

ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

EXPERIMENTAL SET ON SINUSOIDAL OSCILLATORS WITH ELECTRONICS
CONTROLLABILITY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-ED-M-231-033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL SET ON SINUSOIDAL OSCILLATORS WITH ELECTRONICS
CONTROLLABILITY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFLLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION IN ELECTRICAL
COMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KINK MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-ED-M-231-033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วย วิธีทางอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์
รหัสประจำตัว	61603076
ปริญญา	ครุศาสตรบัณฑิต สาขาบริหารการศึกษา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อมรชัย ชัยชนะ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งในชุดทดลองประกอบด้วย บอร์ดประกอบชุดทดลอง 1 ชิ้นซึ่งประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ 5 วงจรและใบงานประกอบชุดทดลอง 5 ใบงาน ซึ่งมีความสอดคล้องกับกับวงจรในบอร์ดทดลอง ได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส แบบควอเดรเจอร์ แบบวินบริดจ์ แบบโคลพิตตส์ และแบบฮาร์เลย์ ทั้งนี้ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสังเคราะห์และออกแบบวงจรมีกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากบอร์ดทดลองและการสังเคราะห์วงจรใช้อุปกรณ์หลักในการสร้างคือโอทีเอ โดยในบอร์ดทดลองใช้ไอซี LM13700 และในการสังเคราะห์และออกแบบวงจรมีกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอใช้ไอซี LT1228 ซึ่งทั้งสองเบอร์เป็นไอซีเชิงพาณิชย์ที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด โดยวงจรมีกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นมานั้นมีคุณสมบัติคือมีจุดเอาต์พุตที่มีความต้านทานเอาต์พุตต่ำ สามารถปรับค่าความถี่และปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกันโดยการปรับค่าที่กระแสไบอัส I_B ของโอทีเอแต่ละตัว สามารถปรับค่าแอมพลิจูดของวงจรได้จากการปรับค่าความต้านทาน ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานและการต่อวงจรจริงสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ วงจรมีกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอได้รับการตรวจสอบโดยการทดลองกับแหล่งจ่ายแรงดัน $\pm 5V$ การใช้พลังงาน 0.13W เมื่อกระแสไบอัส I_{B2} สูงกว่า $66\mu A$ ค่าความผิดพลาดรวมของรูปคลื่นไซน์จะต่ำกว่า 2% และทดลองตั้งค่า I_{B2} จาก $21\mu A$ ถึง $370\mu A$ ความถี่ที่ได้อยู่ในช่วง 103.14 kHz ถึง 432.93 kHz ในส่วนของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.67$) (S.D. = 0.49) เมื่อแบ่งการหาคุณภาพชุดทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่คุณภาพบอร์ดประกอบชุดทดลองผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.74$) (S.D. = 0.45) และคุณภาพใบงานประกอบชุดทดลองอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.60$) (S.D. = 0.60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Experimental Set on Sinusoidal Oscillators with Electronics Controllability
Student	Miss Ketsirin Mhuenpong
Student ID.	61603076
Degree	Master of Science in Industrial Education
Program	Electrical Communications Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Amornchai Chaichana

