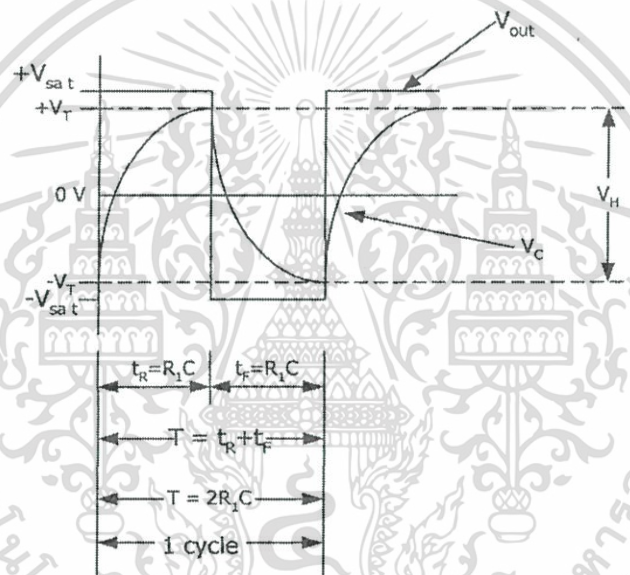
$$f_{out} = \frac{1}{2R_1C} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.9 วงจรถูกกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม

โดยเราสามารถวิเคราะห์การทำงานของวงจรถูกราว ๆ ได้ดังนี้ เมื่อป้อนไฟเลี้ยงให้แก่อปแอมป์จะมีแรงดันค่าน้อย ๆ ตกคร่อมขั้วอินพุตทั้งสองของอปแอมป์ (แรงดันออฟเซต) แรงดันนี้จะมีผลทำให้แรงดันที่เอาต์พุตมีขนาดเท่ากับ $+V_{sat}$ (แรงดันอิมิตัวที่เอาต์พุต V_{sat} มีค่าประมาณ 90% ของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ มากต่อในลักษณะเช่นนี้จะทำให้มีการชาร์จตัวเก็บประจุตลอดเวลา และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) จะค่อย ๆ เพิ่มค่าขึ้นสู่แรงดัน $+V_{sat}$ เป็นผลให้แรงดันที่ขั้วอินพุทลบบมีค่าสูงขึ้นสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันที่ขั้วอินพุทบวกนั้นจะมีศักดาเท่ากับการแบ่งแรงดัน $+V_{sat}$ ระหว่าง R_2 และ R_3 ซึ่งแรงดันอ้างอิง V_{sat} จะมีค่าเท่ากับ $+V_T$ (ในขณะที่ $V_{out} = V_{sat}$ V_{ref} จะเท่ากับ $+V_T$ เมื่อ $V_{out} = -V_{sat}$ $V_{ref} = -V_T$) จากการศึกษาเรื่องของคอมพาราเตอร์ก่อนหน้านี้นี้จะทำให้ทราบว่าแรงดันเอาต์พุทจะเปลี่ยนสถานะทันทีเมื่อตัวเก็บประจุ(ถูกชาร์จให้มีแรงดันสูงกว่า $+V_T$ ที่ขั้วอินพุทบวก)เป็นผลให้แรงดันเอาต์พุทเปลี่ยนสถานะจาก $+V_{sat}$ เป็น $-V_{sat}$ ในทันทีที่การเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุทจะเป็นผลให้ V_{ref} เปลี่ยนจาก $+V_T$ เป็น $-V_T$ และยังเปลี่ยนทิศทางการชาร์จประจุของ C อีกด้วย นั่นคือ C จะค่อย ๆ ลดค่าจาก $+V_T$ สู่ $-V_{sat}$ แต่ก่อนที่จะมีค่าเท่ากับ $-V_{sat}$ นั้นศักดาที่ขั้วอินพุทลบ (ศักดารวม C) จะมีค่าต่ำกว่า $-V_T$ และเป็นผลให้ขั้วอินพุทบวกมีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้วอินพุทลบ นั่นคือ แรงดันเอาต์พุทก็จะเปลี่ยนสถานะจาก $-V_{sat}$ เป็น $+V_{sat}$ อีก และขั้นตอนการชาร์จตัวเก็บประจุก็จะเริ่มต้นใหม่ เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ



รูปที่ 2.10 กราฟแรงดันของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม

เราสามารถคำนวณแรงดัน $\pm V_T$ ได้จากสมการ

$$+V_T = \frac{R_3}{R_3+R_2} (+V_{sat}) = 0.46 (+V_{sat}) \quad (2.17)$$

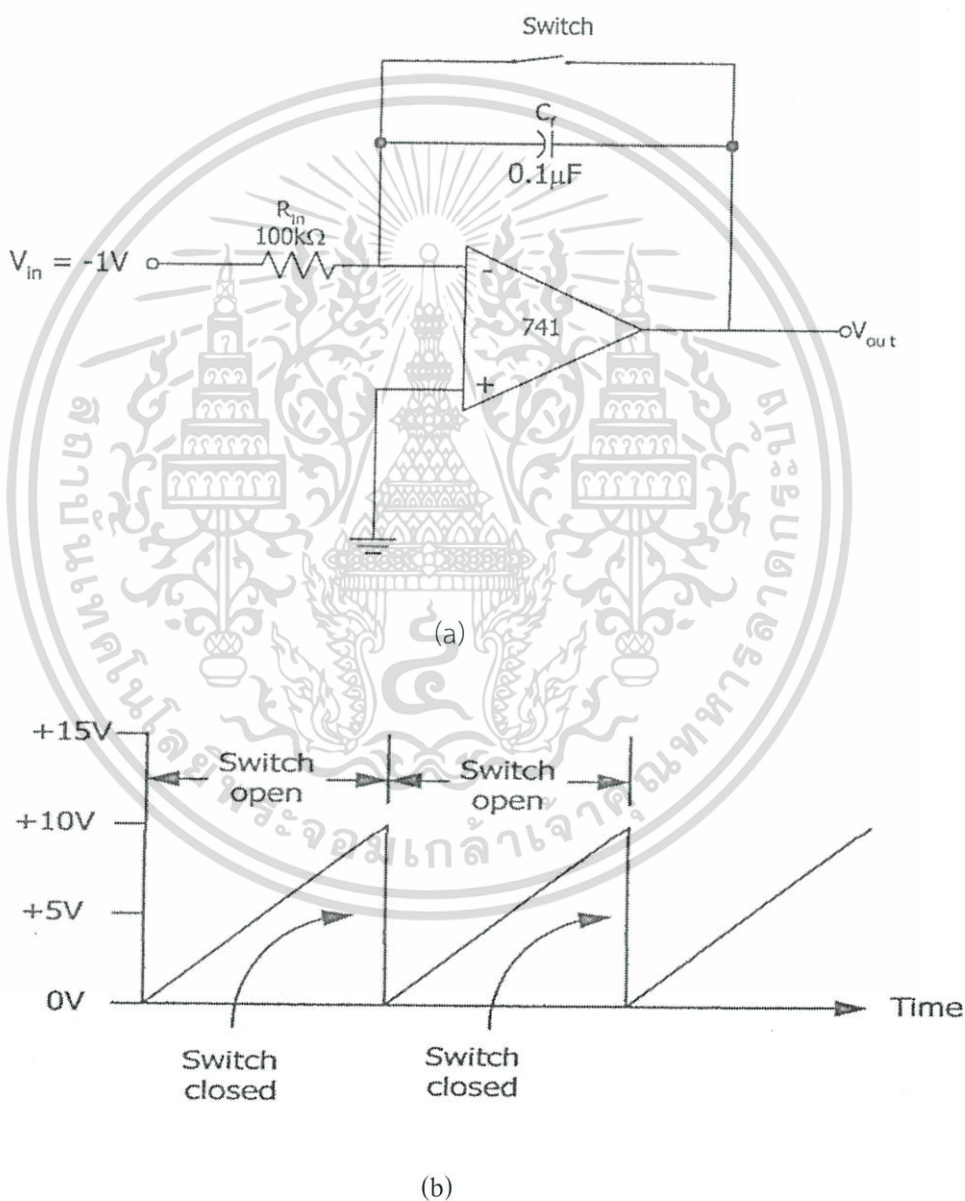
และ

$$-V_T = \frac{R_3}{R_3+R_2} (-V_{sat}) = 0.46 (-V_{sat}) \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย

วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยหรือที่เรียกว่าวงจรกำเนิดแรงดัน “แรมพ์” (Ramp-voltage generator) ในรูป 2.11a ก็คือวงจรอินทิเกรเตอร์นั่นเอง จะเห็นว่าเมื่อป้อนแรงดันขนาด -1 โวลต์ให้กับขั้วอินพุทลบ ตัวเก็บประจุ C_f ก็จะถูกชาร์จแบบเส้นตรง (อัตราการเพิ่มของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าคงที่) ในทิศทางบวกเพิ่มขึ้นสู่ $+V_{sat}$ แต่ถ้าเราสับสวิตซ์ลงก่อนที่แรงดันคร่อม C_f จะมีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ แรงดันที่ถูกชาร์จไว้ก็จะคายประจุออกจนหมดอย่างรวดเร็ว และเมื่อยกสวิตซ์ขึ้นตัวเก็บประจุก็จะค่อย ๆ ชาร์จขึ้นอีก ดังรูปที่ 2.11 (b)



รูปที่ 2.11 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย

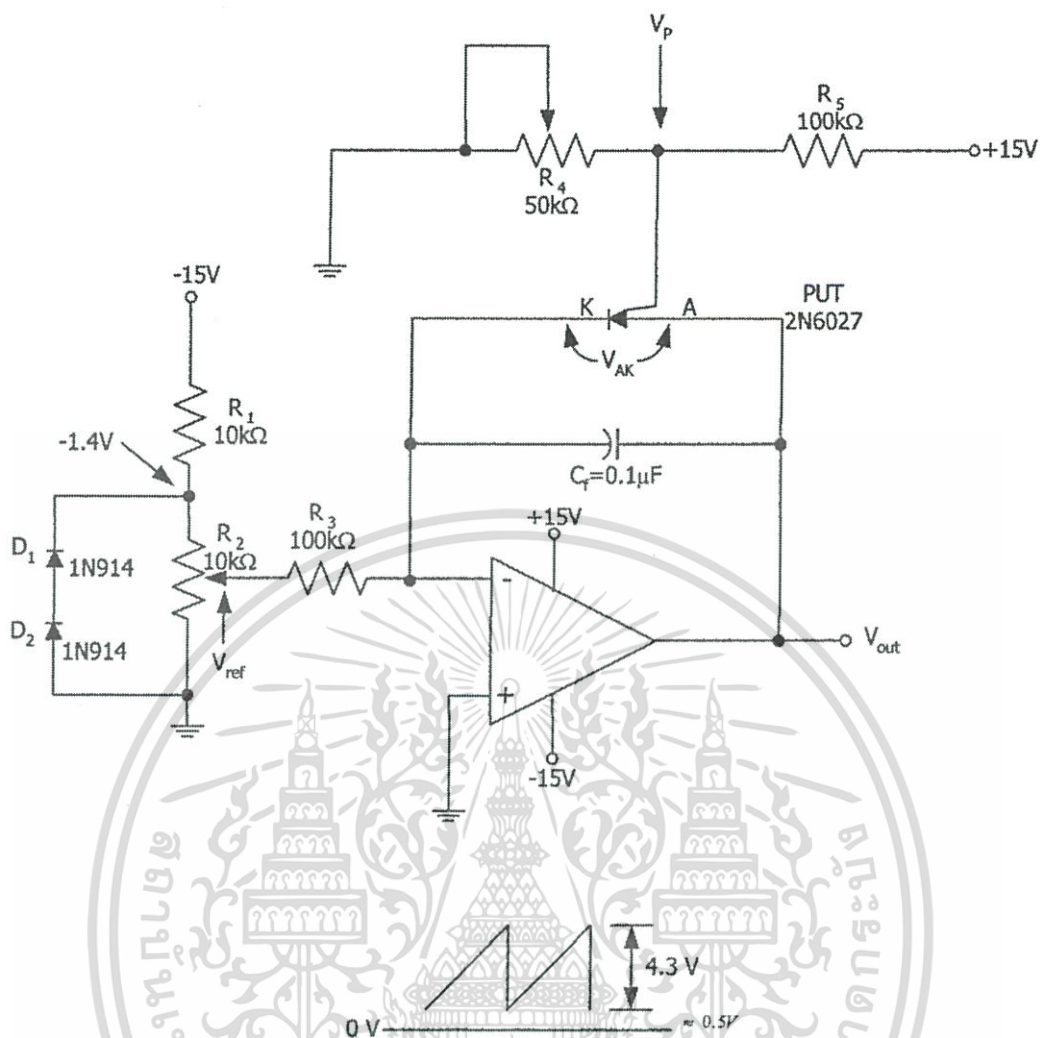
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถคำนวณแรงดันที่เอาท์พุทได้จากสมการ

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{1}{R_{in} \cdot C_f} \right) t \quad (2.19)$$

โดย t คือเวลาที่สวิตช์ถูกยกขึ้นในหน่วยวินาทีและมี V_{in} , R_{in} , C_f เป็นตัวกำหนดความชันของสัญญาณแรมพ์

แต่ในการใช้งานจริงนั้น เรามักไม่นิยมใช้การสับสวิตช์ดังกล่าวเพราะนอกจากจะมีความผิดพลาดสูงแล้วความถี่สูงสุดที่ได้ก็มีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์มาใช้ รูปที่ 2.12 แสดงวงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดี่ยว(programmable unijunction transistor : PUT) มาใช้เป็นสวิตช์ หลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้คล้ายกับ SCR มาก ต่างกันตรงที่ PUT จะถูกทริกด้วยสัญญาณพัลส์ซึ่งกลับที่ขาเกต จากวงจรนี้จะสามารถวิเคราะห์หลักการการทำงานได้ดังนี้ เมื่อกำหนดแรงดันอ้างอิง V_p ให้ขาเกตของ PUT (โดยการปรับตัวต้านทาน R_4 และ R_5) ทันทีที่แรงดันตกคร่อมขั้ว แอนอด A กับ แคโทด K หรือ VAK มีศักดาเป็นบวกสูงกว่า V_p แล้ว PUT จะ ทำงาน (เสมือนลัดวงจร) และกระแสที่ไหลผ่าน PUT จะยังคงไหลต่อไปถึงแม้ VAK อาจลดลงต่ำกว่า V_p แล้วก็ตาม จนกระทั่งกระแสดังกล่าวลดลงต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่ง (ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของตัว PUT) เมื่อนั้น PUT จะเสมือนวงจรเปิดหรือสวิตช์ที่ถูกยกขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.12 วงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดี่ยวมาใช้เป็นสวิตช์

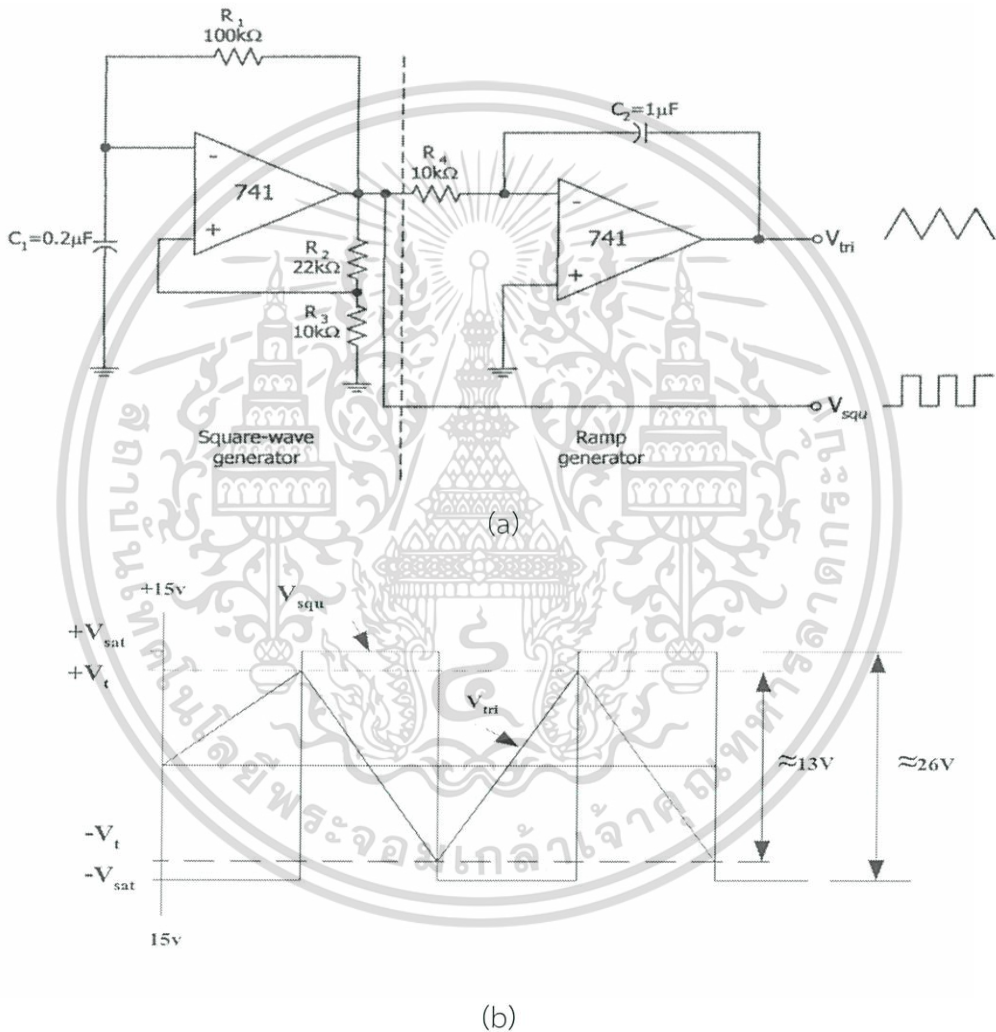
ค่าของอุปกรณ์ในรูปที่ 2.12 แสดงในลักษณะที่เราจะสามารถปรับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตได้ โดยที่ R_1 และ R_2 ทำหน้าที่แบ่งแรงดัน -15 โวลต์ เพื่อสร้างแรงดัน V_{ref} ไดโอด D_1, D_2 ช่วยบังคับให้แรงดันคร่อม R_2 มีค่าคงที่ในขณะที่ปรับตัวต้านทานตัวนี้เพื่อเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต ส่วนแอมพลิจูด หรือขนาดของสัญญาณออกจะถูกกำหนดด้วยตัวต้านทาน R_4 ซึ่งก็มีผลต่อความถี่เช่นกัน และจากวงจรนี้จะสามารถคำนวณความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตได้จากสมการ

$$f_{out} = \frac{V_{ref}}{R_3 C_f} \left(\frac{1}{V_p - 0.5V} \right) \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม

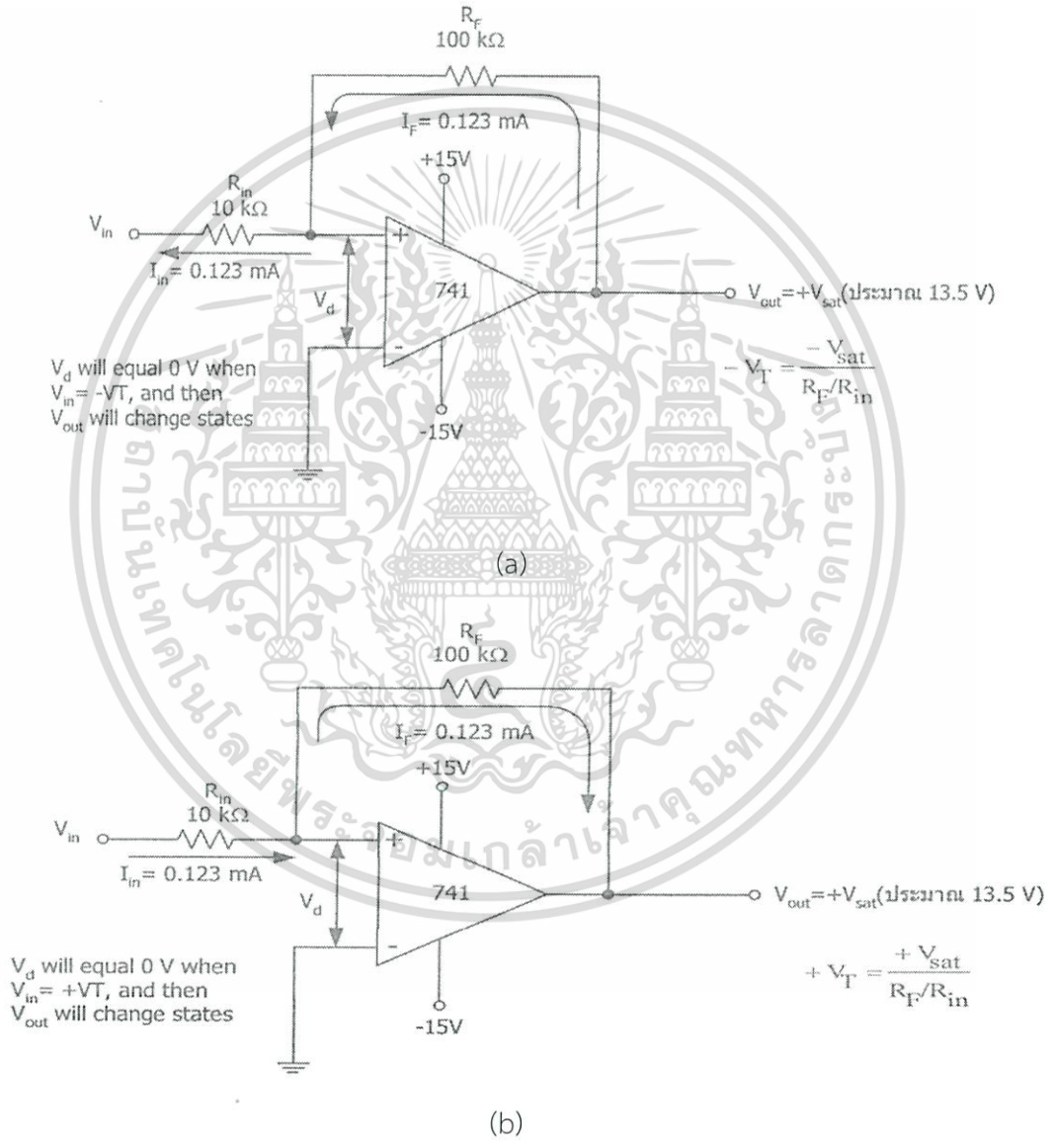
จากการศึกษาเรื่องของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย พบว่าเมื่อป้อนแรงดันไฟตรงค่าหนึ่ง ให้แก่วงจรอินทิเกรเตอร์แล้ว แรงดันเอาต์พุตจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างคงที่ จากหลักการนี้สามารถนำไปสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมขึ้นมา โดยช่วงแรกที่สัญญาณสี่เหลี่ยมมีค่าเป็นบวก แรงดันเอาต์พุตของอินทิเกรเตอร์จะลดลงอย่างคงที่ เมื่อสัญญาณสี่เหลี่ยมเปลี่ยนสถานะเป็นลบ แรงดันเอาต์พุตจากอินทิเกรเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ด้วยความชันขนาดเท่ากับที่ลดลง จึงทำให้ได้สัญญาณรวมเป็นสัญญาณสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.13 (b)