ABSTRACT

The Experimental set on sinusoidal oscillators with electronic controllability presented in this thesis. The Experimental set on sinusoidal oscillators with electronic controllability compound with basic sinusoidal oscillators exercise and exercise is using. The instruments used were 1) Phase shift oscillator 2) Quadrature oscillator 3) Wien bridge oscillator 4) Colpitts oscillator 5) Hartley oscillator. And thesis proposes a sinusoidal oscillator realized from the LC Colpitts circuit configuration. Both of this using OTA, the commercially available IC, LM13700 and LT1228 is chosen as active element with $\pm 5V$ voltage supplies. The power consumption was 0.13W. When the bias current, I_{B2} , is higher than $66\mu A$, the THD of the sinusoidal waveform is lower than 2%. The experimental FO, where I_{B2} was set from $21\mu A$ to $370\mu A$, was in the range of 103.14 kHz to 432.93 kHz. In future work, the grounded resistor R1 can be replaced by the resistance simulator using the addition LT1228. With this structure, the linear tune of FO will be achieved. In Experimental set on sinusoidal oscillators with electronic controllability the results were at a very good level ($\bar{X} = 4.67$) (S.D. = 0.49). The quality of the sinusoidal oscillators circuit can be controlled by electronic the result were at a very good level ($\bar{X} = 4.74$) (S.D. = 0.45). And basic sinusoidal oscillators exercise and exercise is using the result were at a very good level ($\bar{X} = 4.60$) (S.D. = 0.60)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.อมรชัย ชัยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.วินัย ใจกล้า ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ เสนอแนะความคิดเห็นและตรวจสอบวิทยานิพนธ์อย่างละเอียดทุกขั้นตอนจนผู้วิจัยได้พัฒนาและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผศ. สุชิน อัจฉาญ ผศ.ดร.ไชยยันต์ ชนะพรมา ผศ.ดร. ดนุพัฒน์ ดวงมาลัย ผศ.เดวิทย์ ศิริพจน์ และ ผศ.อดิสร กวาวสีบสาม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำช่วยเหลือตรวจสอบอย่างละเอียดแก่เครื่องมือในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ถ่ายทอดวิชาความรู้ รวมถึงแง่คิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการวิจัยในครั้งนี้จนกระทั่งประสบความสำเร็จ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดามารดา และผู้ที่ให้การสนับสนุนความช่วยเหลือกับผู้วิจัยในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีอุปการคุณทุกท่านด้วยความเคารพ

เกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.6 คำนียามศัพท์เฉพาะ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 หลักการพื้นฐานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์.....	8
2.2 หลักการพื้นฐานของอุปกรณ์โอทีเอ.....	13
2.3 หลักการทำงานของไอซี LT1228.....	15
2.4 หลักการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์.....	18
2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ.....	19
2.6 หลักการพื้นฐานการสร้างและการหาคุณภาพของชุดทดลอง.....	29
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการงานวิจัย.....	38
3.1 การสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์.....	38
3.2 การวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์.....	42
3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.5 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	47
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	63
บทที่ 4 ผลดำเนินการงานวิจัย.....	65
4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่ สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์.....	65
4.2 ผลการสร้างชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีการ อิเล็กทรอนิกส์	68
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยที่ควบคุม ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์.....	82
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	85
5.2 อภิปรายผลงานวิจัย.....	86
5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย.....	87
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก ก หนังสือราชการประกอบการดำเนินงานวิจัย.....	93
ภาคผนวก ข ตัวอย่างใบงานประกอบชุดทดลอง.....	99
ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง.....	126
ภาคผนวก ง ผลการประเมินคุณภาพชุดทดลองจากผู้ทรงคุณวุฒิ.....	130
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานชุดทดลอง.....	132
ประวัติผู้เขียน.....	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างออปแอมป์และโอทีเอ.....	13
3.1 ระดับคุณภาพของแบบประเมินคุณภาพ.....	62
3.2 เกณฑ์การแปลผลของแบบประเมินคุณภาพ.....	62
4.1 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ดประกอบชุดทดลอง.....	70
4.2 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลอง และการต่อจริงของวงจรเลื่อนเฟส.....	74
4.3 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลอง และการต่อจริงของวงจรควอดเรเจอร์.....	76
4.4 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลอง และการต่อจริงของวงจรวินบริดจ์.....	77
4.5 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลอง และการต่อจริงของวงจรโคลพิตต์ส์.....	79
4.6 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลอง และการต่อจริงของวงจรวงจรฮาร์ทเลย์....	80
4.7 ผลประเมินคุณภาพของบอร์ดประกอบชุดทดลอง.....	82
4.8 สรุปผลประเมินคุณภาพของใบงานประกอบชุดทดลอง.....	83
4.9 สรุปผลการประเมินคุณภาพชุดทดลองและใบงานประกอบชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์.....	83