รูปที่ 2.13 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม

ความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากวงจรนี้จะมีขนาดเท่ากับความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยม ซึ่งหาได้จากสมการในหัวข้อที่เคยกล่าวมาแล้ว ($f = \frac{1}{2R_1C_1}$) และนอกจากนี้ จากการทดลองจะพบว่าเพื่อป้องกันไม่ให้นสัญญาณสามเหลี่ยมเพี้ยนไปจากลักษณะที่ควรเป็นจริง ค่าคงตัวของเวลา (มีค่าเท่ากับ $R_1 C_1$) ควรมีขนาดเป็นสองเท่าของ $R_4 C_2$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมด้วยวิธีข้างต้นแล้ว ยังสามารถสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมได้จากการรวมวงจรรีเลย์กับวงจรรวมพาราเตอร์ หลักการทำงานของวงจรรีเลย์จำเป็นต้องศึกษาการทำงานของออปแอมป์ที่มีการป้อนกลับแบบบวกดังในรูปที่ 2.14 เสียก่อน สังเกตข้อแตกต่างระหว่างการป้อนกลับชนิดนี้กับการป้อนกลับแบบลบที่ได้ศึกษามาแล้ว พบว่าสัญญาณอินพุทของวงจรรีเลย์ถูกป้อนเข้าที่ขั้วอินพุทบวกทำให้เอาต์พุทที่ได้มีเฟสตรงกับอินพุท ดังนั้นเมื่อป้อนสัญญาณจากเอาต์พุทกลับมาขั้วอินพุท แรงดันรวมก็จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงแรงดันอิ่มตัว $+V_{sat}$ หรือ $-V_{sat}$



รูปที่ 2.14 วงจรรีเลย์เกิดสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากการรวมวงจรรีเลย์กับคอมพาราเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติของวงจรชนิดป้อนกลับแบบบวกที่ได้กล่าวมา เมื่อเริ่มจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ ออปแอมป์ แรงดันค่าน้อยๆ ระหว่างขั้วอินพุต (V_d) หรือแรงดันออฟเซ็ทจะเป็นผลให้เอาต์พุตอิมิตัวทันที จากรูปที่ 2.14 (a) V_{out} มีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ และจะอยู่ในสถานะนั้นจนกระทั่งแรงดันที่อินพุตมีค่าต่ำลงถึงแรงดันค่าหนึ่ง (เรียกว่าแรงดันยึดเหนี่ยว $-V_T$) ซึ่งจะทำการตัดค่าที่ปรากฏ ณ ขั้วอินพุตบวก มีค่าเป็นลบเทียบกับศักดาที่ขั้วอินพุตลบซึ่งต่อกับกราวด์เป็นผลให้ V_{out} เปลี่ยนสถานะเป็น $-V_{sat}$ (คุณสมบัติของคอมพาราเตอร์) และในการเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุตให้กลับมาเป็น $+V_{sat}$ อีกครั้ง แรงดัน V_{in} จะต้องเพิ่มค่าเป็น $+V_1$ เสียก่อน ซึ่งทำให้ศักดาที่ขั้วบวกมีค่าสูงกว่ากราวด์

นอกจากนี้ ยังมีอีกวิธีหนึ่งในการอธิบายวงจรนี้ โดยให้พิจารณากระแสผ่านตัวต้านทานต่าง ๆ สมมติให้ V_{in} ในขณะเริ่มต้นมีค่าเป็นศูนย์ และ V_{out} มีค่าเป็น $+13.5$ โวลต์ (V_{out} ยังอิมิตัวได้ ทั้ง ๆ ที่ V_{in} เป็นศูนย์ เพราะว่ามีกระแสออฟเซ็ทไหลผ่าน R_{in} ทำให้เกิด V_d ขึ้น) เราสามารถคำนวณกระแส I_{in} (ซึ่งมีค่าเท่ากับ I_F) ได้จากกฎของโอห์ม นั่นคือ

$$I_{in} = I_F = \frac{V_{out}}{R_{in} + R_F} = 0.123$$

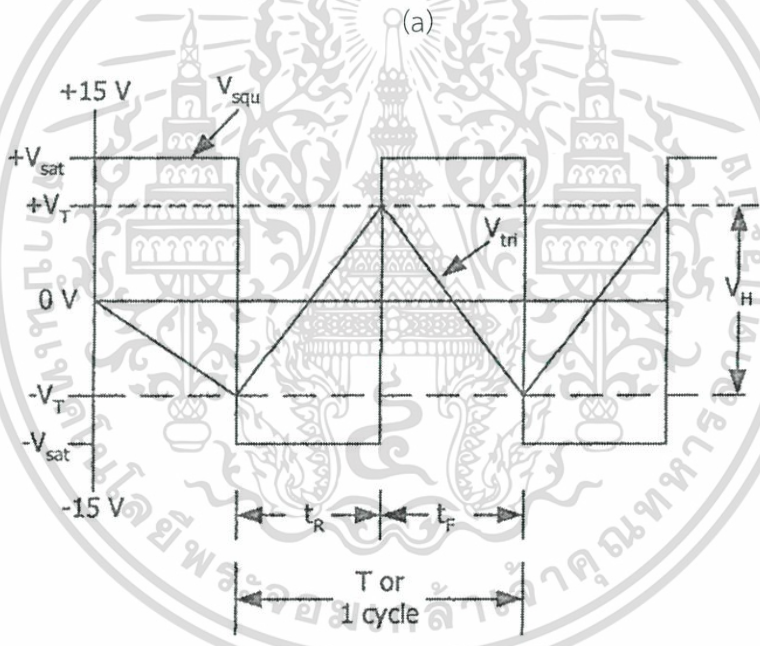
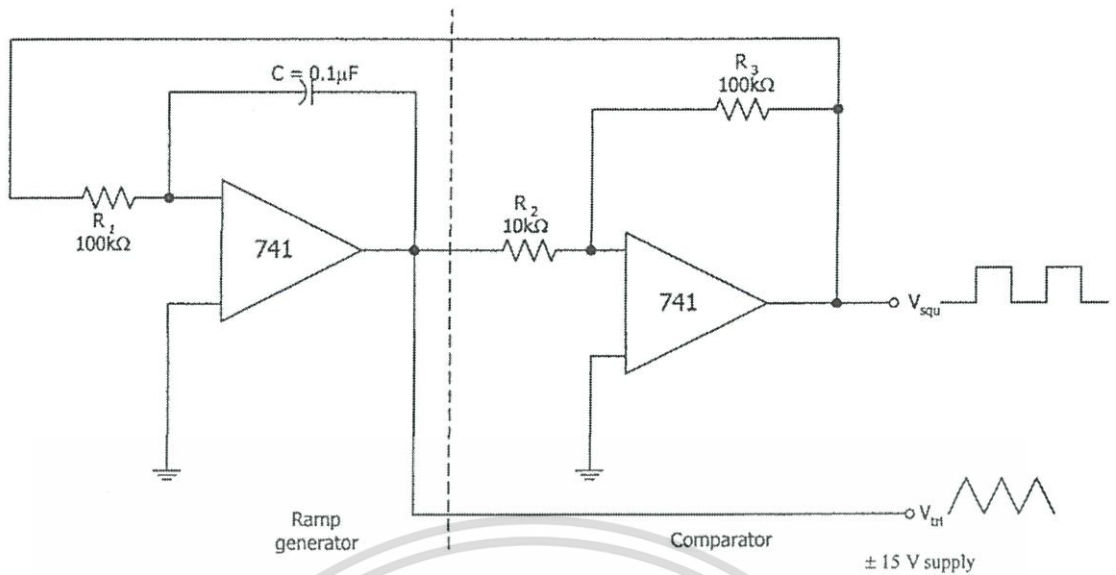
เป็นผลให้ $V_d = R_{in} \times I_{in} = +1.23$ โวลต์ (เมื่อ $V_{in} = 0$ โวลต์) เมื่อค่อย ๆ ปรับ v_{in} ให้มีค่าต่ำลง V_d จะมีค่าลดลงเช่นกัน จนในที่สุดเมื่อถึงแรงดัน $-V_T$ ซึ่งทำให้ $V_d = 0$, V_{out} เปลี่ยนสถานะไปเป็น $-V_{sat}$ และเมื่อ V_{out} มีค่าเป็น $-V_{sat}$ V_d จะมีขนาดเท่ากับ -1.23 V ดังนั้นจึงต้องเพิ่มค่า V_{in} ขึ้นเพื่อทำให้ V_d กลับเป็นศูนย์ดังเดิมซึ่งเมื่อนั้น $V_{in} = V_1$

เราสามารถคำนวณหา $+V_T$ และ $-V_T$ จากสมการ

$$+V_T = \frac{+V_{sat}}{R_f/R_{in}}$$

และ

$$-V_T = \frac{-V_{sat}}{R_f/R_{in}}$$



(b)

รูปที่ 2.15 วงจรคอมพาราเตอร์และวงจรกำเนิดสัญญาณแรมพ์

ซึ่งเราจะนำคอมพาราเตอร์ชนิดนี้มาใช้ร่วมกับวงจรกำเนิดสัญญาณแรมพ์ (อิมทีเกรเตอร์) เพื่อสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมดังในรูปที่ 2.15 โดยการนำเอาท์พุทจากอินทิเกรเตอร์มาต่อเป็นอินพุทให้แก่คอมพาราเตอร์ แล้วป้อนเอาท์พุทจากคอมพาราเตอร์กลับไปยังอินพุทของอินทิเกรเตอร์อีกที จะเห็นว่า เมื่อใดที่สัญญาณสามเหลี่ยมมีขนาดเท่า $+V_T$ หรือ $-V_T$ สัญญาณเอาท์พุทเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคอมพาราเตอร์จะเปลี่ยนสถานะทันที ทำให้เกิดการออสซิลเลตตลอดเวลา ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตสามารถหาได้จากค่า t_R (เวลาในการขึ้น) และ t_F (เวลาในการตก) ของรูปสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งมีค่าดังนี้

$$t_R = \frac{V_H}{-V_{sat}} (R_1 C) \quad (2.23)$$

$$t_F = \frac{V_H}{+V_{sat}} (R_1 C) \quad (2.24)$$

โดยที่ V_H คือ แรงดันฮิสเทอรีซิส (HYSTERISIS) และมีค่าเท่ากับ

$$V_H = +V_T - (-V_T) = 2 V_T$$

ดังนั้น คาบ (T) = $t_R + t_F$

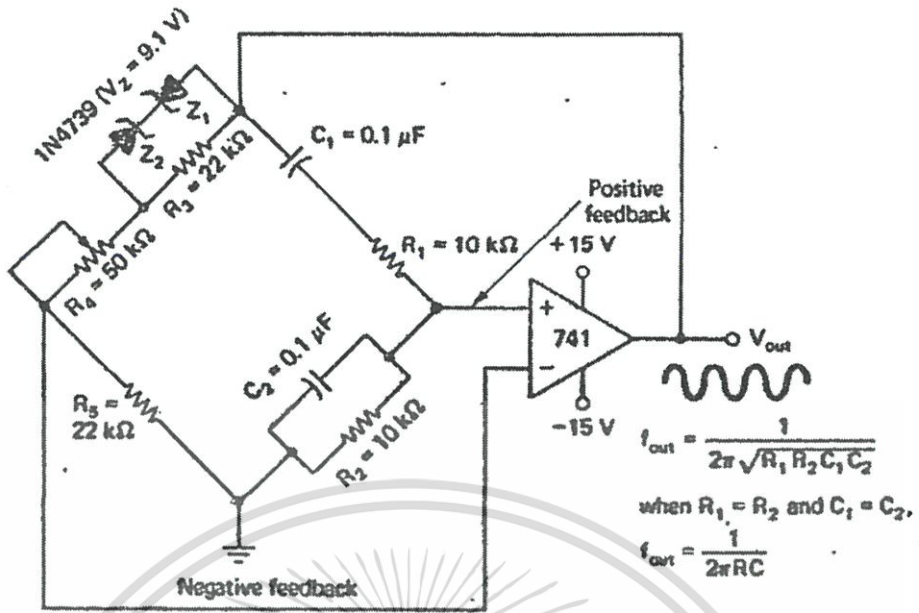
และความถี่เอาต์พุต f_{out} มีค่า

$$f_{out} = \frac{1}{T} \quad (2.25)$$

2.4.4 วงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์

หลักสำคัญในการสร้างวงจรกิจกรรมสัญญาณไซน์ คือ การนำวงจรรองสัญญาณความถี่บางช่วงมาใช้เป็นภาคเลือกความถี่ของสัญญาณออสซิลเลต ตัวอย่างของวงจรเช่นนี้ได้แก่ วงจร เวน-บริดจ์ ออสซิลเลเตอร์ (WIEN-BRIDGE) ตัวอย่างของการนำออปแอมป์มาใช้ในวงจรเช่นนี้ถูกแสดงในรูป 2.16 จะเห็นว่า ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ถูกป้อนกลับด้วยสัญญาณจากเอาต์พุต โดยมี R_1 , C_1 และ R_2 , C_2 ทำหน้าที่ป้อนกลับแบบบวกให้แก่ขั้วอินพุตบวก ส่วน R_3 , R_4 , R_5 จะป้อนสัญญาณเอาต์พุตกลับแบบลบให้แก่ขั้วอินพุตลบ และในการป้อนกลับรวมนั้น การป้อนกลับชนิดบวกต้องมีค่าสูงกว่าเพื่อทำให้วงจรออสซิลเลตได้ (มิเช่นนั้น ถ้าการป้อนกลับแบบลบมีค่าสูงกว่า สัญญาณที่เอาต์พุตจะถูกลดจนหมดไปในที่สุด) ดังนั้น จึงต้องมี R_4 เป็นตัวควบคุมไม่ให้เกิดการป้อนกลับแบบลบมีค่าสูงเกินไป และยังทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดการเริ่มทำงานของวงจรอีกด้วย นอกจากนี้วงจรภาคที่ป้อนสัญญาณกลับชนิดบวกยังสามารถบังคับวงจรให้หยุดทำงานได้เมื่อความถี่ที่เอาต์พุตมีค่าต่างจากที่กำหนดเอาไว้ โดยมีหลักในการป้องกันดังนี้ เมื่อความถี่ที่เอาต์พุตมีค่าสูงขึ้น รีแอ็คแตนซ์ของตัวเก็บประจุ C_2 จะลดลงทำให้สัญญาณเอาต์พุตบวกมีขนาดลดลง นั่นคือ ค่าของการป้อนกลับแบบบวกจะน้อยกว่าการป้อนกลับชนิดลบ ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าต่ำลง หรือในกรณีที่ความถี่ของเอาต์พุตมีค่าลดลง รีแอ็คแตนซ์ของ C_1 ก็เพิ่มขึ้นทำให้แรงดันตกคร่อมขั้วอินพุตบวกเทียบกับกราวด์มีค่า

ลดลง (ตามกฎของการแบ่งแรงดัน) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การนำออปแอมป์มาใช้ในวงจร

การป้อนกลับชนิดบวกจะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าสูงขึ้นจนเกิดการออสซิลเลตโดยมีซีเนอร์ไดโอด 2 ตัว (ต่อให้หันกลับกัน) ต่อคร่อม R_3 เป็นตัวป้องกันไม่ให้แรงดันของสัญญาณที่ออสซิลเลตนี้มีค่าเกิน V_{sat} ซึ่งไดโอดสองตัวนี้ทำงานในลักษณะที่ว่า เมื่อ V_{out} มีค่าสูงใกล้ V_{sat} และสูงกว่า แรงดันพังทลาย V_z ของซีเนอร์ไดโอด ไดโอดทั้งสองตัวจะเสมือนถูกลัดวงจรทำให้ความต้านทานคร่อม R_3 มีค่าต่ำมาก นั่นคือ คัดดาที่ขั้วอินพุตลบจะมีค่าสูงขึ้น เป็นผลให้การป้อนกลับแบบลบมีค่ามากขึ้น และป้องกันไม่ให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าสูงเกินไป เราสามารถคำนวณความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตจากสมการ

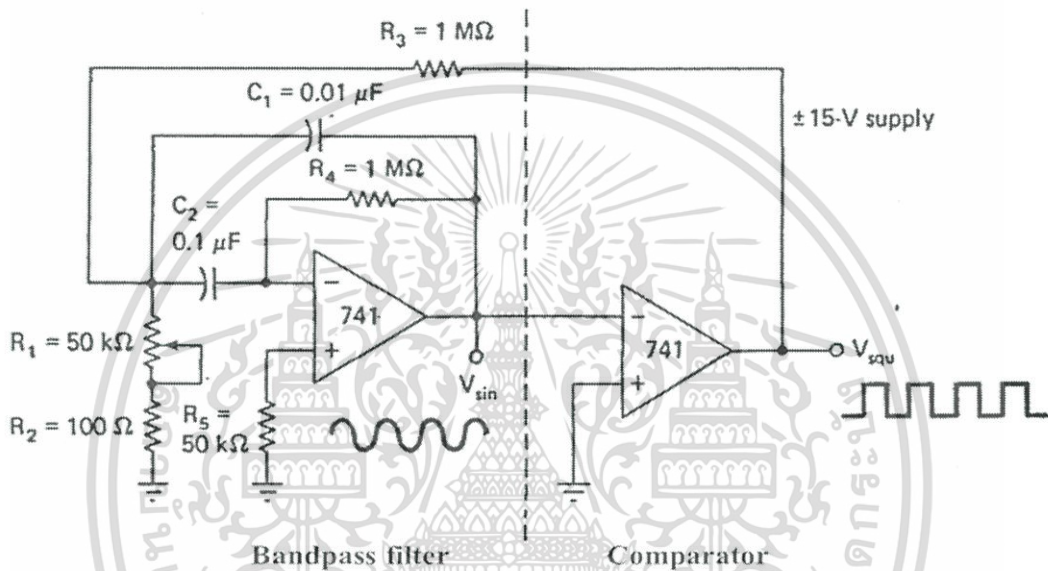
$$f_{out} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \tag{2.26}$$

และหาก $R_1 = R_2$, $C_1 = C_2$ แล้วจะได้

$$f_{out} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \tag{2.27}$$

ความถี่ f_{out} สำหรับวงจรในรูป 2.16 จะมีค่าประมาณ 160 เฮิร์ตซ์

นอกจากวงจรวอร์น - บริดจ์แล้ว เรายังสามารถสร้างสัญญาณไซน์ได้โดยใช้โอปแอมป์ 2 ตัว ดังรูป 2.17 โดยต่อในลักษณะของวงจรรวมพาราเตอร์ และวงจรรองความถี่เป็นช่วงโดยยึดหลักที่ว่า สัญญาณสี่เหลี่ยมเกิดจากผลรวมของคลื่นหลายชนิด (ในความเป็นจริงแล้ว ควรกล่าวว่าเกิดจากสัญญาณไซน์หลาย ๆ ฮาร์โมนิก) ซึ่งรวมทั้งสัญญาณไซน์หลักด้วย ฉะนั้นถ้าเรากรองความถี่ของสัญญาณไซน์หลักโดยใช้วงจรฟิลเตอร์ เอทท์พุกก็จะอยู่ในรูปของสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ ส่วนการนำคอมพาราเตอร์ต่อกับวงจรฟิลเตอร์นั้นก็เพื่อสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อนำกลับไปป้อนให้กับวงจรฟิลเตอร์อีกที ทำให้วงจรสร้างสัญญาณออสซิลเลตออกมาอย่างต่อเนื่อง



รูป 2.17 ลักษณะวงจรรวมพาราเตอร์

เราสามารถคำนวณความถี่ f_{out} จากสมการ

$$f_{out} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_p R_4 C_1 C_2}} \quad (2.28)$$

$$R_p = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \quad (2.29)$$

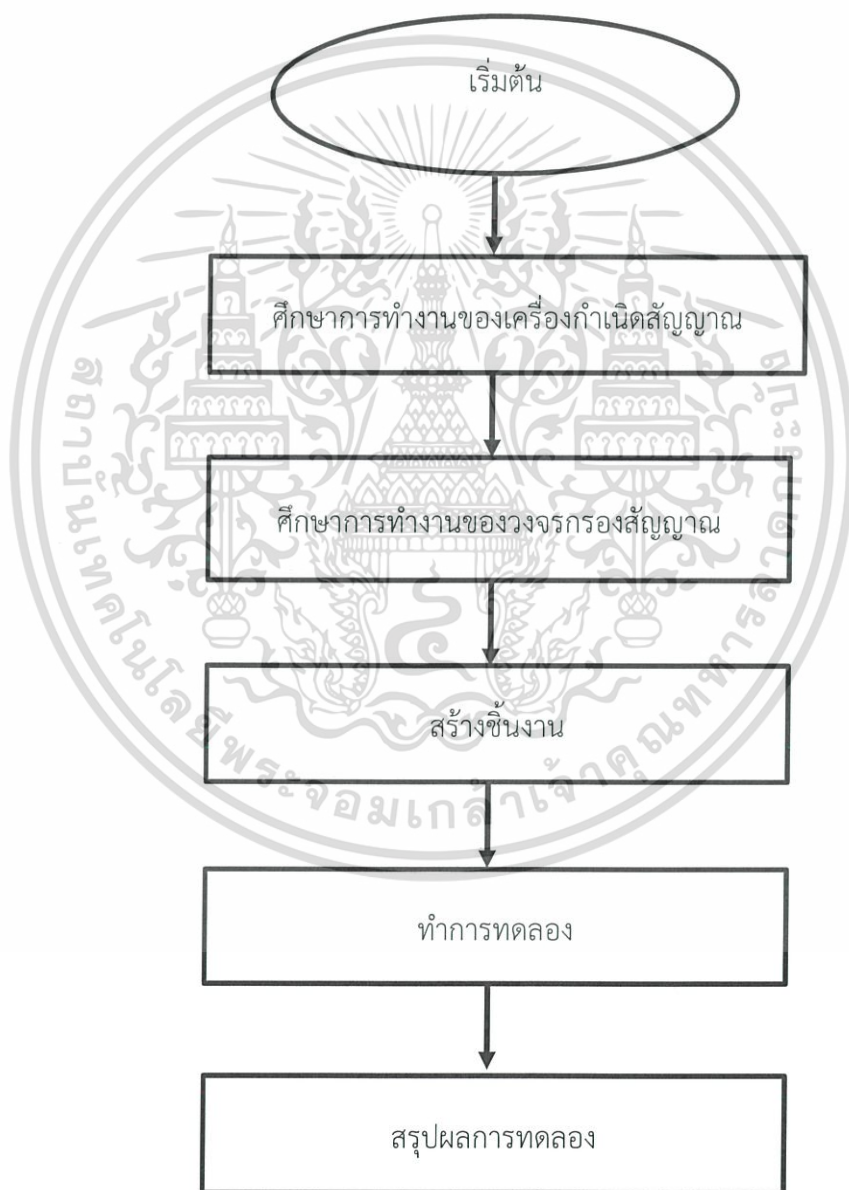
ตัวต้านทาน R_2 ในวงจรมีค่าต่ำมาก ซึ่งมีไว้สำหรับป้องกันไม่ให้นสัญญาณป้อนกลับ ถูกต่อลงกราวด์เท่านั้น (กรณีที่ R_1 ถูกปรับให้เป็นศูนย์) ส่วนตัวต้านทาน R_1 จะใช้เป็นตัวเปลี่ยนความถี่ของการออสซิลเลท ในวงจรรูป 2.17 f_0 อาจเปลี่ยนแปลงได้จาก 7 เฮิร์ตซ์ถึง 1.6 กิโลเฮิร์ตซ์โดยการปรับ R_1 และหากต้องการออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ในย่านความถี่ของเสียงก็สามารถทำได้โดยเปลี่ยนตัวประจุ C_1 และ C_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการออกแบบชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ เพื่อนำไปใช้ในการทดลองทางฟิสิกส์นั้นเป็น การศึกษาการทำงานและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่และวงจรกรองสัญญาณ โดยในการ ทดลอง ณ ที่นี้คือ การทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์โดยใช้วงจรกรองความถี่ ซึ่งแบ่งหัวข้อการ ดำเนินงานวิจัยดังนี้