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์.....	4
2.1 วงจรสมมูลของโอทีเอ.....	9
2.2 องค์ประกอบกรไหลวนของสัญญาณ.....	10
2.3 ความหมายทางเกณฑ์ของบาร์คยูเซ็น.....	11
2.4 สัญลักษณ์และวงจรมูลของโอทีเอ.....	13
2.5 โครงสร้างวงจรระดับทรานซิสเตอร์ของโอทีเอ.....	14
2.6 วงจรสะท้อนกระแสแบบพื้นฐาน.....	15
2.7 วงจรและส่วนประกอบของไอซี LT1228.....	16
2.8 สัญลักษณ์ของวงจรของไอซี LT1228.....	16
2.9 วงจรสมมูลของไอซี LT1228.....	17
2.10 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่ประกอบด้วยวงจรขยายกระแส ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ.....	18
2.11 วงจรป้อนกลับโดยใช้เกณฑ์แบบปิดลูป.....	19
2.12 วงจรแทนค่าของ $\frac{1}{1+sa}$	19
2.13 วงจรแทนค่า $-K$	20
2.14 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส.....	20
2.15 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอเดรเจอร์.....	22
2.16 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์.....	23
2.17 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์.....	25
2.18 วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำโดยใช้โอทีเอ.....	26
2.19 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์.....	28
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่ประกอบด้วยวงจรขยายกระแส ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ.....	38
3.2 วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำโดยใช้ไอซี LT1228.....	40
3.3 วงจรขยายกระแสโดยใช้ไอซี LT1228.....	41
3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์โดยใช้ไอซี LT1228.....	41
3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟต์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ.....	48
3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบแบบควอเดรเจอร์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์โดยใช้อุปกรณ์ไอทีเอ.....	51
3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์โดยใช้อุปกรณ์ไอทีเอ.....	52
3.9 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์โดยใช้อุปกรณ์ไอทีเอ.....	54
3.10 การสร้างบอร์ดประกอบชุดปฏิบัติการประกอบชุดปฏิบัติการเรียนรู้.....	56
3.11 การสร้างใบงานประกอบชุดทดลองวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์.....	58
3.12 การประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการเรียนรู้.....	60
3.13 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการเรียนรู้การเขียนโปรแกรมควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	62
4.1 ภาพของวงจรจริงที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ.....	64
4.2 แร่งต้นเอาต์พุตของรูปคลื่นสัญญาณไซน์ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป.....	65
4.3 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณไซน์ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป.....	65
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกระแสไอแอส I_{B2}	66
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่โดยรวมของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ (THD) และความถี่.....	66
4.6 แร่งต้นเอาต์พุตของรูปคลื่นไซน์เมื่อเปลี่ยนค่า R_f	67
4.7 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์ด้านหน้า.....	68
4.8 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์ ด้านหลัง.....	69
4.9 PCB Layout (Bottom layer) โดยโปรแกรม TinyCAD.....	70
4.10 PCB Layout (Front layer) โดยโปรแกรม TinyCAD.....	70
4.11 ด้านหน้ากล่องชุดทดลองวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์.....	71
4.12 แสดงกล่องชุดทดลองวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถเปิดได้.....	71
4.13 ผลการทดสอบวงจรเลื่อนเฟสโดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 53.8kHz....	72
4.14 ผลการทดสอบวงจรเลื่อนเฟสโดยการวัดจากวงจรมจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคปความถี่ที่ 49.1854kHz.....	73
4.15 ผลการทดสอบวงจรควอเดรเจอร์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 31.7kHz.....	74
4.16 ผลการทดสอบวงจรควอเดรเจอร์โดยการวัดจากวงจรมจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคป ความถี่ที่ 35.5968kHz.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 ผลการทดสอบวงจรวินบริดจ์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 30kHz.....	75
4.18 ผลการทดสอบวงจรวินบริดจ์โดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคปความถี่ที่ 26.6497kHz.....	76
4.19 ผลการทดสอบวงจรวงจรโคลพิตตส์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 294kHz.....	77
4.20 ผลการทดสอบวงจรโคลพิตตส์โดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคปความถี่ที่ 293.762kHz.....	77
4.21 ผลการทดสอบวงจรวงจรฮาร์ทเลย์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 220kHz.....	78
4.22 ผลการทดสอบวงจรฮาร์ทเลย์โดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคปความถี่ที่ 221.588kHz.....	79
4.23 แรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก.....	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีขนาดเล็กลง อีกทั้งยังมีอัตราการบริโภคกำลังไฟต่ำ แต่ประสิทธิภาพการทำงานนั้นสูงขึ้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบวงจรรวม (Integrated Circuit) หรือเรียกว่า IC รวมถึงปัจจุบันการใช้อุปกรณ์แอคทีฟสำเร็จรูป (Active Building Block) มาสังเคราะห์และออกแบบวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถลดใช้อุปกรณ์พาสซีฟ (Passive Element) มาต่อรวมด้วยทำให้โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานทั้งในโหมดแรงดัน (Voltage Mode) และ โหมดกระแส (Current Mode) มีความยืดหยุ่นในการออกแบบวงจรสูง นอกจากนี้อุปกรณ์แอคทีฟสำเร็จรูปบางชนิดมีคุณสมบัติทางด้านอินพุตอิมพีแดนซ์ที่สูงและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ต่ำทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกับวงจรรวมอื่นในโหมดแรงดันได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์บัฟเฟอร์ภายนอกเพิ่มเติม นอกจากนี้อุปกรณ์แอคทีฟสำเร็จรูปบางชนิดยังสามารถควบคุมการทำงานได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถปรับค่าความต้านทานแฝงทางด้านอินพุตหรือค่าความนำถ่ายโอนได้โดยการปรับกระแสไบอัสทางอินพุตของตัวอุปกรณ์ ทำให้พารามิเตอร์หรือคุณสมบัติของวงจรที่ใช้อุปกรณ์แอคทีฟเหล่านั้นง่ายต่อการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ (วรรณดี เพชรเมณีล้ำค่า, 2552 : 2) ดังนั้น จึงมีผู้นำเสนอการสังเคราะห์และออกแบบวงจรด้วยอุปกรณ์แอคทีฟสมัยใหม่จำนวนมากไม่ว่าจะเป็น วงจรกรองความถี่ วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ อุปกรณ์แอคทีฟที่ควบคุมด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมนำมาใช้ในการสังเคราะห์และออกแบบวงจรรวมก็ยกตัวอย่าง เช่น วงจรขยายถ่ายโอนความโอน (Operational Transconductance Amplifier : OTA) และวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแส (Current Differencing Transconductance Amplifier : CDTA) ทั้งสองเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมค่าความนำถ่ายโอนได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรสายพานกระแสยุคที่สองที่ควบคุมด้วยกระแส (Second Generation Current Controlled Current Conveyor : CCCII)