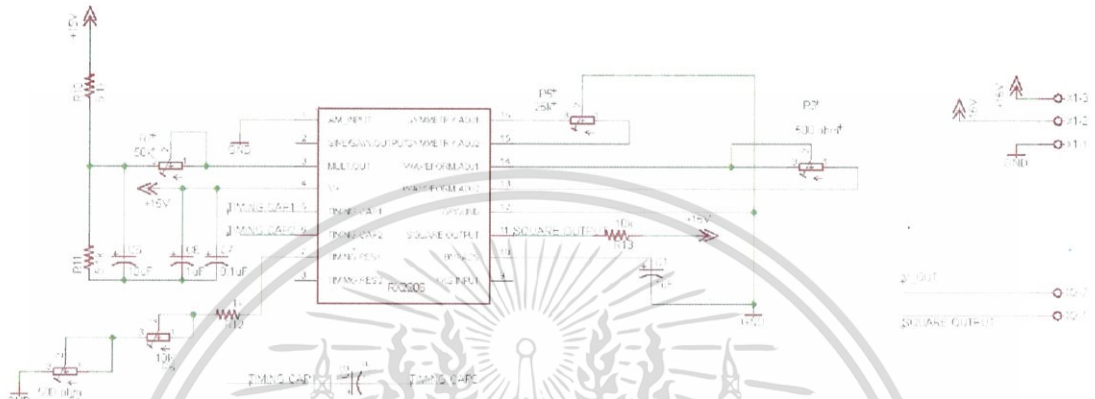


รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

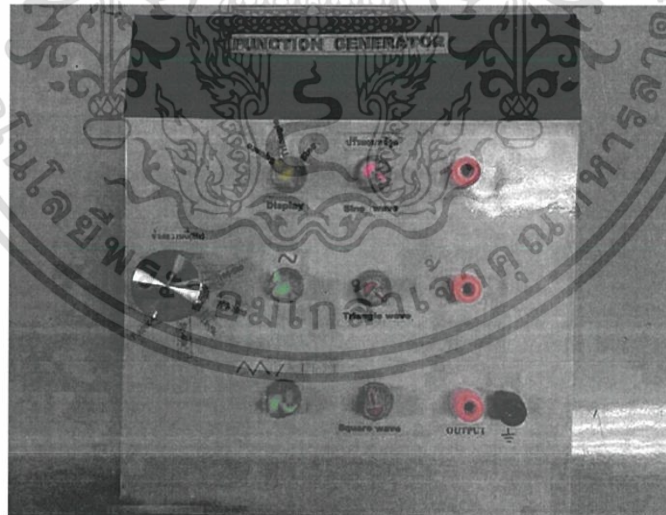
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ (Function Generator) จะใช้ไอซีเบอร์ Xr2206 ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่ Sine wave, Square wave และ Triangle wave ตั้งแต่ 100 Hz – 10 kHz ในการเปลี่ยนแปลงความถี่สามารถปรับความถี่ได้ที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ 500 Ω และ 10k



รูปที่ 3.2 วงจรของเครื่องกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 3.3 รูปแบบกล่องเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการสร้างวงจรกรองสัญญาณ

ในการสร้างวงจรกรองสัญญาณความถี่นั้นจำเป็นต้องทำการคำนวณหาค่าของอุปกรณ์ต่างๆ โดยต้องทำให้ได้ค่าความถี่คัตออฟ (ω_c) ของวงจรเท่ากับ 1 kHz ในการออกแบบนั้นควรเลือกค่าของตัวเก็บประจุให้เหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละวงจรแล้วทำการคำนวณหาค่าตัวต้านทาน (R) จากสมการ

$$R = \frac{1}{2\pi f c}$$

จากการคำนวณที่ผ่านมาเราจะได้อุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้งาน ดังนั้นขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำผลที่ได้ไปทำการทดสอบความถูกต้องของวงจรที่ได้ออกแบบด้วย ในที่นี้เราได้ทำการเลือกใช้ไอซีเบอร์ LF351 เพื่อทดสอบวงจรกรองสัญญาณแบบต่างๆ

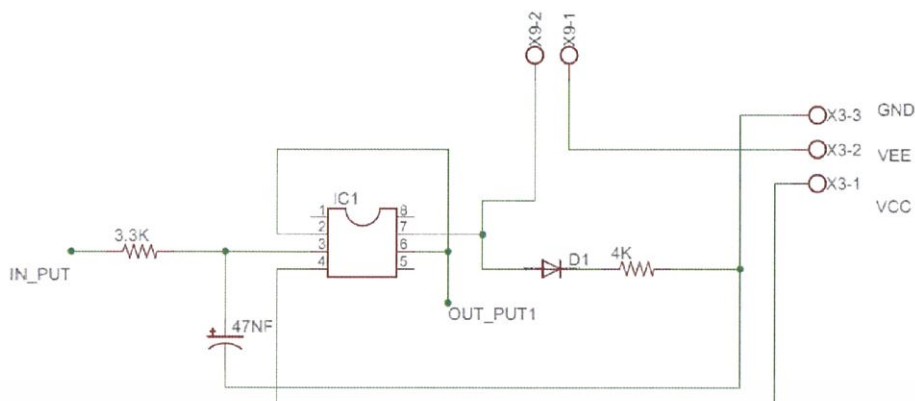
3.2.1 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low pass filter)

กำหนดให้ $c=47$ nF, ความถี่ 1 kHz สามารถคำนวณค่า R ได้จาก

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2\pi f c} \\ &= \frac{1}{2\pi(10 \times 10^3)(47 \times 10^{-9})} \\ &= 338.6275 \end{aligned}$$

$$R \approx 3.3 \text{ k}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

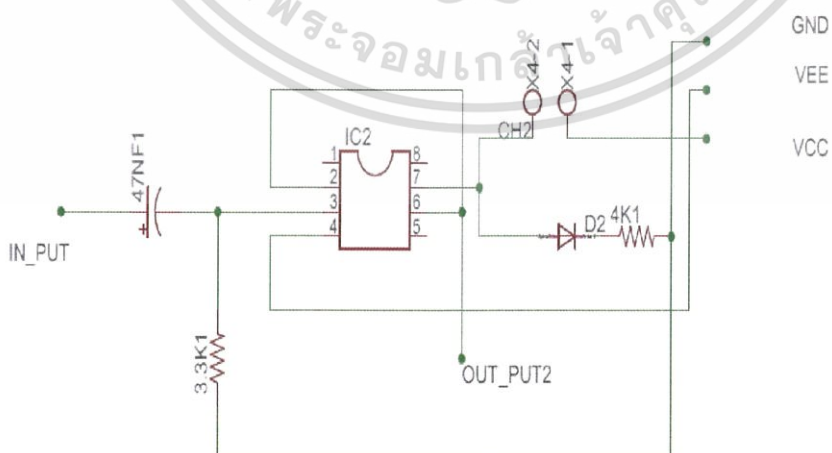
3.2.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High pass filter)

กำหนดให้ $c=47$ nF, ความถี่ 1 kHz สามารถคำนวณค่า R ได้จาก

$$R = \frac{1}{2\pi fc}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot 1 \text{ kHz} \cdot 47 \text{ nF}}$$

$$R = 3.3 \text{ k}\Omega$$



รูปที่ 3.5 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter)

กำหนดให้ $c=100$ nF, ความถี่ 1 kHz, $Q=10$, $A_m = -2$ สามารถคำนวณค่า R ได้จากสมการ

$$f_m = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{R_1+R_2}{R_1R_2R_3}}$$

ค่า R_1 , R_2 , R_3 หาได้จากสูตร

$$R_2 = \frac{Q}{\pi f C}$$

$$= \frac{10}{\pi \cdot 1 \text{ kHz} \cdot 100 \text{ nF}}$$

$$= 31.8 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{R_2}{-2A}$$

$$= \frac{31.8 \text{ k}\Omega}{-(2)(-2)}$$

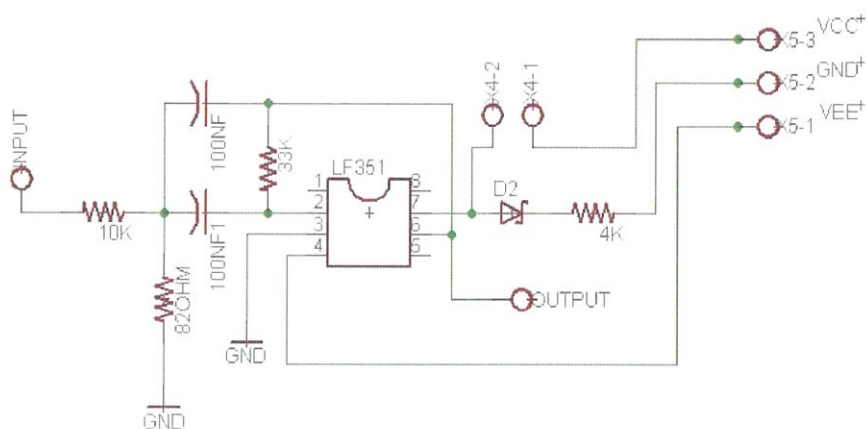
$$= 7.96 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{-AR_1}{2Q^2+A}$$

$$= \frac{-(-2) \cdot 7.96 \text{ k}\Omega}{2 \cdot (10^2) + (-2)}$$

$$= 80.4 \text{ }\Omega$$

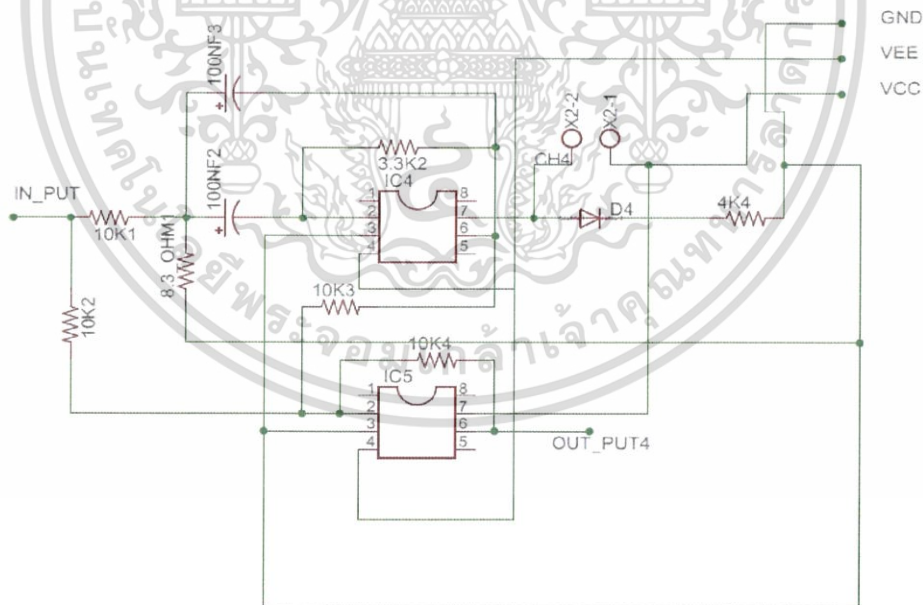
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่

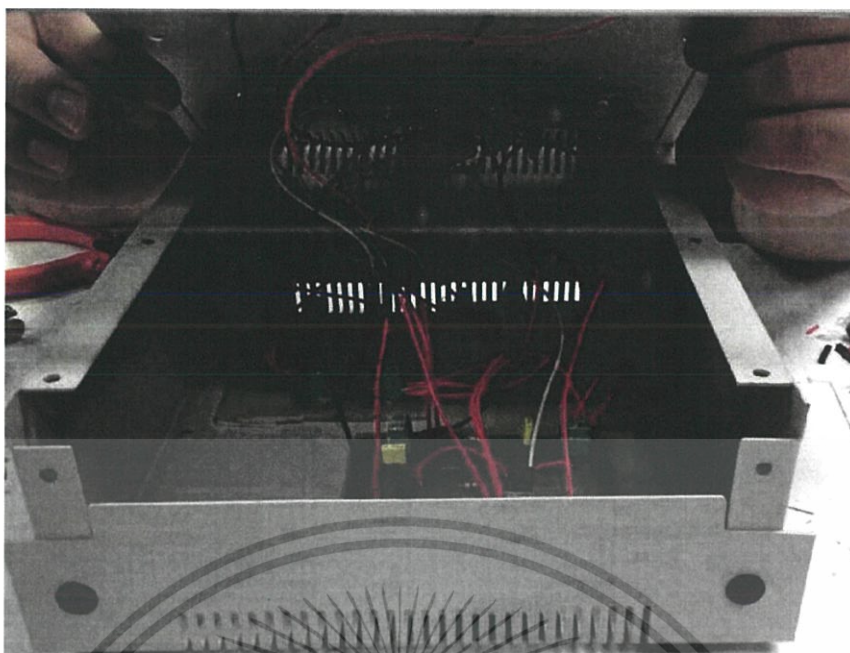
3.2.4 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter)

วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่จะใช้ IC เบอร์ LF351 จำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ 1 ตัว อีก 1 ตัวทำหน้าที่แปลงสัญญาณ



รูปที่ 3.7 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรภายในของวงจรกรองสัญญาณ

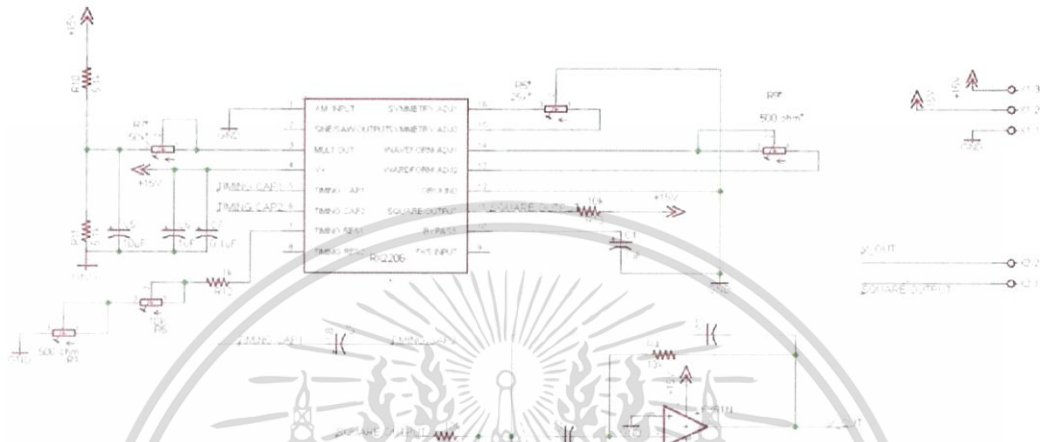


รูปที่ 3.9 รูปแบบกล่องของวงจรกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์

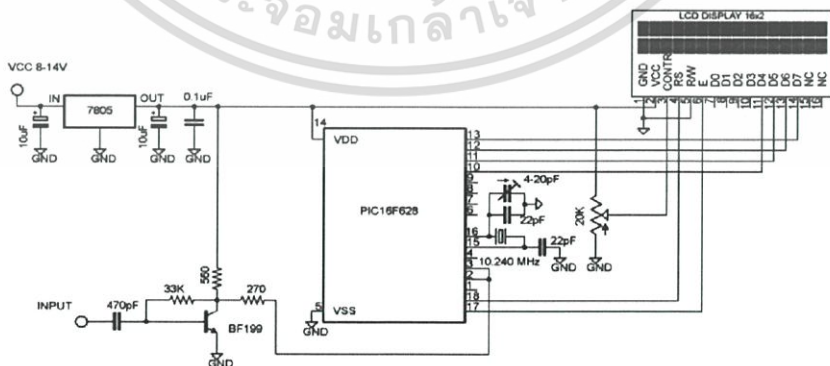
ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่และวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ และวงจรนับความถี่



รูปที่ 3.10 วงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่

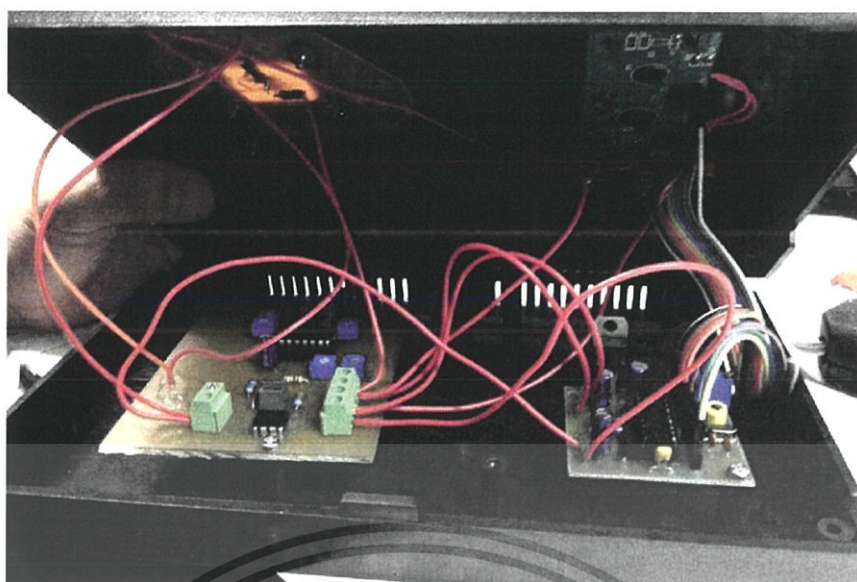
3.5.1 วงจรนับความถี่

หน้าจอแสดงผล LCD 16x2 สามารถแสดงผลได้สองบรรทัด ในโครงการพิเศษนี้ออกแบบให้จอ LCD แสดงค่าความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

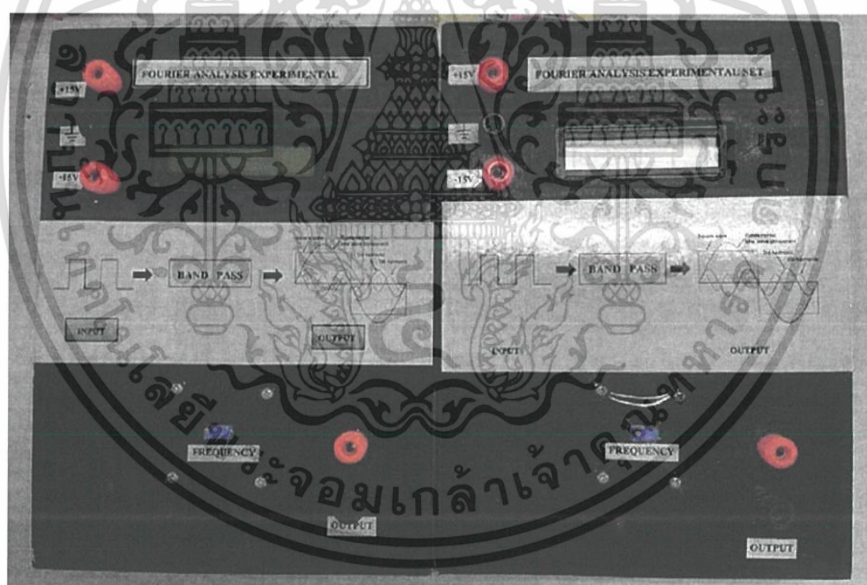


รูปที่ 3.11 วงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรภายในของชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูรีเยร์



รูปที่ 3.13 ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูรีเยร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

1. ต่อสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับออสซิลโลสโคป จากนั้น ปรับความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อดูรูปสัญญาณและแอมพลิจูด
2. บันทึกค่าแอมพลิจูดและรูปสัญญาณที่ออสซิลโลสโคปอ่านได้

3.4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรกรองสัญญาณ

1. ต่อสัญญาณรูปไซน์ (sine waves) จาก function generator และมีแอมพลิจูดเท่ากับ $1V_{pp}$, $3 V_{pp}$ และ $5 V_{pp}$ เข้าที่ input ของวงจรกรองสัญญาณ
2. ปรับ input gain ให้ output มีแอมพลิจูดเท่ากับ $1 V_{pp}$, $3 V_{pp}$ และ $5 V_{pp}$
3. ปรับความถี่จาก function generator ตามตารางแล้วเปลี่ยน mode switch ของวงจรกรองสัญญาณตามตารางบันทึกผล อ่านค่าแอมพลิจูดของแต่ละความถี่แล้วบันทึกผลในตาราง
4. เขียนกราฟระหว่างแอมพลิจูด (โวลต์) กับค่าความถี่สำหรับแต่ละวงจร

3.4.3 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก

1. เลือกสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 440 Hz จาก function generator เข้าที่ input ของวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่แล้วดูรูปสัญญาณ output จากออสซิลโลสโคป ให้ปรับ input gain จนทำให้ output มีค่าเท่ากับ $1V_{pp}$
2. ปรับความถี่ของ function generator เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แล้วสังเกตว่าที่ความถี่ใดที่ทำให้แอมพลิจูดที่อ่านมีค่าสูงสุดและเป็นรูปไซน์ดีที่สุด บันทึกค่าของความถี่และแอมพลิจูด แล้วปรับความถี่ไปที่ฮาร์มอนิกค่าต่างๆ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ทำการป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม, รูปสามเหลี่ยมและรูปไซน์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ค่าต่างๆ สามารถอ่านแอมพลิจูดได้ดังตารางที่ 4.1 - 4.3 และสามารถบันทึกรูปสัญญาณได้ดังภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ต่างๆ

| ความถี่ (Hz) | แอมพลิจูด (V) |
|--------------|---------------|
| 1 | 15 |
| 10 | 14.6 |
| 100 | 15.2 |
| 1000 | 15 |
| 5000 | 15 |
| 10000 | 14.8 |
| 15000 | 15 |
| 20000 | 14.8 |
| 50000 | 14.8 |
| 100000 | 14.8 |
| 200000 | 14.6 |
| 250000 | 14.6 |
| 300000 | 14.6 |
| 400000 | 14.6 |
| 500000 | 14.2 |
| 600000 | 14 |
| 700000 | 14 |
| 800000 | 13.4 |
| 900000 | 13.2 |
| 1000000 | 12.8 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ความถี่ต่างๆ

| ความถี่ (Hz) | แอมพลิจูด (V) |
|--------------|---------------|
| 1 | 14.8 |
| 10 | 13.6 |
| 100 | 14.2 |
| 1000 | 14.6 |
| 5000 | 14.6 |
| 10000 | 14.6 |
| 15000 | 14.6 |
| 20000 | 14.4 |
| 50000 | 13.8 |
| 80000 | 13.2 |
| 100000 | 12.8 |
| 200000 | 11.2 |
| 250000 | 10.6 |
| 300000 | 8.8 |
| 400000 | 7.4 |
| 500000 | 6.4 |
| 600000 | 6 |
| 700000 | 4.6 |
| 800000 | 4.4 |
| 900000 | 3.8 |
| 1000000 | 3.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปไซน์ที่ความถี่ต่างๆ

| ความถี่ (Hz) | แอมพลิจูด (V) |
|--------------|---------------|
| 1 | 8.24 |
| 10 | 7.44 |
| 100 | 6.8 |
| 1000 | 7.36 |
| 5000 | 7.2 |
| 10000 | 7.2 |
| 15000 | 7.12 |
| 20000 | 7.12 |
| 50000 | 7.04 |
| 80000 | 6.88 |
| 100000 | 6.64 |
| 200000 | 5.29 |
| 250000 | 5.6 |
| 300000 | 4.88 |
| 400000 | 4.16 |
| 500000 | 3.36 |
| 600000 | 2.88 |
| 700000 | 2.48 |
| 800000 | 2 |
| 900000 | 1.92 |
| 1000000 | 1.6 |

จากผลการทดลองการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยใช้ IC เบอร์ Xr 2206 พบว่า ช่วงในการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1 Hz – 100 KHz สามารถสร้างสัญญาณได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ สัญญาณรูปไซน์, สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม โดยมีแอมพลิจูดที่สามารถปรับค่าได้อยู่ระหว่าง 0 – 10 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรรองสัญญาณ

ในการทดสอบการทำงานของวงจรรองสัญญาณนั้น ทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณที่สร้างขึ้นที่ความถี่ 100 Hz – 2000 Hz ที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ $1V_{pp}$, $3V_{pp}$ และ $5V_{pp}$ ผ่านวงจรรองสัญญาณทั้งหมด 4 แบบได้แก่ วงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำ, วงจรรองสัญญาณความถี่สูง, วงจรรองสัญญาณช่วงความถี่และวงจรถอดทอนสัญญาณช่วงความถี่และสามารถบันทึกค่าแอมพลิจูดที่วัดได้ดังตารางที่ 4.4 – 4.7

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกค่าแอมพลิจูดของวงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำที่ความถี่ 100 Hz -2000 Hz

| ความถี่ (Hz) | A=1 Vpp | A=3 Vpp | A=5 Vpp |
|--------------|---------|---------|---------|
| 100 | 1.4 | 2.8 | 6.4 |
| 200 | 1.4 | 2.8 | 6.4 |
| 300 | 1.4 | 2.76 | 6.32 |
| 400 | 1.36 | 2.68 | 6.16 |
| 500 | 1.32 | 2.64 | 6 |
| 600 | 1.28 | 2.6 | 5.92 |
| 700 | 1.24 | 2.58 | 5.6 |
| 800 | 1.16 | 2.52 | 5.36 |
| 900 | 1.12 | 2.36 | 5.2 |
| 1000 | 1.08 | 2.28 | 5.04 |
| 1100 | 1.04 | 2.2 | 4.8 |
| 1200 | 1.02 | 2.16 | 4.72 |
| 1300 | 0.98 | 2 | 4.4 |
| 1400 | 0.94 | 1.96 | 4.32 |
| 1500 | 0.9 | 1.84 | 4.16 |
| 1600 | 0.88 | 1.8 | 4 |
| 1700 | 0.84 | 1.76 | 3.92 |
| 1800 | 0.76 | 1.64 | 3.76 |
| 1900 | 0.74 | 1.56 | 3.6 |
| 2000 | 0.72 | 1.52 | 3.52 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกค่าแอมพลิจูดของวงกรองสัญญาณความถี่สูงที่ความถี่ 100 Hz -2000 Hz

| ความถี่ (Hz) | A=1 Vpp | A= 3 Vpp | A=5 Vpp |
|--------------|---------|----------|---------|
| 100 | 0.12 | 0.4 | 0.2 |
| 200 | 0.16 | 0.8 | 0.8 |
| 300 | 0.24 | 1.2 | 1.4 |
| 400 | 0.32 | 1.4 | 1.6 |
| 500 | 0.4 | 1.8 | 2 |
| 600 | 0.48 | 2.2 | 2.4 |
| 700 | 0.52 | 2.4 | 2.6 |
| 800 | 0.56 | 2.6 | 3 |
| 900 | 0.6 | 2.8 | 3.2 |
| 1000 | 0.64 | 3 | 3.2 |
| 1100 | 0.68 | 3.2 | 3.4 |
| 1200 | 0.72 | 3.4 | 3.6 |
| 1300 | 0.72 | 3.4 | 3.6 |
| 1400 | 0.76 | 3.6 | 3.8 |
| 1500 | 0.76 | 3.6 | 4 |
| 1600 | 0.76 | 3.8 | 4 |
| 1700 | 0.8 | 3.8 | 4 |
| 1800 | 0.8 | 3.8 | 4.2 |
| 1900 | 0.8 | 3.8 | 4.2 |
| 2000 | 0.8 | 3.8 | 4.2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกค่าแอมพลิจูดของวงกรองสัญญาณช่วงความถี่ที่ความถี่ 100 Hz -2000 Hz

| ความถี่ (Hz) | A=1 Vpp | A= 3 Vpp | A=5 Vpp |
|--------------|---------|----------|---------|
| 100 | 0 | 0.08 | 0 |
| 200 | 0 | 0.12 | 0 |
| 300 | 0 | 0.16 | 0.2 |
| 400 | 0.08 | 0.24 | 0.2 |
| 500 | 0.12 | 0.32 | 0.4 |
| 600 | 0.16 | 0.52 | 0.8 |
| 700 | 0.24 | 0.76 | 1.2 |
| 800 | 0.4 | 1.32 | 2.2 |
| 900 | 0.92 | 2.8 | 5.4 |
| 1000 | 1.24 | 3.4 | 5.4 |
| 1100 | 0.44 | 1.4 | 2.4 |
| 1200 | 0.28 | 0.8 | 1.6 |
| 1300 | 0.24 | 0.6 | 1 |
| 1400 | 0.2 | 0.6 | 0.8 |
| 1500 | 0.16 | 0.4 | 0.8 |
| 1600 | 0.12 | 0.36 | 0.6 |
| 1700 | 0.12 | 0.2 | 0.6 |
| 1800 | 0.12 | 0.34 | 0.4 |
| 1900 | 0.12 | 0.3 | 0.4 |
| 2000 | 0.12 | 0.28 | 0.4 |

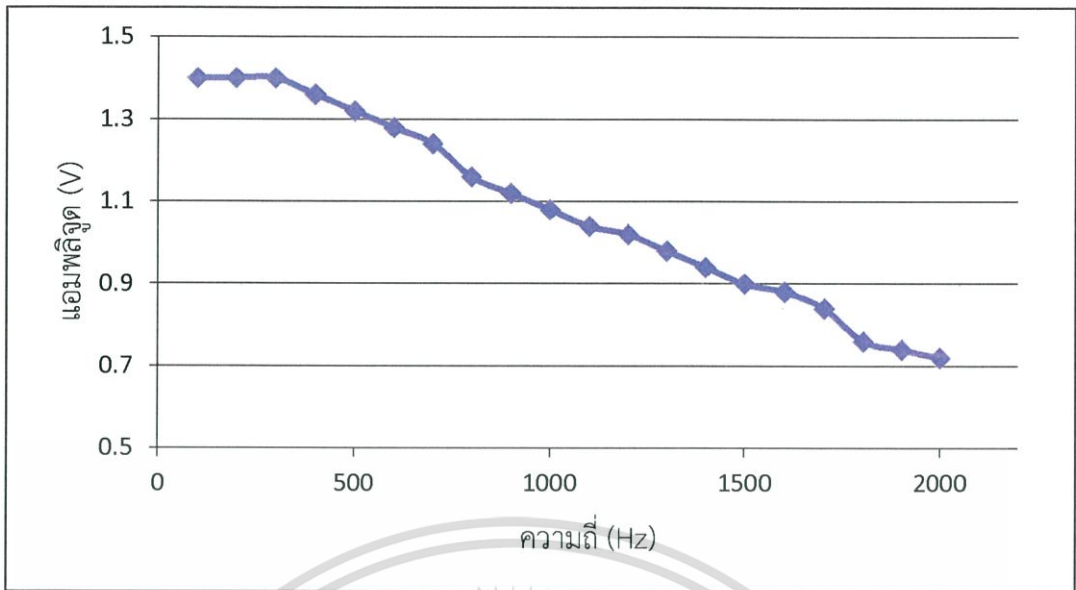
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าแอมพลิจูดของวงลวดทอนสัญญาณช่วงความถี่ที่ความถี่ 100 Hz -2000Hz

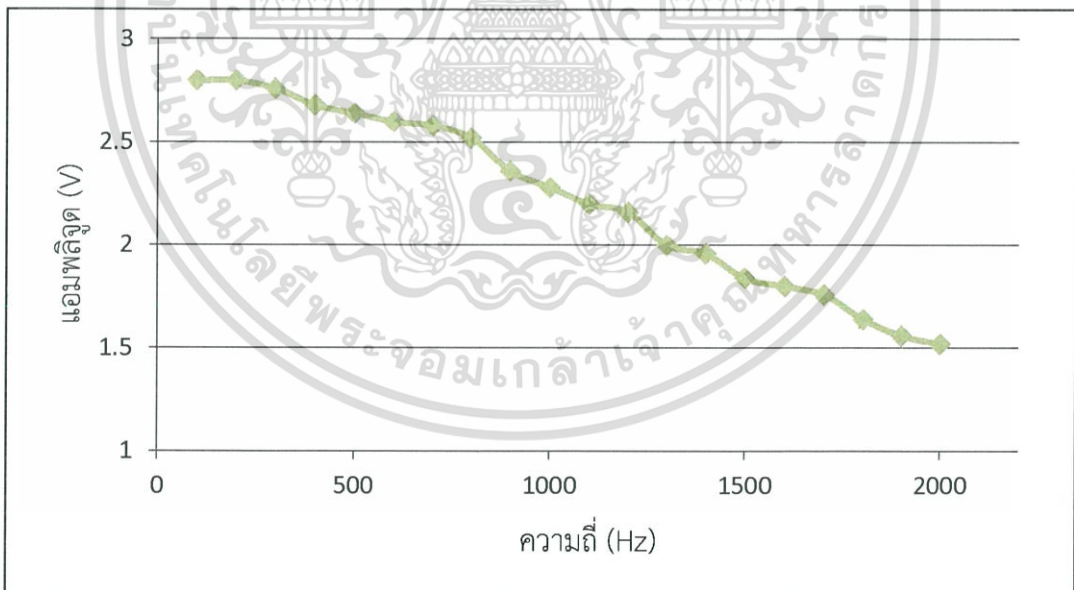
| ความถี่ (Hz) | A=1 Vpp | A= 3 Vpp | A=5 Vpp |
|--------------|---------|----------|---------|
| 100 | 1 | 3 | 5 |
| 200 | 1 | 3 | 5 |
| 300 | 1 | 3 | 5 |
| 400 | 1 | 3 | 5 |
| 500 | 1 | 3 | 5 |
| 600 | 1 | 3 | 5 |
| 700 | 1 | 3 | 4.6 |
| 800 | 1 | 2.8 | 4.8 |
| 900 | 0.6 | 2 | 4 |
| 1000 | 0.8 | 2.4 | 3.8 |
| 1100 | 1 | 2.8 | 4.6 |
| 1200 | 1 | 3 | 4.8 |
| 1300 | 1 | 3 | 4.6 |
| 1400 | 1 | 3 | 4.8 |
| 1500 | 1 | 3 | 4.8 |
| 1600 | 1 | 3 | 4.8 |
| 1700 | 1 | 3 | 4.8 |
| 1800 | 1 | 3 | 4.8 |
| 1900 | 1 | 3 | 4.8 |
| 2000 | 1 | 3 | 4.8 |

จากตารางที่ 4.4- 4.7 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณต่างๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

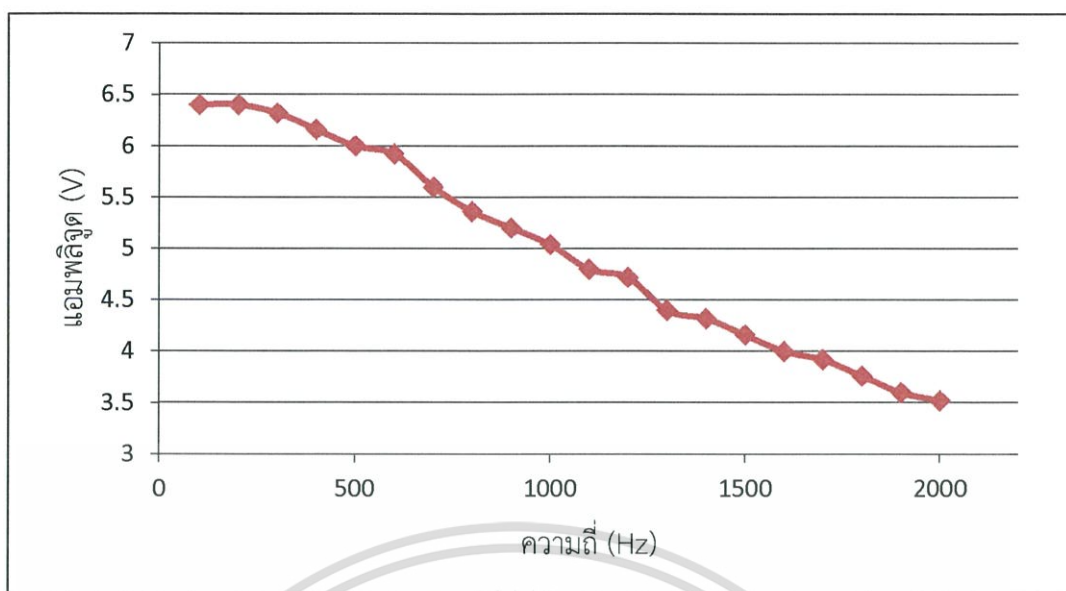


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp

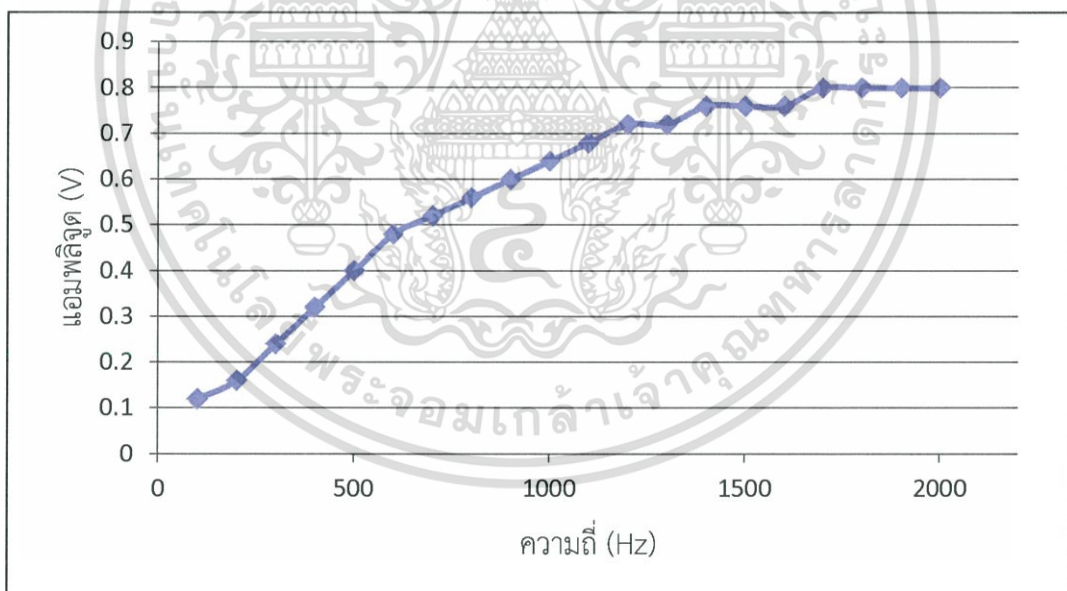


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่แอมพลิจูดเท่ากับ 3 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

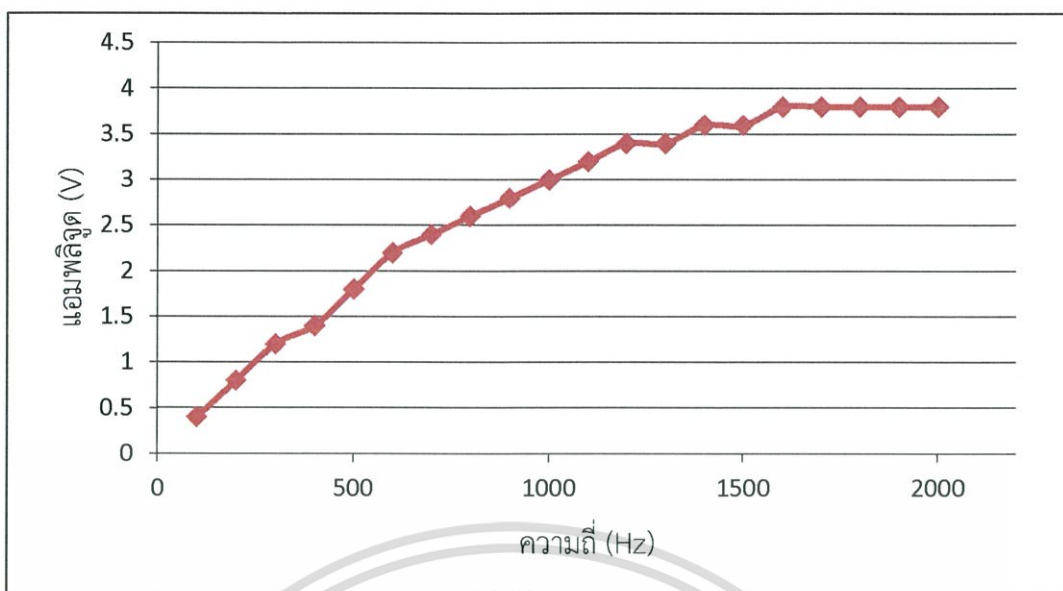


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำแอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp

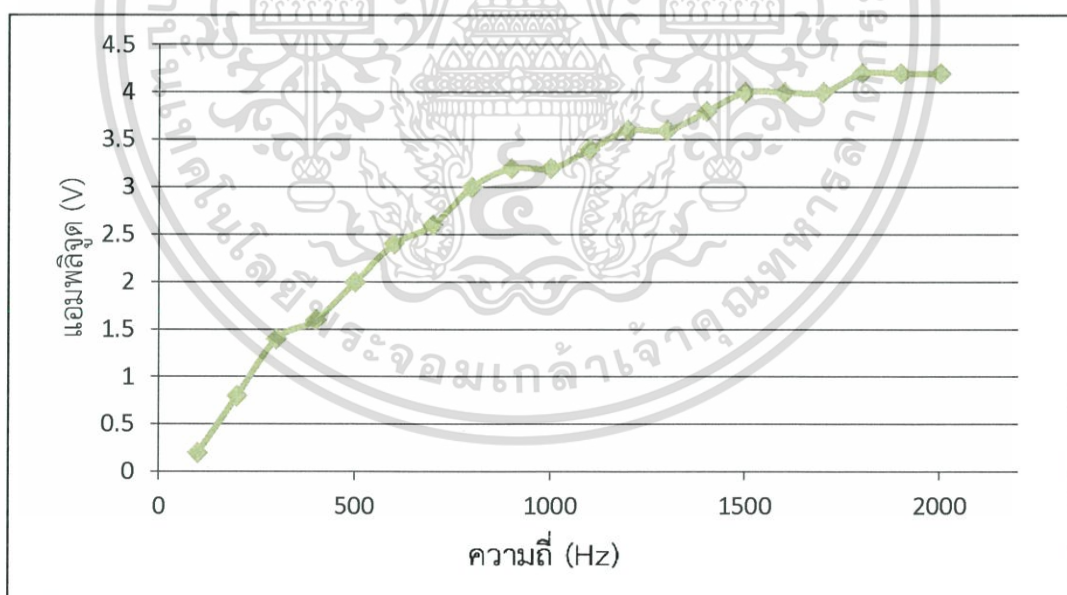


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่สูงที่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

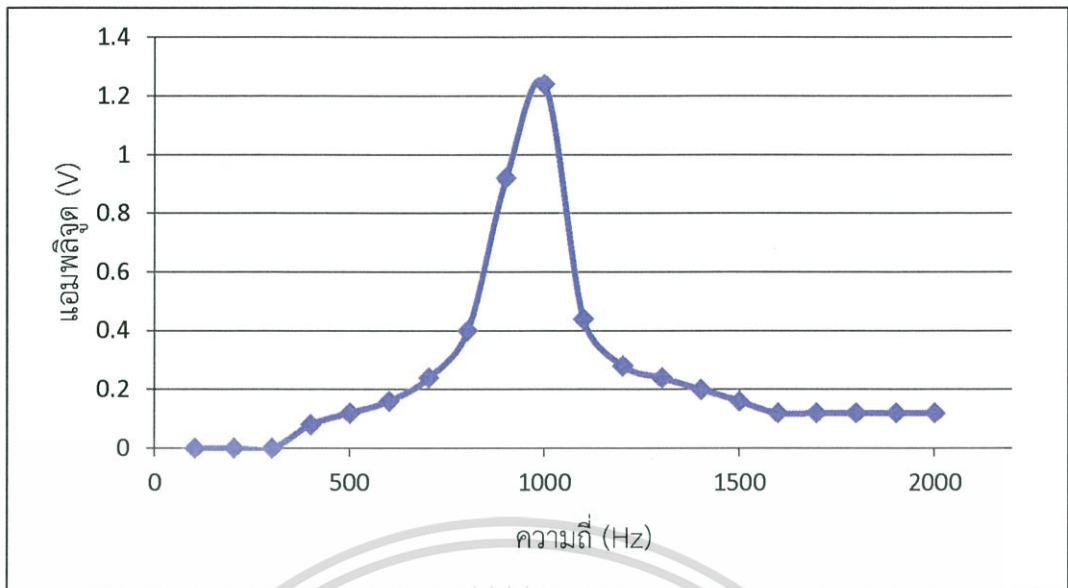


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณ ความถี่สูงแอมพลิจูดเท่ากับ 3 Vpp

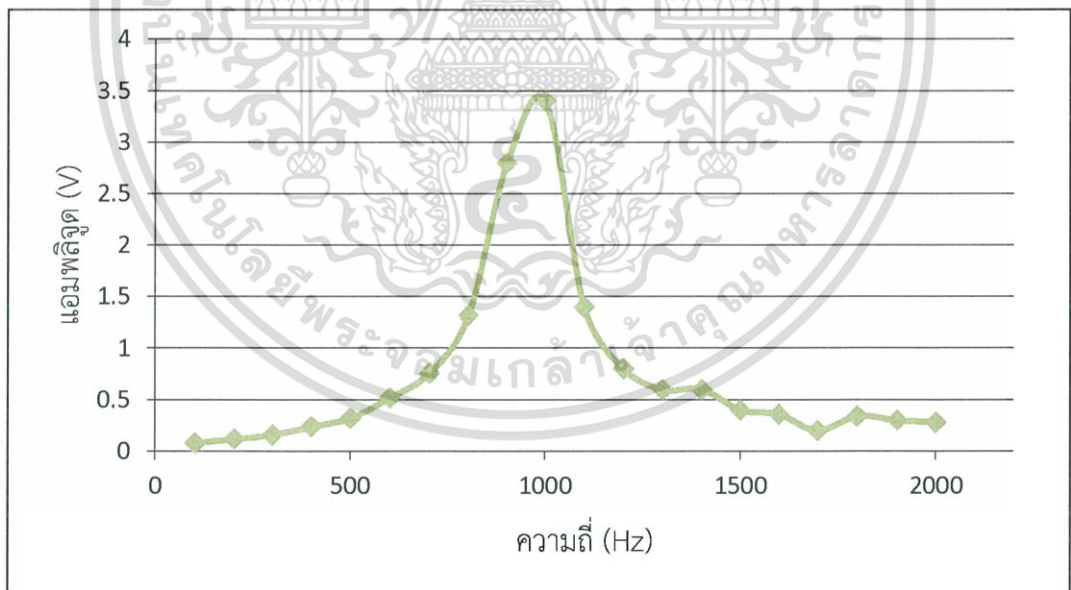


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณ ความถี่สูงแอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

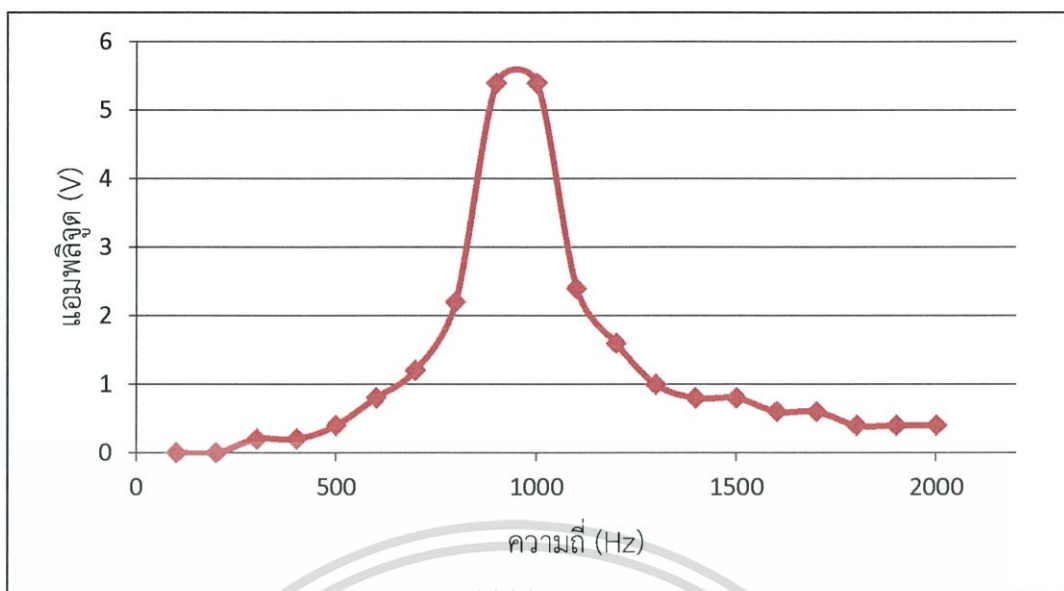


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณ ช่วงความถี่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp

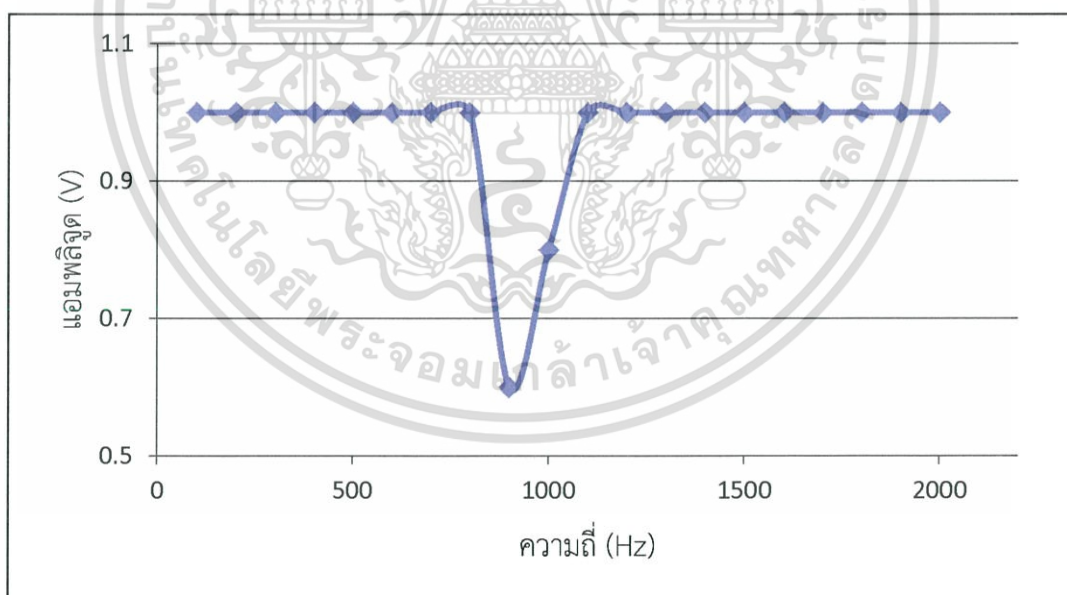


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณ ช่วงความถี่แอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

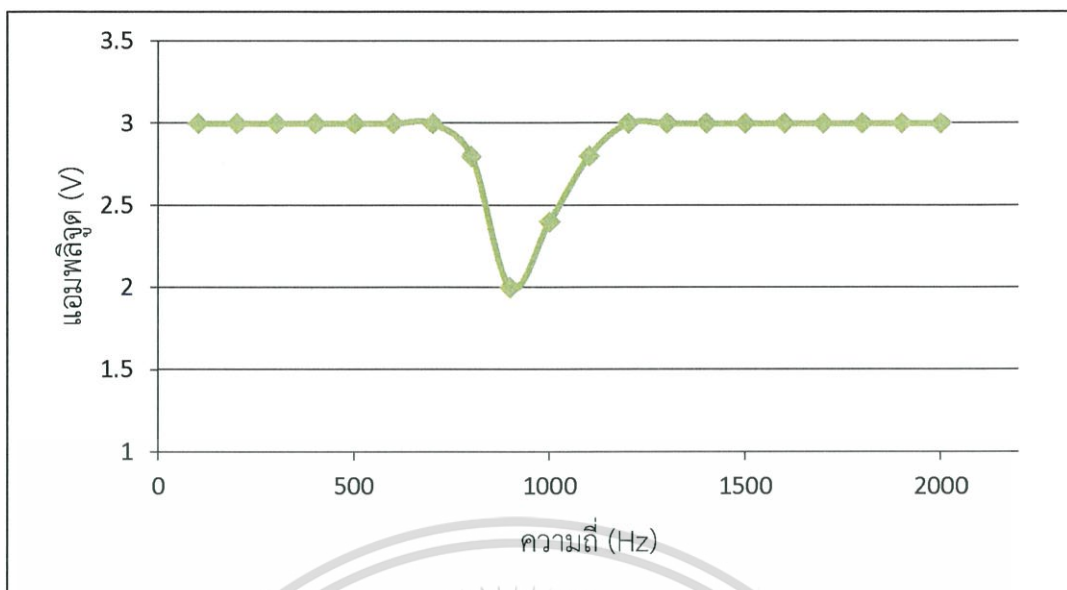


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรกรองสัญญาณ ช่วงความถี่แอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp

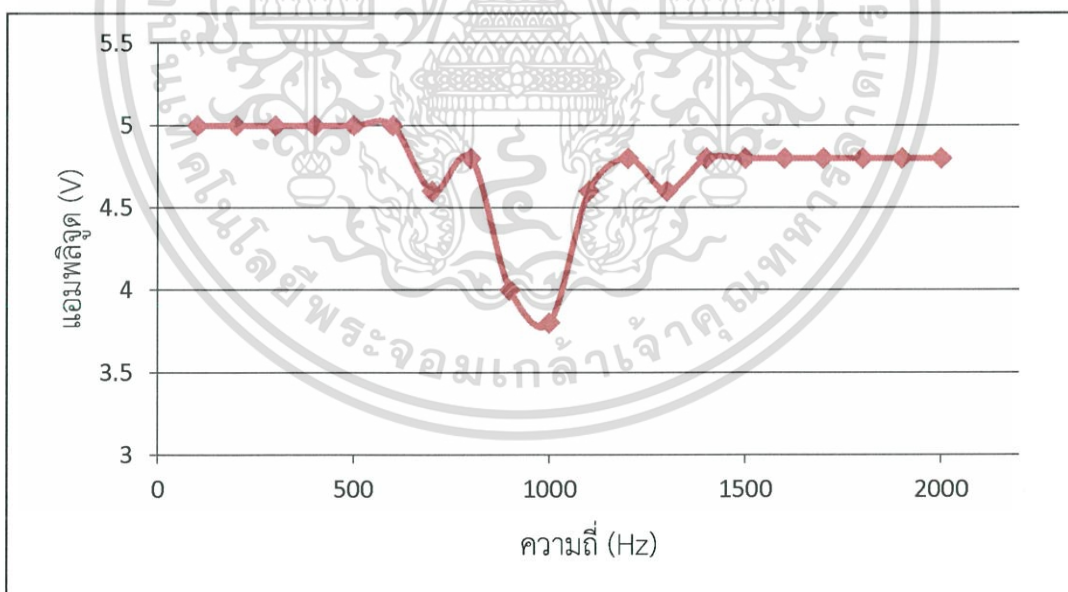


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรลดทอนสัญญาณ ช่วงความถี่แอมพลิจูดเท่ากับ 1 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรลวดทอน สัญญาณช่วงความถี่แอมพลิจูดเท่ากับ 3 Vpp



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (V) กับความถี่ (Hz) ของวงจรลวดทอน สัญญาณช่วงความถี่แอมพลิจูดเท่ากับ 5 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก

จากการทดลองการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมที่ความถี่ 440 Hz ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงความถี่ที่ฮาร์มอนิกต่างๆของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม

| Harmonics (สี่เหลี่ยม) | 1 st | 2 nd | 3 rd | 4 th | 5 th |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ความถี่(Hz) | 441 | - | 1322 | - | 2201 |
| แอมพลิจูด(V) | 5.4 | - | 1.4 | - | 0.8 |

ตารางที่ 4.9 แสดงความถี่ที่ฮาร์มอนิกต่างๆของสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

| Harmonics (สี่เหลี่ยม) | 1 st | 2 nd | 3 rd | 4 th | 5 th |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ความถี่(Hz) | 440 | - | 1320 | - | - |
| แอมพลิจูด(V) | 11 | - | 1.28 | - | - |

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่ 1, 3 และ 5 ของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ซึ่งมีแอมพลิจูดที่แต่ละฮาร์มอนิกเป็น 5.4v, 1.4V และ 0.8V ตามลำดับและสามารถวิเคราะห์หาฮาร์มอนิกของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ฮาร์มอนิกที่ 1 และ 3 ได้ ซึ่งมีแอมพลิจูดเป็น 11V และ 1.28V ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและสร้างชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณที่สามารถสร้างสัญญาณคลื่นรูปไซน์, สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม ในการทดลองนั้น ทำการป้อนความถี่ตั้งแต่ 100 Hz – 2000 Hz และมีแอมพลิจูดเป็น 1 Vpp, 3 Vpp และ 5 Vpp จาก เครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับวงจรกรองสัญญาณทั้ง 4 แบบ ได้แก่ วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ, วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง, วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่และวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ เพื่อดูการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองสัญญาณในแบบต่างๆ และวิเคราะห์หาฮาร์มอนิกของ สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม โดยใช้หลักการของฟูเรียร์ จากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่า ชุดทดลองการวิเคราะห์ฟูเรียร์ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำไปใช้ในการทดลองทางฟิสิกส์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ในการออกแบบวงจรแต่ละวงจรมันควรเลือกค่าของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานให้มีความใกล้เคียงกับการคำนวณมากที่สุด เพื่อให้วงจรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.2. ในการทดลองเรื่องวงจรกรองสัญญาณนั้นไม่ควรทำการทดลองที่ความถี่ใกล้เคียงกัน มากนัก เพราะอาจไม่ทันการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิชาญ เตชิตธีระ และคณะ. คู่มือปฏิบัติการแลปฟิสิกส์พื้นฐาน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] อนุกรมฟูเรียร์. (Online). Available : <http://edltv.vec.go.th/courses/32/10110050.pdf>
Krittin S. Function Generator. (Online). Available : <http://function-generator-05.blogspot.com/>.
- [3] วงจรกรองสัญญาณ. (Online). Available : http://www.kmitl.ac.th/~kpteeraw/data_com/datacom_52/Filter.htm.
- [4] ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า. (Online). Available : http://www.9engineer.com/ee_main/Article/Harmonic.htm.
- [5] อนุกรมฟูเรียร์. (Online). Available : http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~tdumrong/2301312/file_sheet_2555_2nd/312ch10_2555_2nd.pdf.
- [6] อ.รัชวิทย์ เมธีโชติเศรษฐ์ วิทยาลัยเทคนิคลำปาง. การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ. (Online). Available : <http://www.lampanetc.ac.th/lptc/sub-web/racharwit/content/14-content.htm>.
- [7] วงจรกรองสัญญาณ. (Online). Available : http://www.phayaotc.ac.th/files/10032219194101_13121820200647.pdf.
- [8] Datasheet LF351. (Online). Available : <http://fy.chalmers.se/~delsing/SensorerBrus/Lab2/LF351.pdf>
- [9] Datasheet Xr2206. 2015. Datasheet Catalog com. (online). Available : http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/X/R/2/2/XR2206.shtml

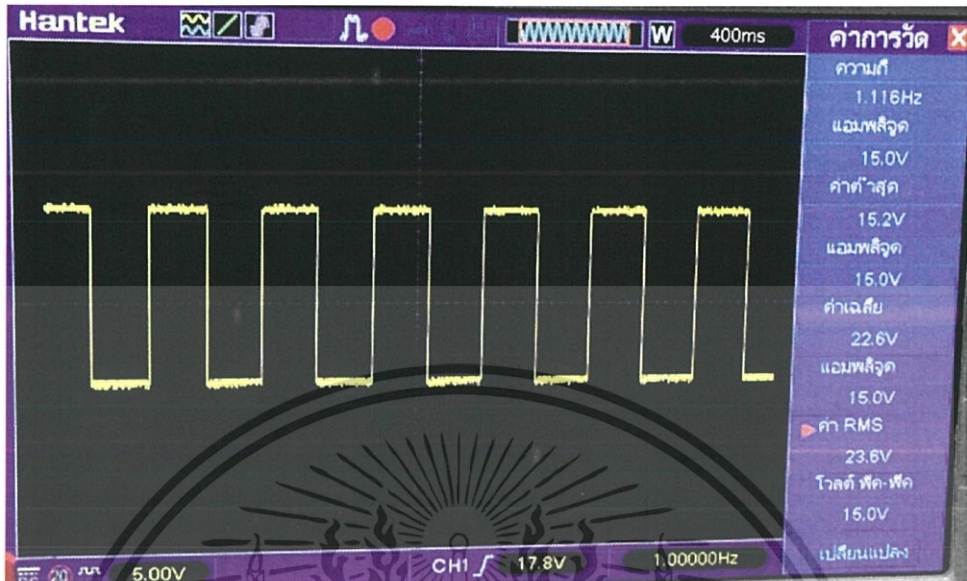
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



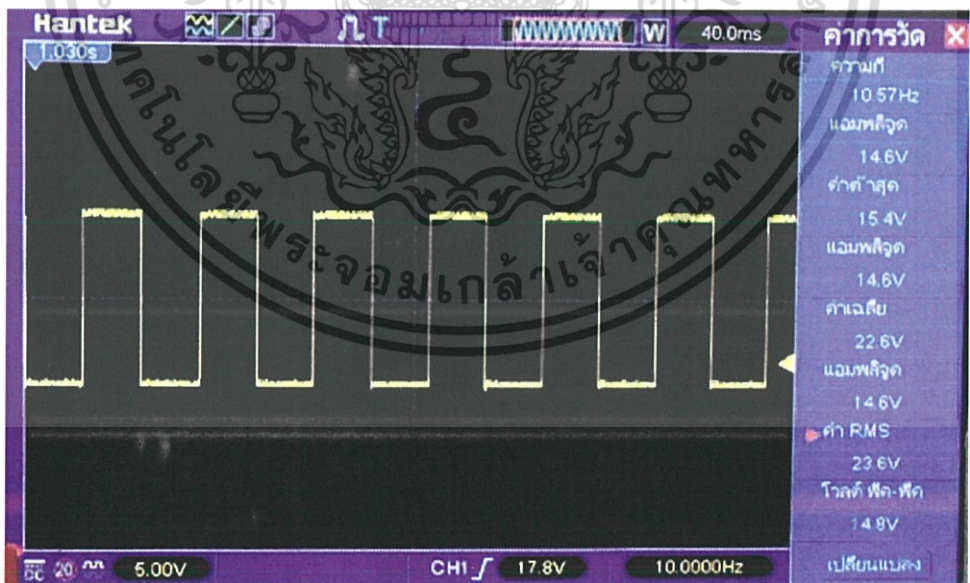
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

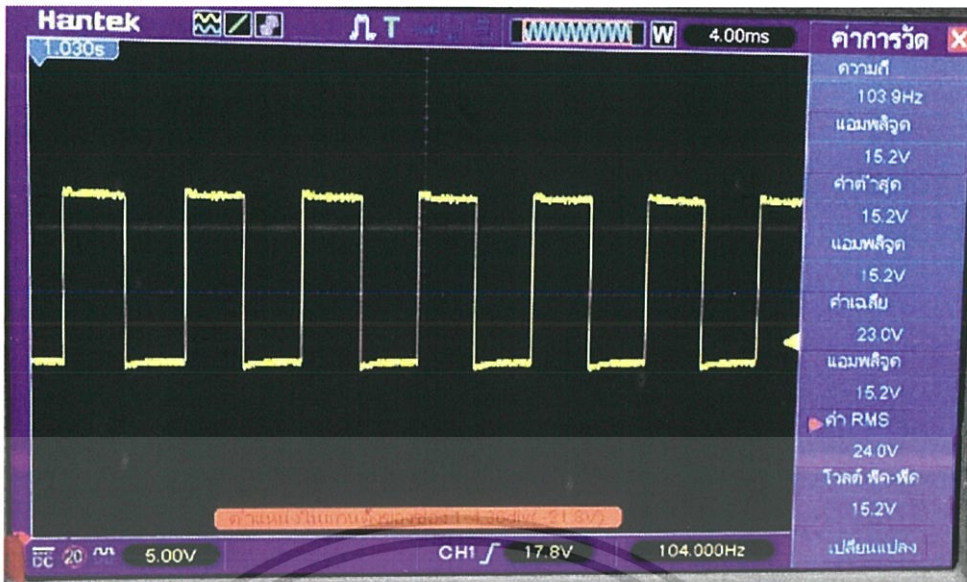


สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 1 Hz

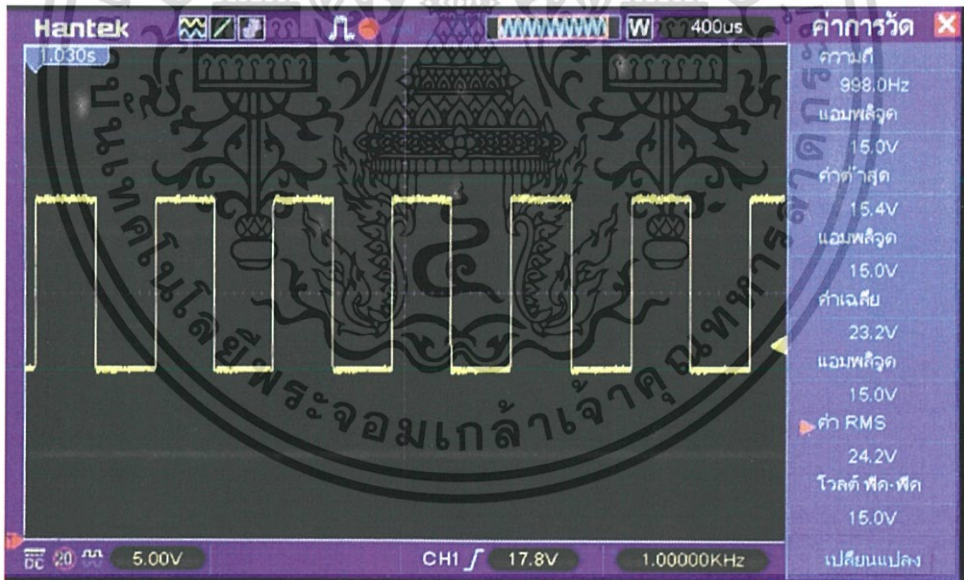


สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 10 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