วงจรถูกกำเนิดสัญญาณความถี่หรือวงจรรอสซิลเลเตอร์ (Oscillator Circuit) เป็นวงจรแอนะล็อกฟังก์ชันชนิดหนึ่งที่สามารถกำเนิดสัญญาณได้ด้วยตัวเอง โดยจะให้สัญญาณทางเอาต์พุต (Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal) เป็นสัญญาณแบบรายคาบ (Periodic Signal) โดยไม่ต้องมีสัญญาณอินพุต (Input Signal) ป้อนให้กับวงจร ปัจจุบันมีการนำวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ไปใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ในระบบสื่อสาร การประมวลผลสัญญาณและระบบเครื่องมือวัด เครื่องกำเนิดความถี่เสียง ใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณมาตรฐานเพื่อป้อนไปใช้งาน ใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอ้างอิงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ใช้เพื่อการทดสอบและปรับแต่งเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด เช่น เครื่องรับวิทยุ เครื่องขยายเสียง เครื่องรับส่งวิทยุ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น (ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมาตย์. 2557 : 1) จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ผู้ที่ศึกษาทางด้าน ไฟฟ้าโทรคมนาคมและอิเล็กทรอนิกส์หรือสาขาที่เกี่ยวข้อง ต้องมีการศึกษาเกี่ยวข้องกับเรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