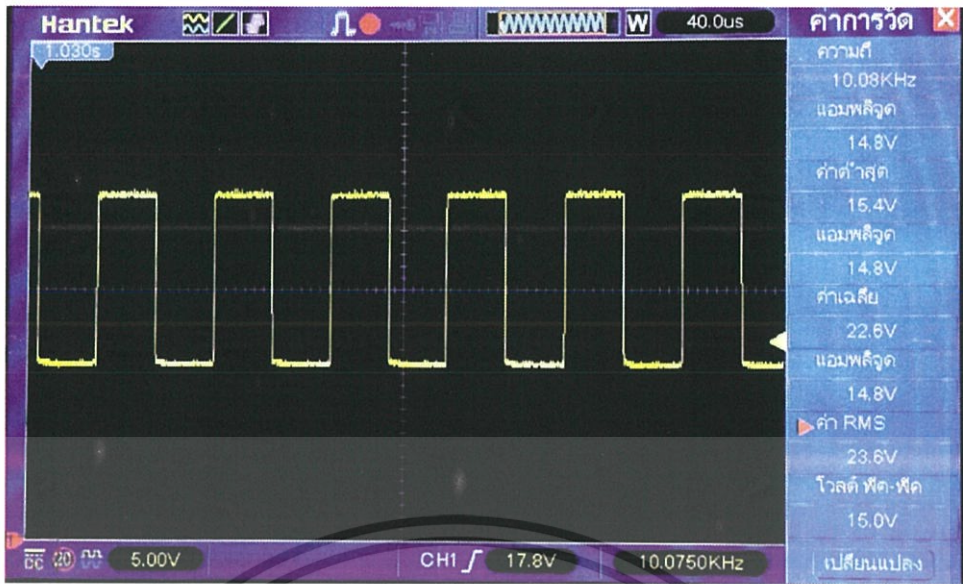


สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 100 Hz

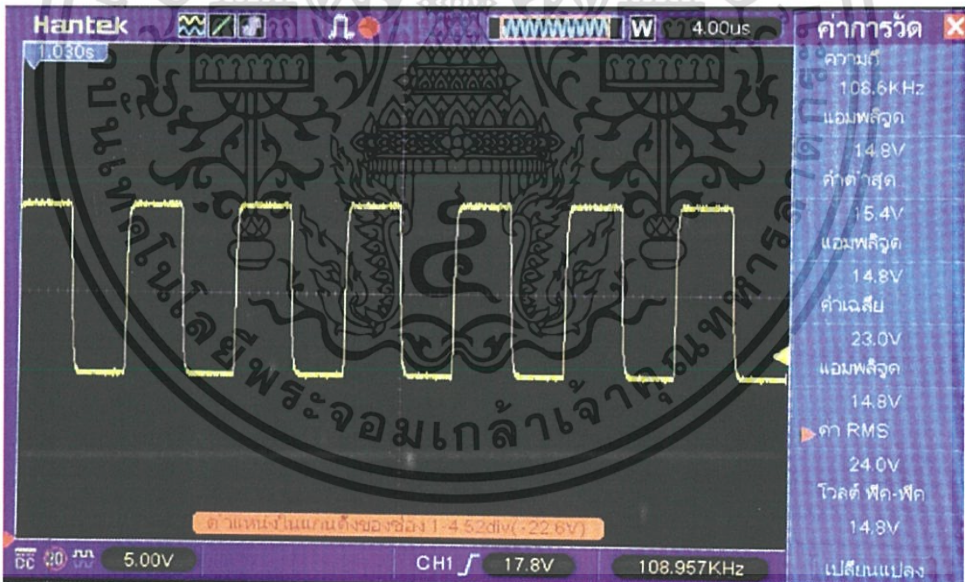


สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

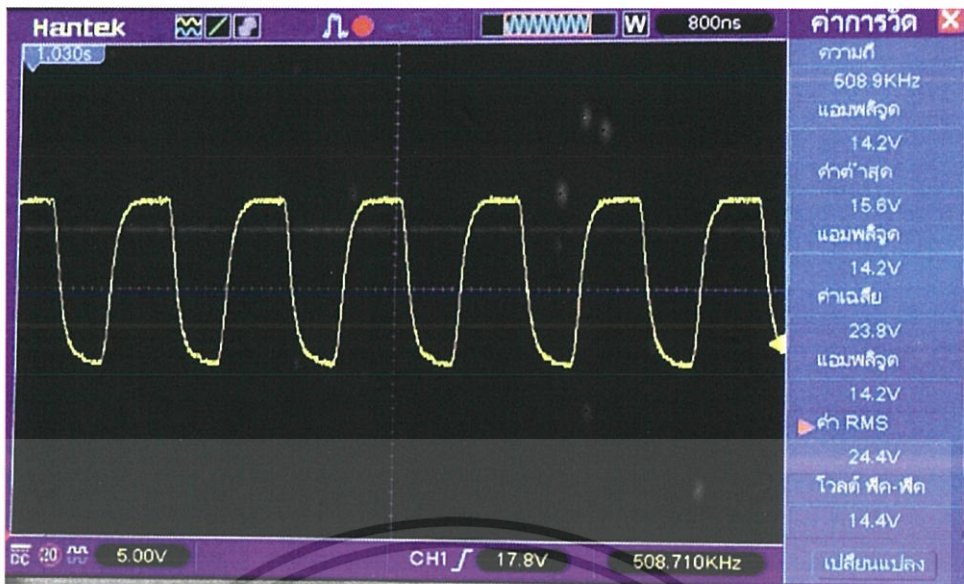


สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 10 kHz



สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 100 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

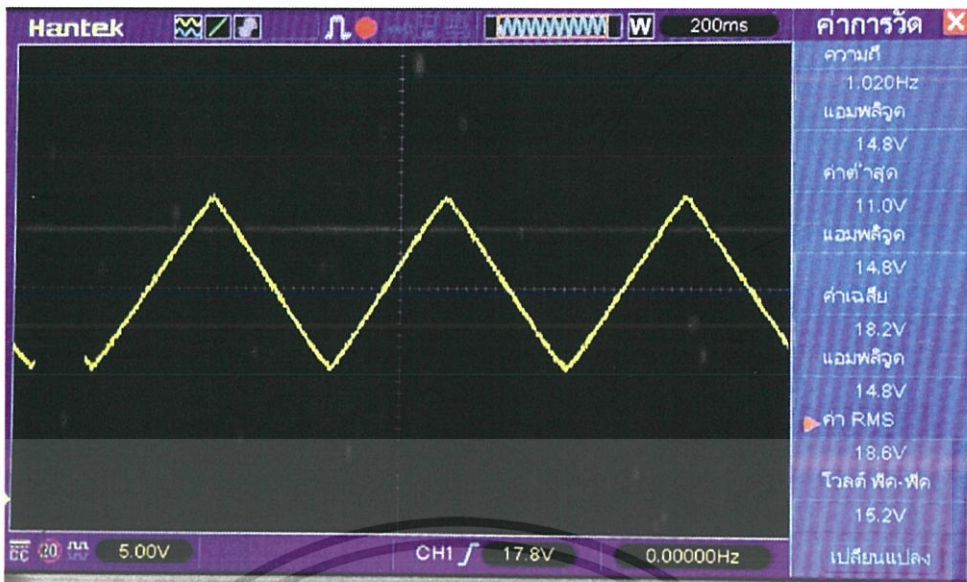


สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 500 kHz

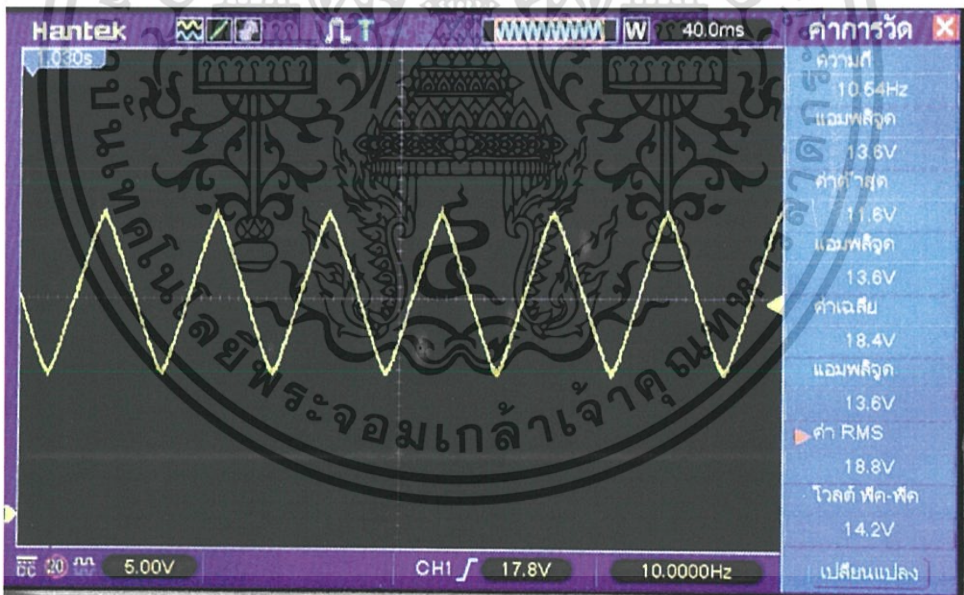


สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ความถี่ 1 Hz

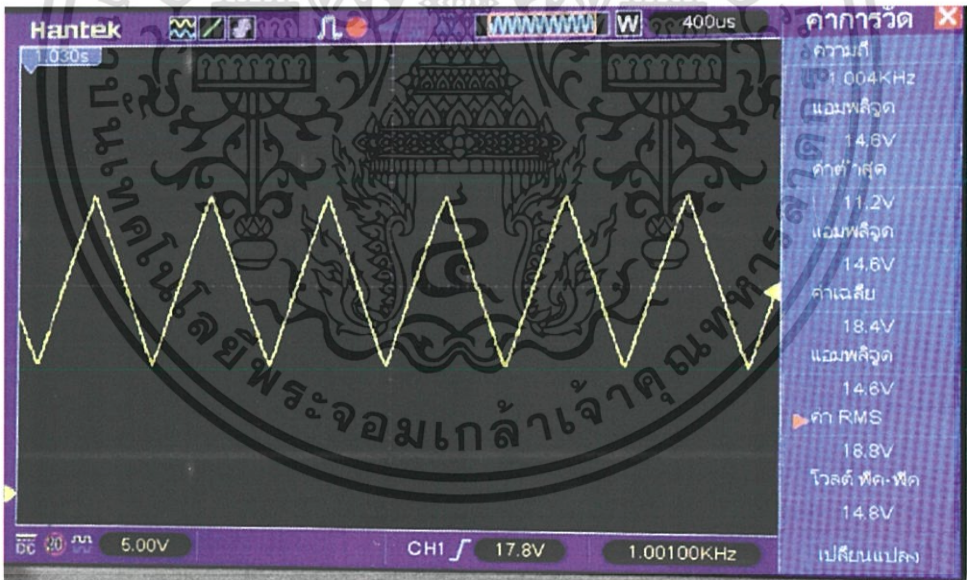


สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ความถี่ 10 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ความถี่ 100 Hz



สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ความถี่ 1 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET IITM technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

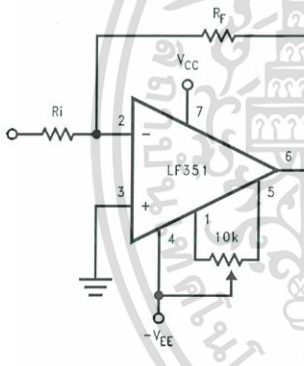
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

Features

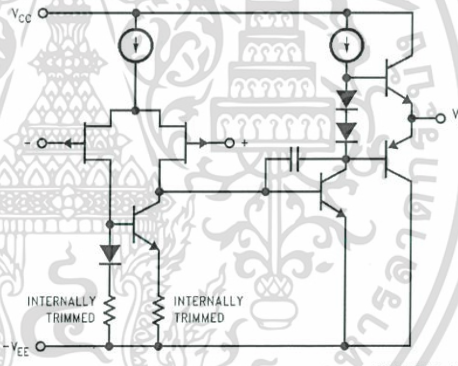
- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion A_V = 10, R_L = 10k, V_O = 20 V_{p-p}, BW = 20 Hz–20 kHz < 0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



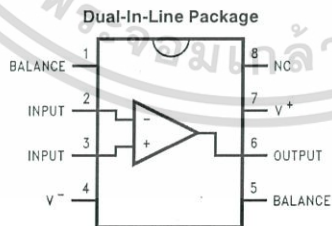
TL/H/5648-11

Simplified Schematic



TL/H/5648-12

Connection Diagrams



TL/H/5648-13

Order Number LF351M or LF351N
See NS Package Number M08A or N08E

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Supply Voltage | ± 18V |
| Power Dissipation (Notes 1 and 6) | 670 mW |
| Operating Temperature Range | 0°C to + 70°C |
| T _j (MAX) | 115°C |
| Differential Input Voltage | ± 30V |
| Input Voltage Range (Note 2) | ± 15V |
| Output Short Circuit Duration | Continuous |
| Storage Temperature Range | - 65°C to + 150°C |
| Lead Temp. (Soldering, 10 sec.) | |
| Metal Can | 300°C |
| DIP | 260°C |

| | | |
|-----------------------|--|---------|
| θ _{JA} | | |
| N Package | | 120°C/W |
| M Package | | TBD |
| Soldering Information | | |
| Dual-In-Line Package | | |
| Soldering (10 sec.) | | 260°C |
| Small Outline Package | | |
| Vapor Phase (60 sec.) | | 215°C |
| Infrared (15 sec.) | | 220°C |

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

DC Electrical Characteristics (Note 3)

| Symbol | Parameter | Conditions | LF351 | | | Units |
|----------------------|------------------------------------|--|-------|------------------|------|-------|
| | | | Min | Typ | Max | |
| V _{OS} | Input Offset Voltage | R _S = 10 kΩ, T _A = 25°C Over Temperature | | 5 | 10 | mV |
| | | | | | 13 | mV |
| ΔV _{OS} /ΔT | Average TC of Input Offset Voltage | R _S = 10 kΩ | | 10 | | μV/°C |
| I _{OS} | Input Offset Current | T _J = 25°C, (Notes 3, 4) T _J ≤ 70°C | | 25 | 100 | pA |
| | | | | | 4 | nA |
| I _B | Input Bias Current | T _J = 25°C, (Notes 3, 4) T _J ≤ ± 70°C | | 50 | 200 | pA |
| | | | | | 8 | nA |
| R _{IN} | Input Resistance | T _J = 25°C | | 10 ¹² | | Ω |
| A _{VOL} | Large Signal Voltage Gain | V _S = ± 15V, T _A = 25°C V _O = ± 10V, R _L = 2 kΩ Over Temperature | | 25 | 100 | V/mV |
| | | | | | 15 | V/mV |
| V _O | Output Voltage Swing | V _S = ± 15V, R _L = 10 kΩ | ± 12 | ± 13.5 | | V |
| V _{CM} | Input Common-Mode Voltage Range | V _S = ± 15V | | + 15 | | V |
| | | | | ± 11 | - 12 | V |
| CMRR | Common-Mode Rejection Ratio | R _S ≤ 10 kΩ | 70 | 100 | | dB |
| PSRR | Supply Voltage Rejection Ratio | (Note 5) | 70 | 100 | | dB |
| I _S | Supply Current | | | 1.8 | 3.4 | mA |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 3)

| Symbol | Parameter | Conditions | LF351 | | | Units |
|--------|--------------------------------|--|-------|------|-----|----------------|
| | | | Min | Typ | Max | |
| SR | Slew Rate | $V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$ | | 13 | | $V/\mu s$ |
| GBW | Gain Bandwidth Product | $V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$ | | 4 | | MHz |
| e_n | Equivalent Input Noise Voltage | $T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega, f = 1000 \text{ Hz}$ | | 25 | | nV/\sqrt{Hz} |
| i_n | Equivalent Input Noise Current | $T_j = 25^\circ C, f = 1000 \text{ Hz}$ | | 0.01 | | pA/\sqrt{Hz} |

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance, θ_{JA} .

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$. V_{OS} , I_B and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

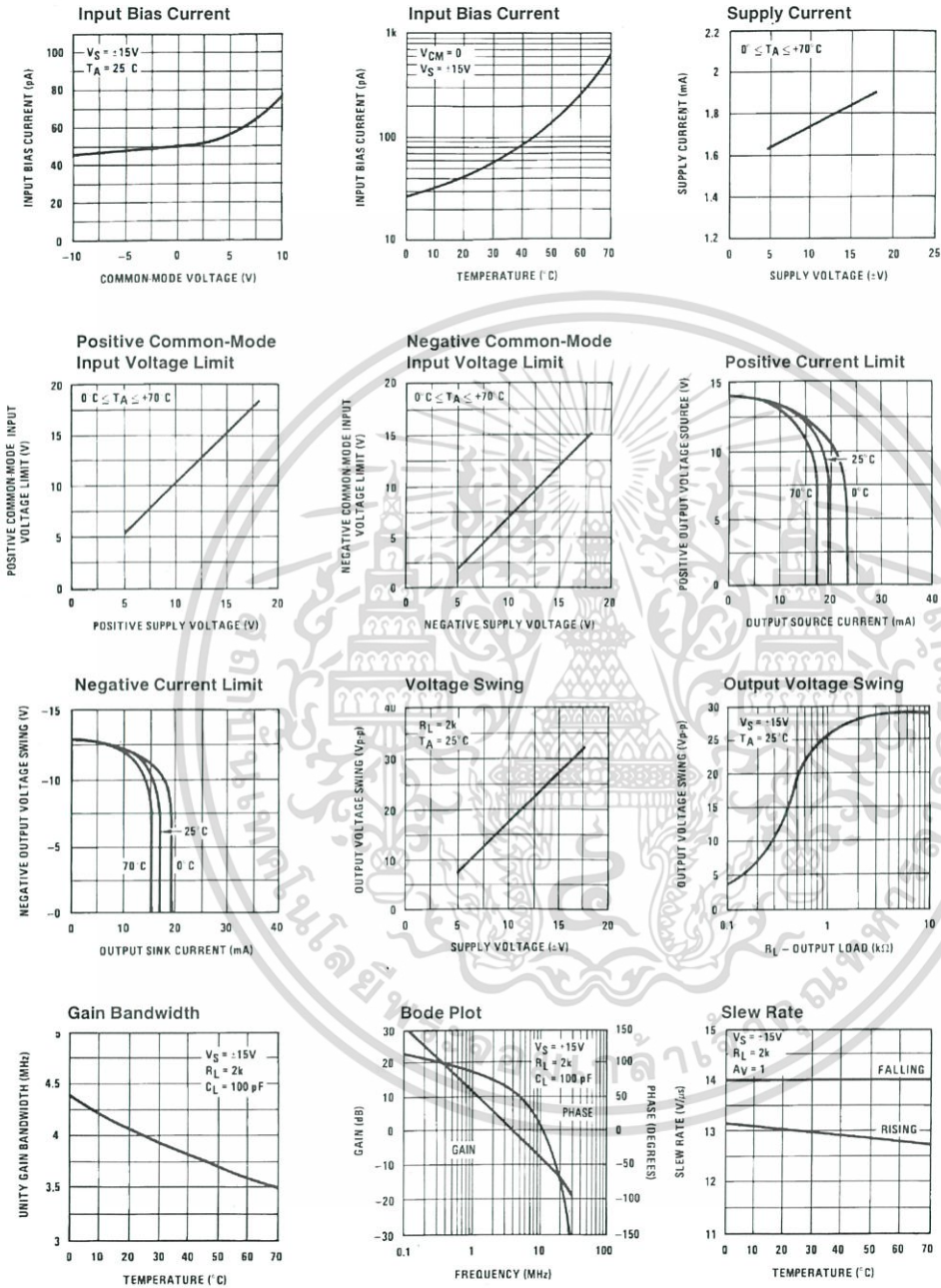
Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every $10^\circ C$ increase in the junction temperature, T_j . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D . $T_j = T_A + \theta_{JA} P_D$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From $\pm 15V$ to $\pm 5V$.

Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.



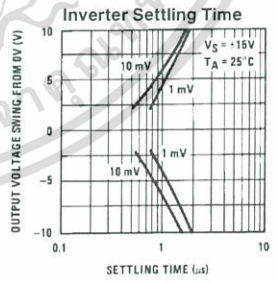
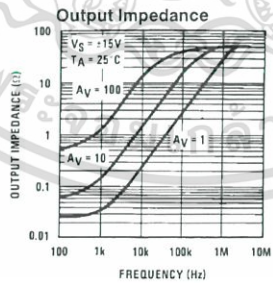
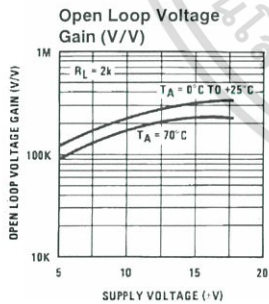
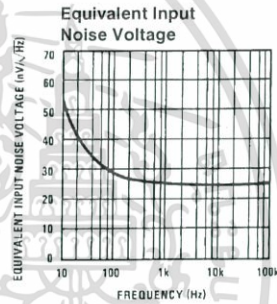
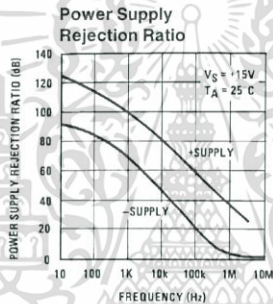
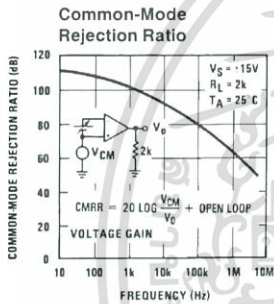
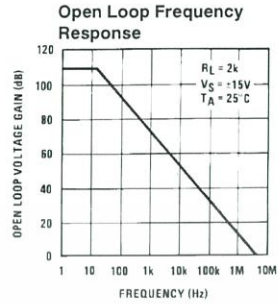
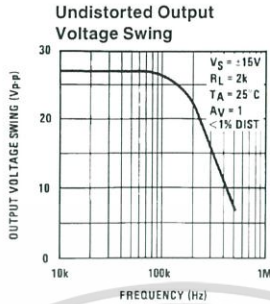
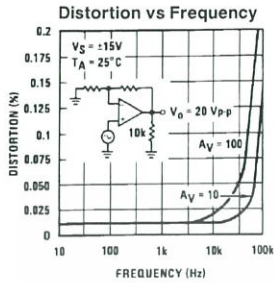
Typical Performance Characteristics



TL/H/5648-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

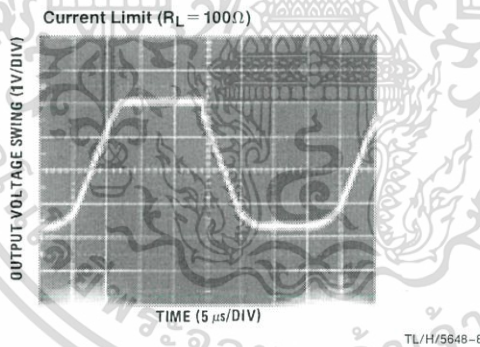
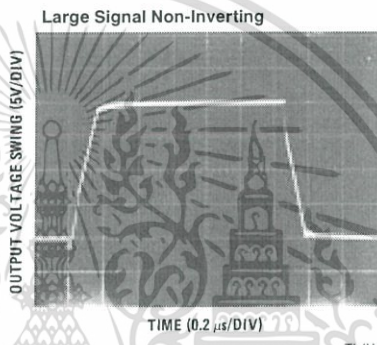
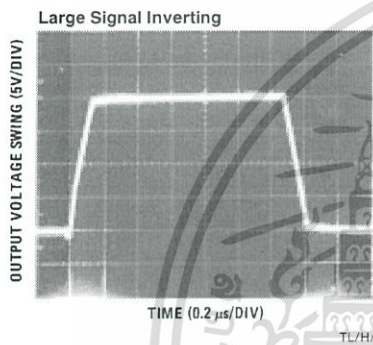
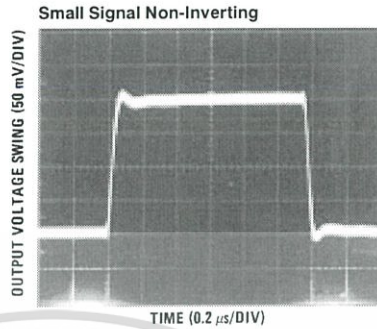
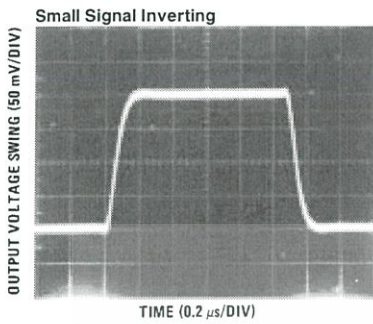
Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/5648-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulse Response



Application Hints

The LF351 is an op amp with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II™). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will

cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output.

Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the

Application Hints (Continued)

common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifier will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

The LF351 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 4V$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The LF351 will drive a 2 k Ω load resistance to $\pm 10V$ over the full temperature range of 0°C to +70°C. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

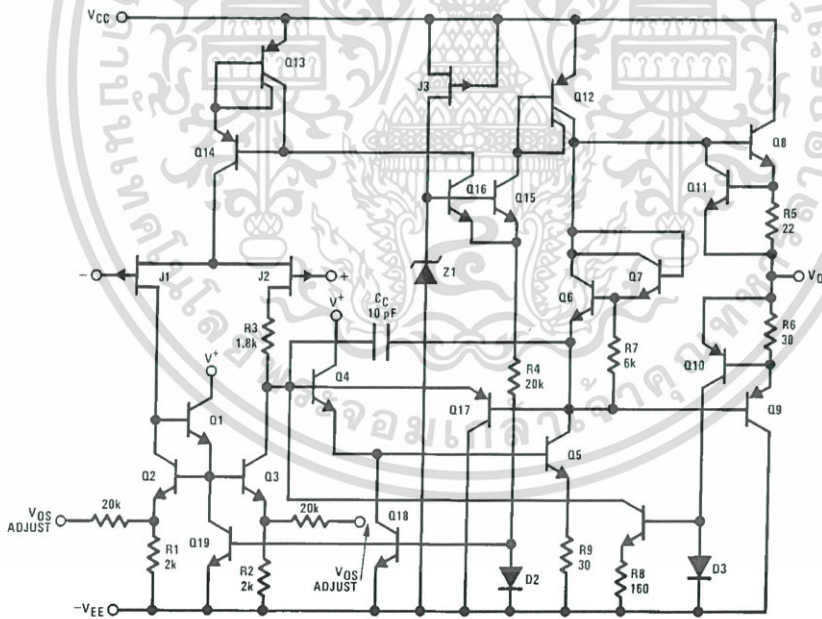
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed back-

wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

Detailed Schematic

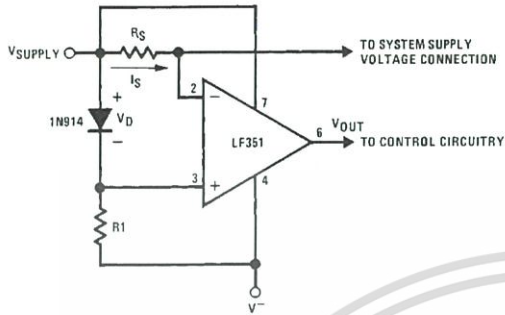


TL/H/5648-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

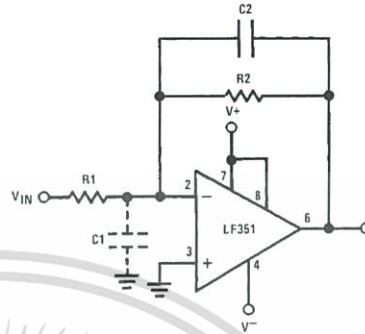
Typical Applications

Supply Current Indicator/Limiter



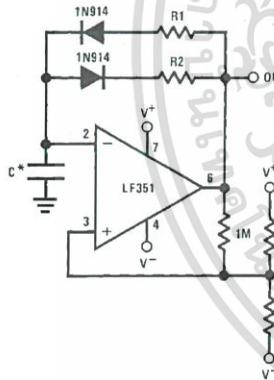
• V_{OUT} switches high when $R_{S I_S} > V_D$

Hi- Z_{IN} Inverting Amplifier



Parasitic input capacitance $C_1 \approx (3 \text{ pF for LF351 plus any additional layout capacitance})$ interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add C_2 such that: $R_2 C_2 \approx R_1 C_1$.

Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



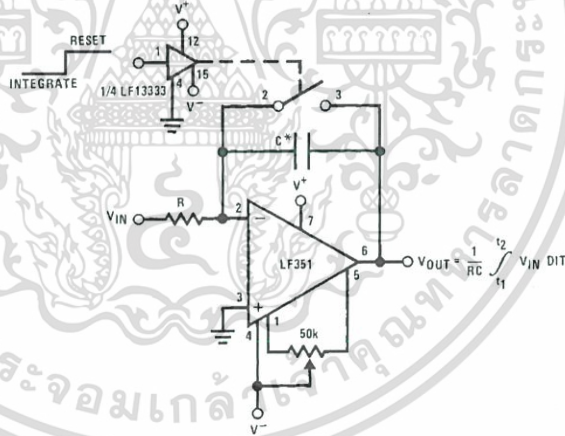
• $t_{OUTPUT \text{ HIGH}} \approx R_1 C \ln \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$

• $t_{OUTPUT \text{ LOW}} \approx R_2 C \ln \frac{2V_S - 7.8}{V_S - 7.8}$

where $V_S = V^+ + |V^-|$

*low leakage capacitor

Long Time Integrator

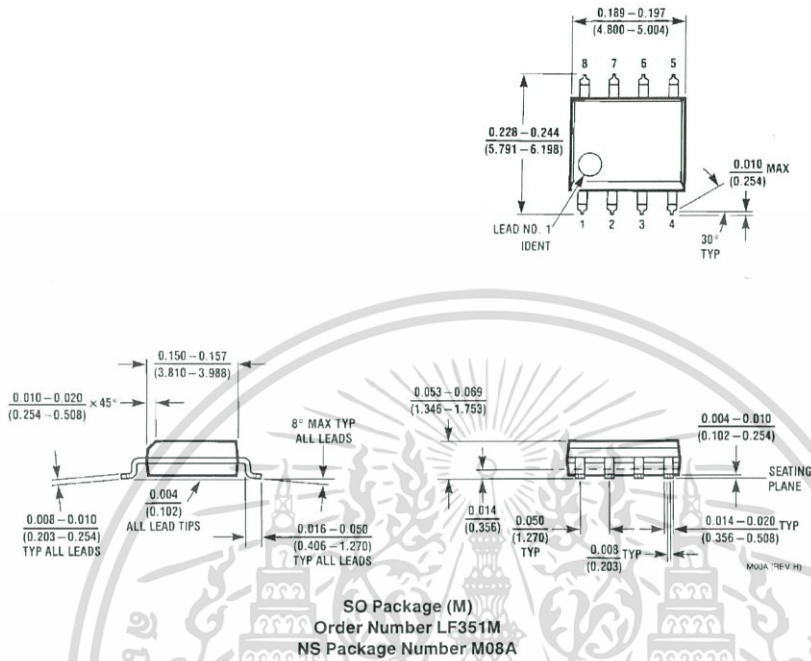


*Low leakage capacitor

• 50k pot used for less sensitive V_{OS} adjust

TL/H/5648-10

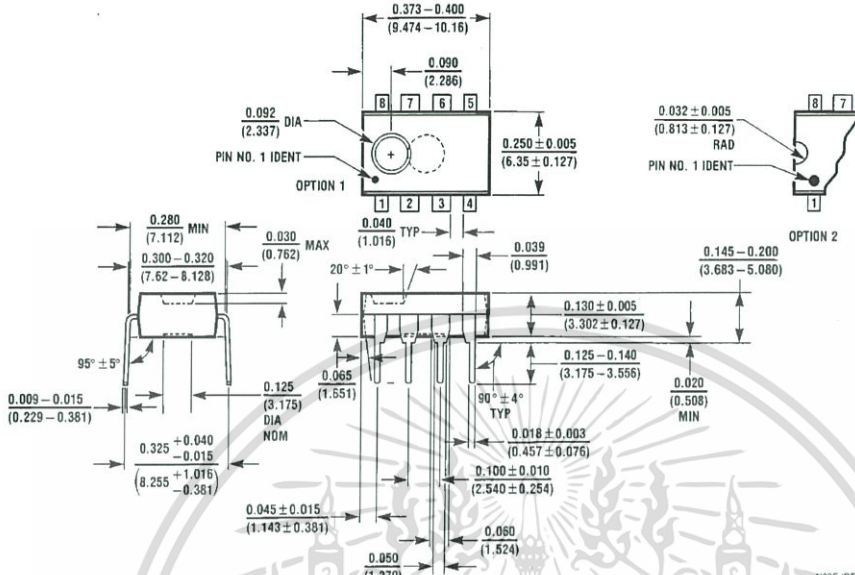
Physical Dimensions inches (millimeters)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number LF351N
 NS Package Number N08E

N08E (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

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

| | | | |
|--|--|---|---|
|  <p>National Semiconductor Corporation 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: 1(800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p> | <p>National Semiconductor Europe Fax: (+49) 0-180-530 85 86 Email: cnjwge@tevm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80</p> | <p>National Semiconductor Hong Kong Ltd. 13th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1600 Fax: (852) 2736-9960</p> | <p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p> |
|--|--|---|---|

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

| Part No. | Package | Operating Temperature Range |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|
| XR-2206M | 16 Lead 300 Mil CDIP | -55°C to +125°C |
| XR-2206P | 16 Lead 300 Mil PDIP | -40°C to +85°C |
| XR-2206CP | 16 Lead 300 Mil PDIP | 0°C to +70°C |
| XR-2206D | 16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC | 0°C to +70°C |

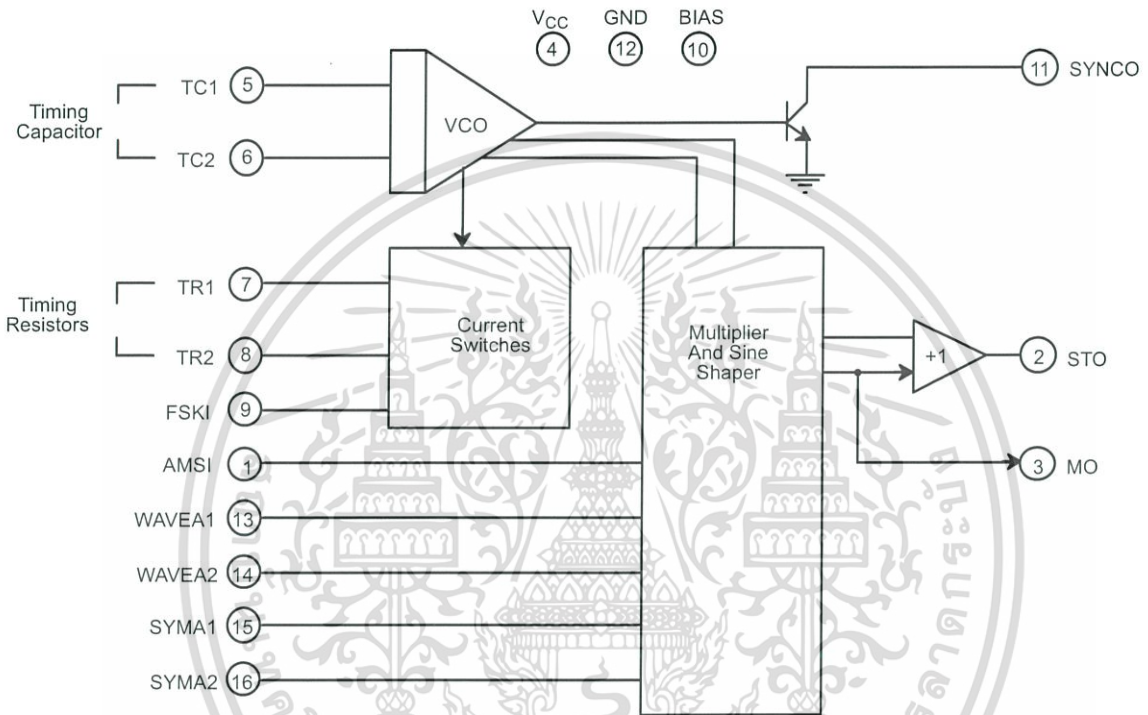
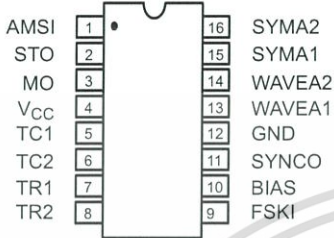
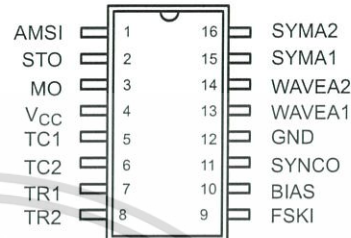


Figure 1. XR-2206 Block Diagram



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

| Pin # | Symbol | Type | Description |
|-------|-----------------|------|--|
| 1 | AMSI | I | Amplitude Modulating Signal Input. |
| 2 | STO | O | Sine or Triangle Wave Output. |
| 3 | MO | O | Multiplier Output. |
| 4 | V _{CC} | | Positive Power Supply. |
| 5 | TC1 | I | Timing Capacitor Input. |
| 6 | TC2 | I | Timing Capacitor Input. |
| 7 | TR1 | O | Timing Resistor 1 Output. |
| 8 | TR2 | O | Timing Resistor 2 Output. |
| 9 | FSKI | I | Frequency Shift Keying Input. |
| 10 | BIAS | O | Internal Voltage Reference. |
| 11 | SYNCO | O | Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} . |
| 12 | GND | | Ground pin. |
| 13 | WAVEA1 | I | Wave Form Adjust Input 1. |
| 14 | WAVEA2 | I | Wave Form Adjust Input 2. |
| 15 | SYMA1 | I | Wave Symetry Adjust 1. |
| 16 | SYMA2 | I | Wave Symetry Adjust 2. |

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 2 $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

| Parameters | XR-2206M/P | | | XR-2206CP/D | | | Units | Conditions |
|--|---------------------------|----------|----------------------------|-------------|----------|----------|------------------|---|
| | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | | |
| General Characteristics | | | | | | | | |
| Single Supply Voltage | 10 | | 26 | 10 | | 26 | V | |
| Split-Supply Voltage | ± 5 | | ± 13 | ± 5 | | ± 13 | V | |
| Supply Current | | 12 | 17 | | 14 | 20 | mA | $R_1 \geq 10k\Omega$ |
| Oscillator Section | | | | | | | | |
| Max. Operating Frequency | 0.5 | 1 | | 0.5 | 1 | | MHz | $C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$ |
| Lowest Practical Frequency | | 0.01 | | | 0.01 | | Hz | $C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$ |
| Frequency Accuracy | | ± 1 | ± 4 | | ± 2 | | % of f_0 | $f_0 = 1/R_1C$ |
| Temperature Stability Frequency | | ± 10 | ± 50 | | ± 20 | | ppm/ $^\circ C$ | $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$ |
| Sine Wave Amplitude Stability ² | | 4800 | | | 4800 | | ppm/ $^\circ C$ | |
| Supply Sensitivity | | 0.01 | 0.1 | | 0.01 | | %/V | $V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$ |
| Sweep Range | 1000:1 | 2000:1 | | | 2000:1 | | $f_H = f_L$ | $f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$ |
| Sweep Linearity | | | | | | | | |
| 10:1 Sweep | | 2 | | | 2 | | % | $f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$ |
| 1000:1 Sweep | | 8 | | | 8 | | % | $f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$ |
| FM Distortion | | 0.1 | | | 0.1 | | % | $\pm 10\%$ Deviation |
| Recommended Timing Components | | | | | | | | |
| Timing Capacitor: C | 0.001 | | 100 | 0.001 | | 100 | μF | Figure 5 |
| Timing Resistors: R_1 & R_2 | 1 | | 2000 | 1 | | 2000 | k Ω | |
| Triangle Sine Wave Output¹ | | | | | | | | |
| Triangle Amplitude | | 160 | | | 160 | | mV/k Ω | Figure 2, S_1 Open |
| Sine Wave Amplitude | 40 | 60 | 80 | | 60 | | mV/k Ω | Figure 2, S_1 Closed |
| Max. Output Swing | | 6 | | | 6 | | V _{p-p} | |
| Output Impedance | | 600 | | | 600 | | Ω | |
| Triangle Linearity | | 1 | | | 1 | | % | |
| Amplitude Stability | | 0.5 | | | 0.5 | | dB | For 1000:1 Sweep |
| Sine Wave Distortion | | | | | | | | |
| Without Adjustment | | 2.5 | | | 2.5 | | % | $R_1 = 30k\Omega$ |
| With Adjustment | | 0.4 | 1.0 | | 0.5 | 1.5 | % | See Figure 7 and Figure 8 |

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

| Parameters | XR-2206M/P | | | XR-2206CP/D | | | Units | Conditions |
|-----------------------------|------------|------------|------------|-------------|------|------------|-------|---------------------------------|
| | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | | |
| Amplitude Modulation | | | | | | | | |
| Input Impedance | 50 | 100 | | 50 | 100 | | kΩ | |
| Modulation Range | | 100 | | | 100 | | % | |
| Carrier Suppression | | 55 | | | 55 | | dB | |
| Linearity | | 2 | | | 2 | | % | For 95% modulation |
| Square-Wave Output | | | | | | | | |
| Amplitude | | 12 | | | 12 | | Vp-p | Measured at Pin 11. |
| Rise Time | | 250 | | | 250 | | ns | $C_L = 10\text{pF}$ |
| Fall Time | | 50 | | | 50 | | ns | $C_L = 10\text{pF}$ |
| Saturation Voltage | | 0.2 | 0.4 | | 0.2 | 0.6 | V | $I_L = 2\text{mA}$ |
| Leakage Current | | 0.1 | 20 | | 0.1 | 100 | μA | $V_{CC} = 26\text{V}$ |
| FSK Keying Level (Pin 9) | 0.8 | 1.4 | 2.4 | 0.8 | 1.4 | 2.4 | V | See section on circuit controls |
| Reference Bypass Voltage | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 2.5 | 3 | 3.5 | V | Measured at Pin 10. |

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | | | |
|-------------------|--------|----------------------|-----------------|
| Power Supply | 26V | Total Timing Current | 6mA |
| Power Dissipation | 750mW | Storage Temperature | -65°C to +150°C |
| Derate Above 25°C | 5mW/°C | | |

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

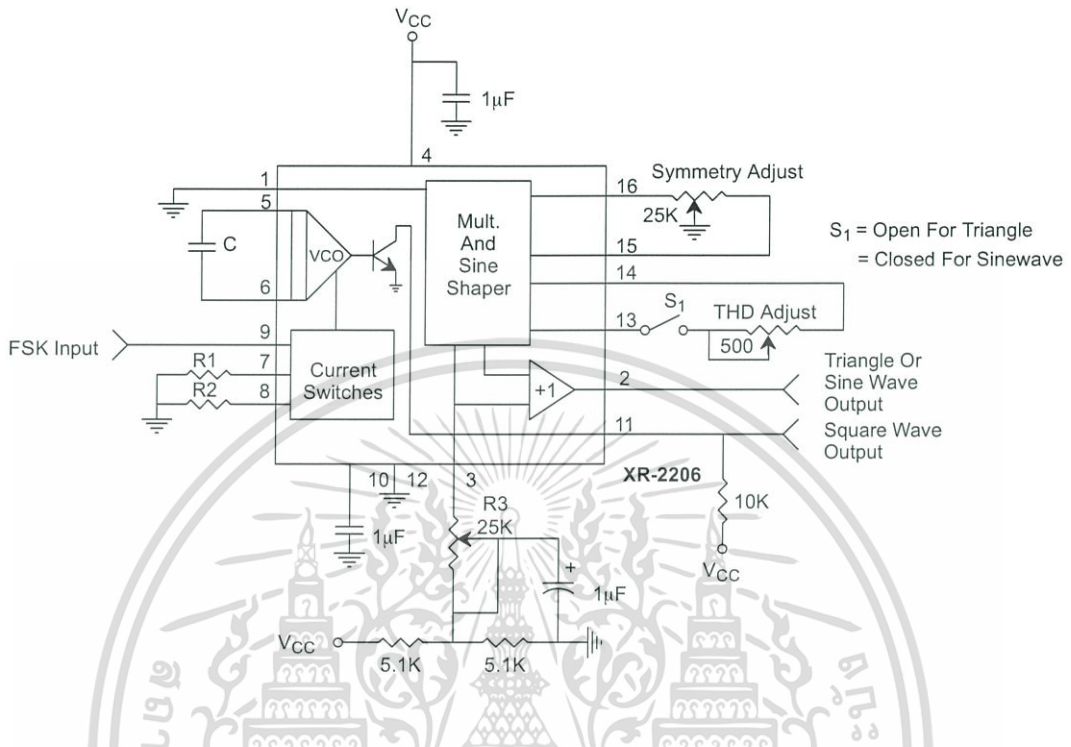


Figure 2. Basic Test Circuit

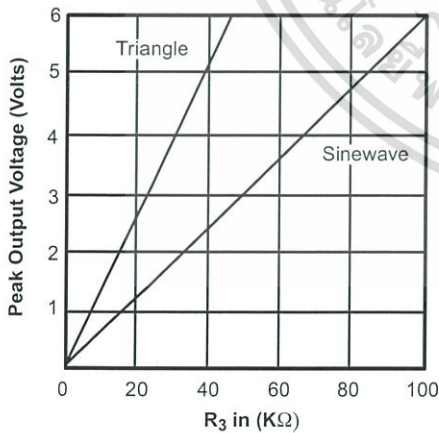


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

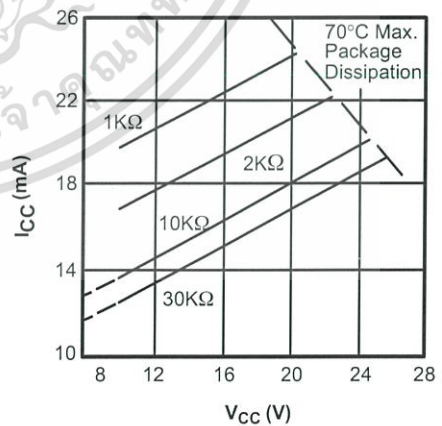


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

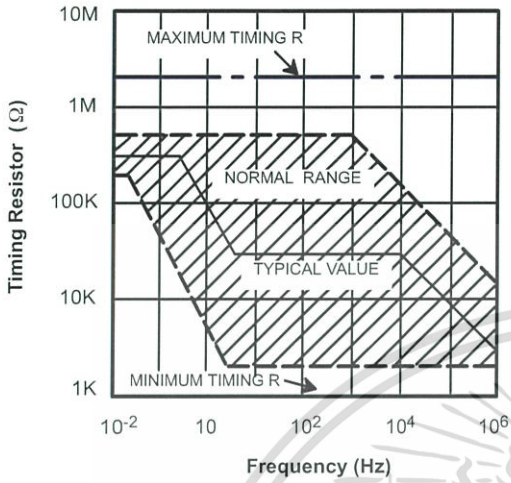


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

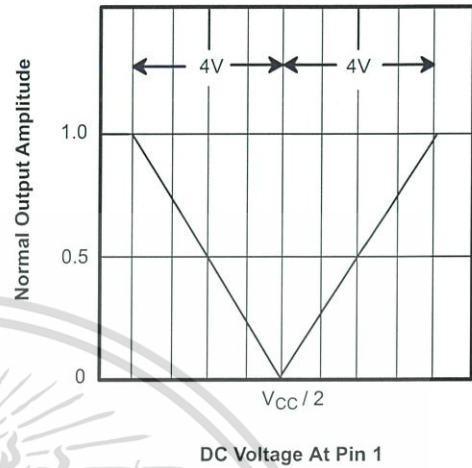


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

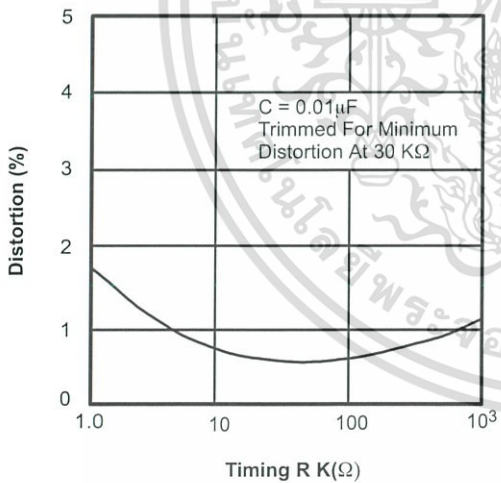


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

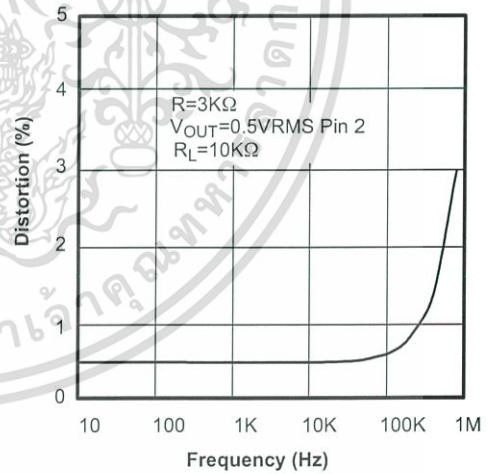


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

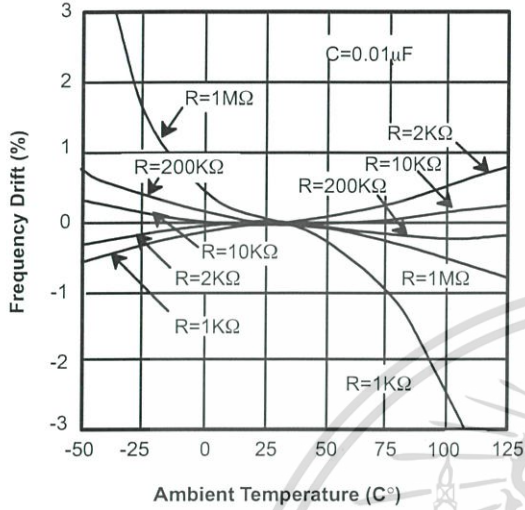


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

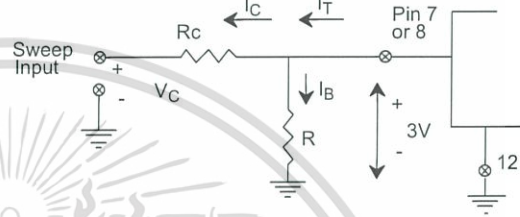


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

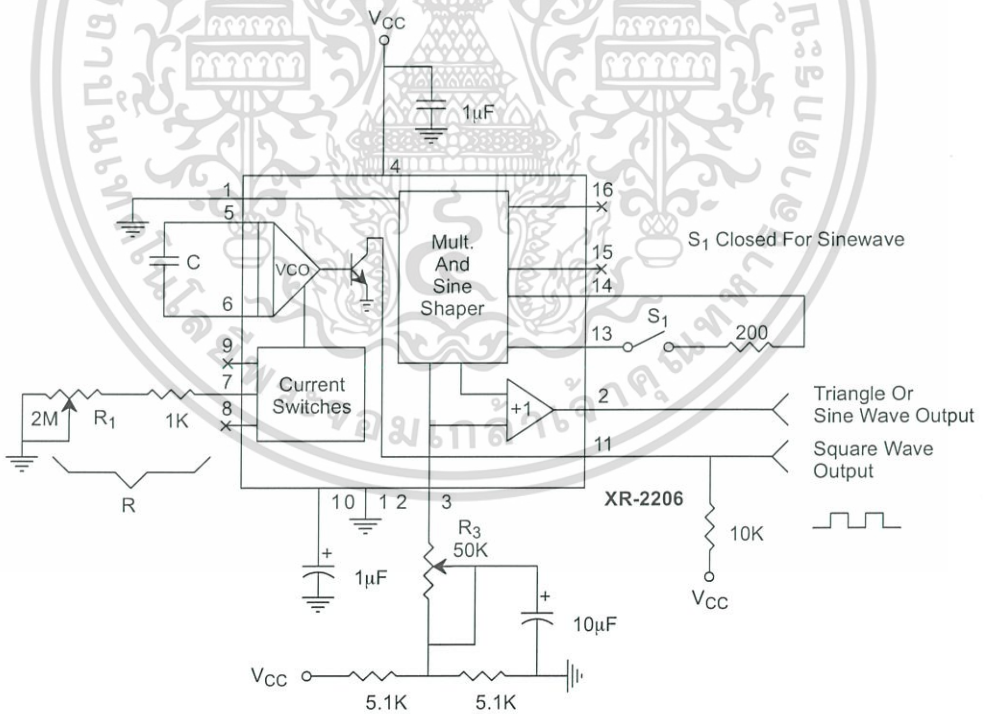


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 3 for Choice of R₃)

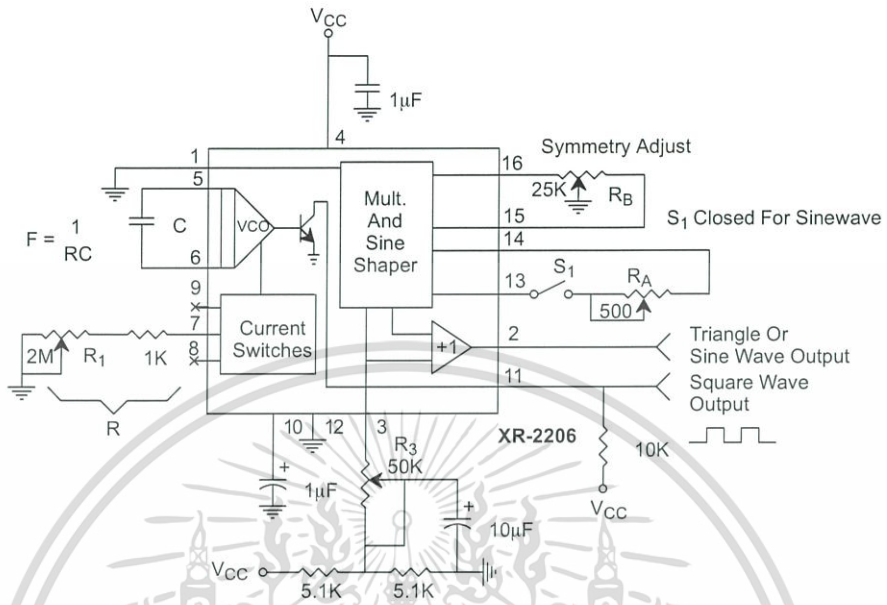


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. (R_3 Determines Output Swing - See Figure 3)

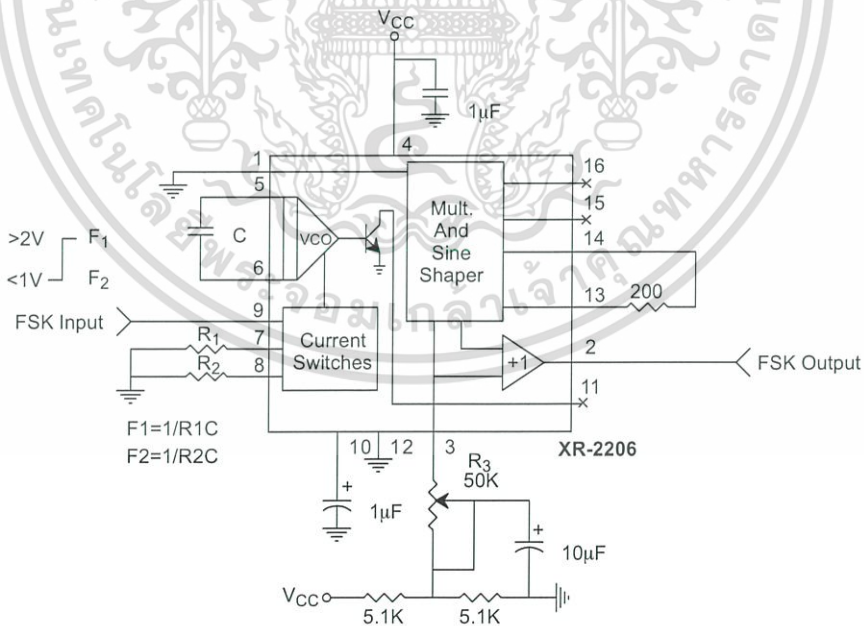


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

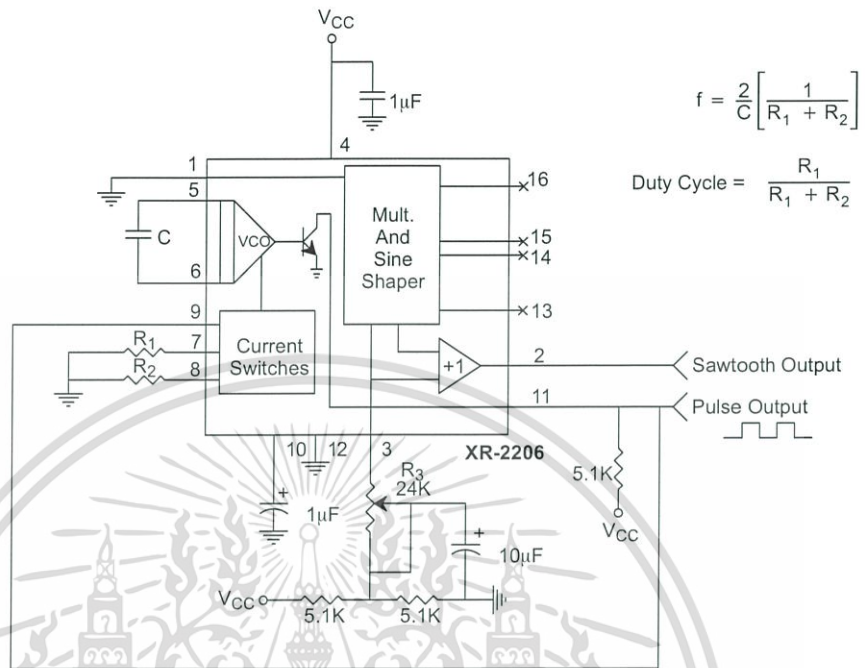


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

Frequency-Shift Keying

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2 , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 13. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage $\geq 2V$, only R_1 is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is $\leq 1V$, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels. f_1 and f_2 , as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to V^- .

Output DC Level Control

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figure 11, Figure 12 and Figure 13, Pin 3 is biased midway between V^+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment

Figure 11 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_3 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is $< 2.5\%$. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 11 can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^- . For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to -0.5% by additional adjustments as shown in Figure 12. The potentiometer, R_A , adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set R_B at midpoint and adjust R_A for minimum distortion.
2. With R_A set as above, adjust R_B to further reduce distortion.

Triangle Wave Generation

The circuits of Figure 11 and Figure 12 can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 13 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors, R_1 and R_2 ; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V^- .

Pulse and Ramp Generation

Figure 14 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R_1 and R_2 . The values of R_1 and R_2 should be in the range of $1k\Omega$ to $2M\Omega$.

PRINCIPLES OF OPERATION

Description of Controls

Frequency of Operation:

The frequency of oscillation, f_0 , is determined by the external timing capacitor, C , across Pin 5 and 6, and by the timing resistor, R , connected to either Pin 7 or 8. The frequency is given as:

$$f_0 = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either R or C . The recommended values of R , for a given frequency range, as shown in Figure 5. Temperature stability is optimum for $4k\Omega < R < 200k\Omega$. Recommended values of C are from $1000pF$ to $100\mu F$.

Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current, I_T , drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320I_T(\text{mA})}{C(\mu F)} \text{ Hz}$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at +3V, with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with I_T , over a wide range of current values, from $1\mu A$ to $3mA$. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C , to the activated timing pin as shown in Figure 10. The frequency of oscillation is related to V_C as:

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_C}{3} \right) \right) \text{ Hz}$$

where V_C is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain, K , is given as:

$$K = \partial f / \partial V_C = - \frac{0.32}{R_c C} \text{ Hz/V}$$

CAUTION: For safety operation of the circuit, I_T should be limited to $\leq 3mA$.

Output Amplitude:

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor, R_3 , connected to Pin 3 (see Figure 3). For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per k Ω of R_3 ; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per k Ω of R_3 . Thus, for example, $R_3 = 50\text{k}\Omega$ would produce approximately 13V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance

at Pin 1 is approximately 100k Ω . Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within 14 volts of $V_{CC}/2$ as shown in Figure 6. As this bias level approaches $V_{CC}/2$, the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55dB.

CAUTION: AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of V_{CC} .

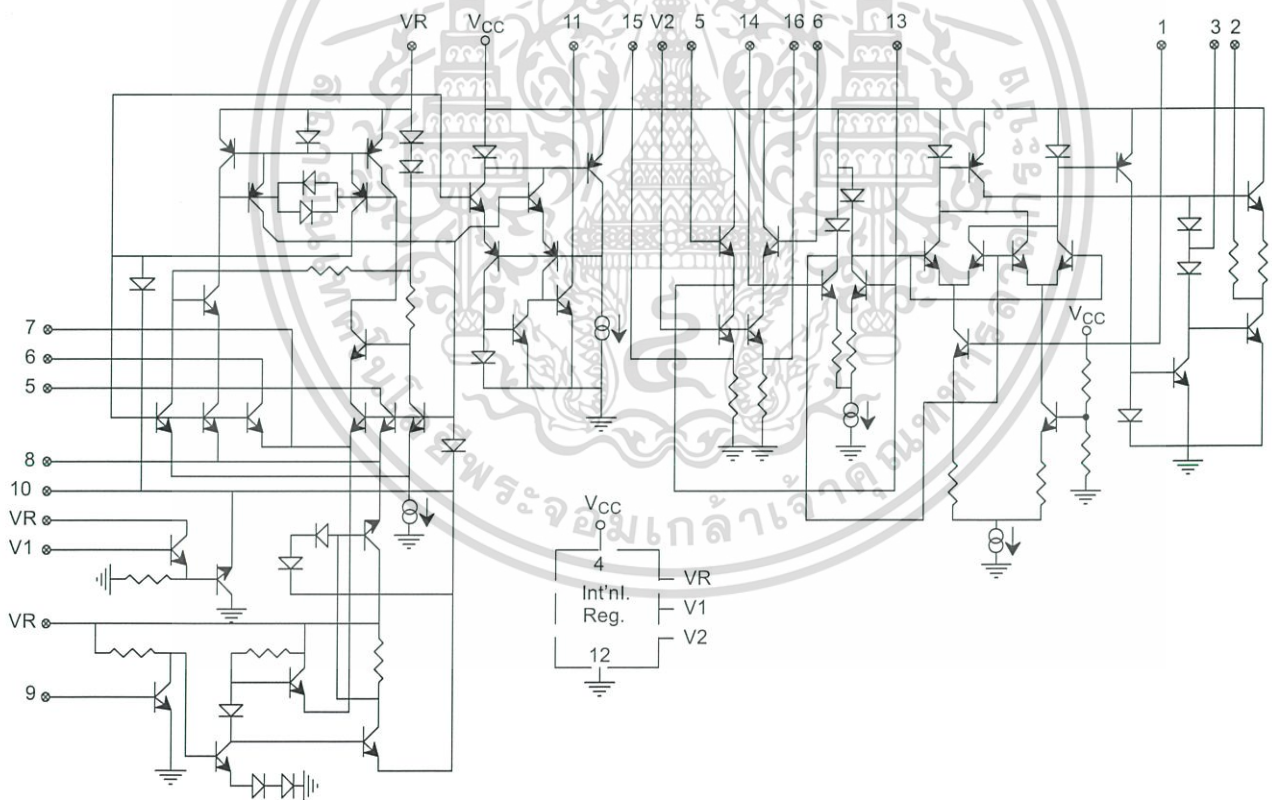
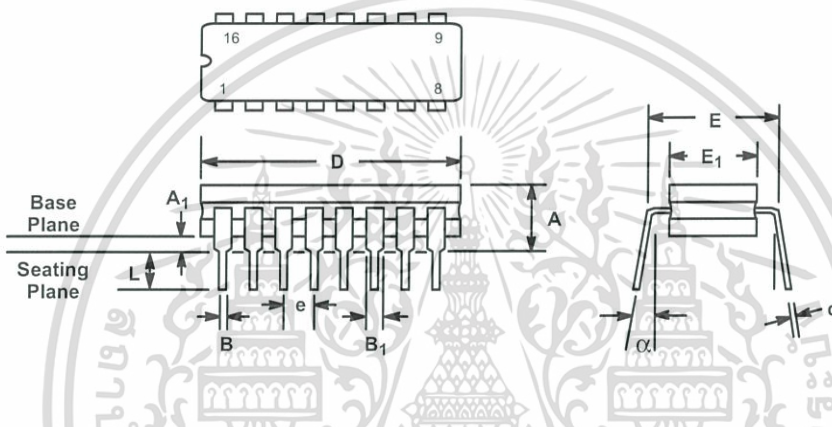


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

16 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL CDIP)

Rev. 1.00

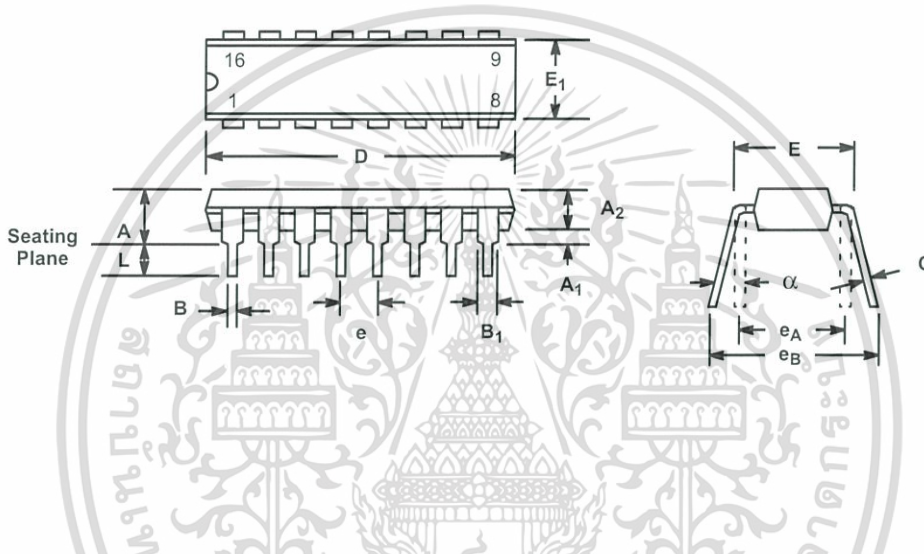


| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | |
|----------------|-----------|-------|-------------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.100 | 0.200 | 2.54 | 5.08 |
| A ₁ | 0.015 | 0.060 | 0.38 | 1.52 |
| B | 0.014 | 0.026 | 0.36 | 0.66 |
| B ₁ | 0.045 | 0.065 | 1.14 | 1.65 |
| c | 0.008 | 0.018 | 0.20 | 0.46 |
| D | 0.740 | 0.840 | 18.80 | 21.34 |
| E ₁ | 0.250 | 0.310 | 6.35 | 7.87 |
| E | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| L | 0.125 | 0.200 | 3.18 | 5.08 |
| α | 0° | 15° | 0° | 15° |

Note: The control dimension is the inch column

16 LEAD PLASTIC DUAL-IN-LINE (300 MIL PDIP)

Rev. 1.00

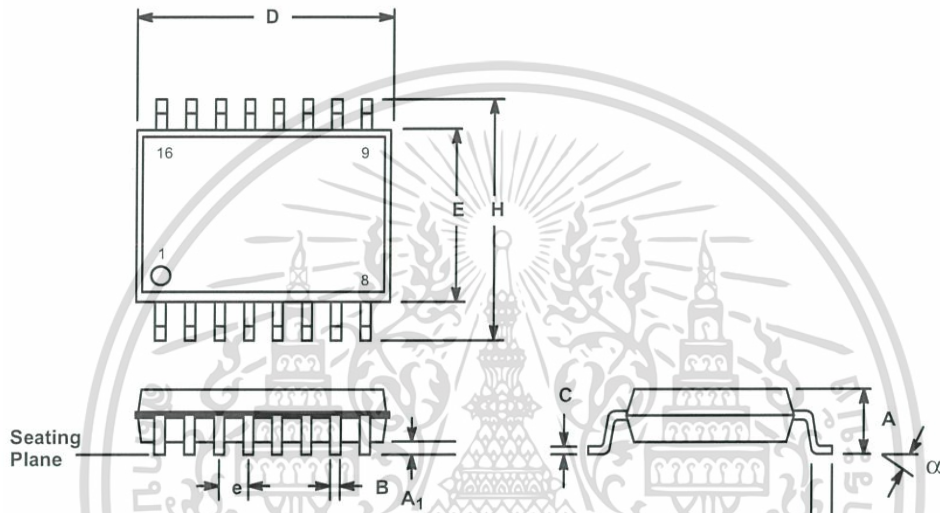


| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | |
|----------------|-----------|-------|-------------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.145 | 0.210 | 3.68 | 5.33 |
| A ₁ | 0.015 | 0.070 | 0.38 | 1.78 |
| A ₂ | 0.115 | 0.195 | 2.92 | 4.95 |
| B | 0.014 | 0.024 | 0.36 | 0.56 |
| B ₁ | 0.030 | 0.070 | 0.76 | 1.78 |
| C | 0.008 | 0.014 | 0.20 | 0.38 |
| D | 0.745 | 0.840 | 18.92 | 21.34 |
| E | 0.300 | 0.325 | 7.62 | 8.26 |
| E ₁ | 0.240 | 0.280 | 6.10 | 7.11 |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| e _A | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | |
| e _B | 0.310 | 0.430 | 7.87 | 10.92 |
| L | 0.115 | 0.160 | 2.92 | 4.06 |
| α | 0° | 15° | 0° | 15° |

Note: The control dimension is the inch column

16 LEAD SMALL OUTLINE
(300 MIL JEDEC SOIC)

Rev. 1.00



| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | |
|----------------|-----------|-------|-------------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.093 | 0.104 | 2.35 | 2.65 |
| A ₁ | 0.004 | 0.012 | 0.10 | 0.30 |
| B | 0.013 | 0.020 | 0.33 | 0.51 |
| C | 0.009 | 0.013 | 0.23 | 0.32 |
| D | 0.398 | 0.413 | 10.10 | 10.50 |
| E | 0.291 | 0.299 | 7.40 | 7.60 |
| e | 0.050 BSC | | 1.27 BSC | |
| H | 0.394 | 0.419 | 10.00 | 10.65 |
| L | 0.016 | 0.050 | 0.40 | 1.27 |
| α | 0° | 8° | 0° | 8° |

Note: The control dimension is the millimeter column



NOTICE

EXAR Corporation reserves the right to make changes to the products contained in this publication in order to improve design, performance or reliability. EXAR Corporation assumes no responsibility for the use of any circuits described herein, conveys no license under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. Charts and schedules contained here in are only for illustration purposes and may vary depending upon a user's specific application. While the information in this publication has been carefully checked; no responsibility, however, is assumed for inaccuracies.

EXAR Corporation does not recommend the use of any of its products in life support applications where the failure or malfunction of the product can reasonably be expected to cause failure of the life support system or to significantly affect its safety or effectiveness. Products are not authorized for use in such applications unless EXAR Corporation receives, in writing, assurances to its satisfaction that: (a) the risk of injury or damage has been minimized; (b) the user assumes all such risks; (c) potential liability of EXAR Corporation is adequately protected under the circumstances.

Copyright 1972 EXAR Corporation

Datasheet June 1997

Reproduction, in part or whole, without the prior written consent of EXAR Corporation is prohibited.