ดังที่กล่าวมาข้างต้นการเรียนการสอนเรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์จึงจำเป็นอย่างมากในสาขาที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับอาชีวศึกษาและระดับอุดมศึกษา ซึ่งผู้เรียนจะต้องศึกษาและทำความเข้าใจโดยต้องสามารถสร้างความสัมพันธ์และเชื่อมโยงระหว่างความรู้ภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติได้ โดยเนื้อหาบางส่วนในเรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์นี้มีความซับซ้อนเข้าใจยาก จำเป็นต้องมีสื่อการสอนที่สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้นและได้ปฏิบัติจริงได้ ในการจัดการเรียนการสอนทั้งในระดับอาชีวศึกษาและอุดมศึกษาส่วนมากมักใช้อุปกรณ์ในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ ซึ่งทำให้ผู้เรียนยังไม่มีโอกาสได้เรียนรู้การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยการใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่มากนัก ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อนำอุปกรณ์ไปออกแบบในวงจรอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างวงจรค่อนข้างจะซับซ้อน จึงยากต่อการวิเคราะห์วงจรเพื่อให้ได้มาซึ่งสมการคุณสมบัติของวงจรหากเปรียบเทียบวงจรลักษณะเดียวกันในโหมดกระแสแล้ววงจรในโหมดกระแสจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าจากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดทดลองสร้างจากไอซีออปแอมป์วงจรที่สร้างจากออปแอมป์ (พิเชษ เลียงฤทัย. 2548 : 1 ; รัตนชาติ ดวงภินันท์. 2554 : 1) นั้นยังมีข้อจำกัดคือใช้อุปกรณ์แอกทีฟและพาสซีฟจำนวนมากไม่สามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ต้องมีการใช้งานอุปกรณ์พาสซีฟ เช่น ตัวต้านทานปรับค่าได้ในการควบคุมกระแส ซึ่งตัวต้านทานปรับค่าได้มีข้อจำกัดคือ เมื่อมีการปรับค่าด้วยการหมุนไปนานๆ จะทำให้ตัวต้านทานเสื่อมสภาพได้ เนื่องจากหน้าสัมผัสของส่วนที่เคลื่อนที่กับตัวต้านทานมันสกปรกและทำให้การปรับค่าความต้านทานไม่แม่นยำ

จากข้อจำกัดข้างต้นผู้จัดทำจึงมีการศึกษาเพิ่มเติมพบว่ามีผู้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์ไอทีเอ ซึ่งเป็นอุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ (มนตรี คำเงิน. 2552 : 352-356 ; เสน่ห์ ไมตรีจิต. 2552 : 281-286 ; Chung. 2007 : 47-52) จากตัวอย่างการวิจัยที่ได้นำเสนอ นั้นวงจรที่สร้างจากอุปกรณ์ไอทีเอ สามารถควบคุมได้ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการปรับจากกระแสไบแอส ใช้อุปกรณ์พาสซีฟจำนวนน้อยและวงจรมีขนาดเล็กซึ่งสอดคล้องกับข้อดีของอุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงเหมาะสมที่จะนำมาสร้างสื่อที่สามารถควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีแผงวงจรมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอน เพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้สอน พร้อมทั้งให้ผู้เรียนเข้าใจการวิเคราะห์วงจรได้ง่ายขึ้น รวมถึงการได้ฝึกทักษะในการปฏิบัติเพื่อให้สอดคล้องกับความรู้ทางทฤษฎีของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์แอคทีฟสมัยใหม่

จากการศึกษาข้างต้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส (Colpitts) โดยใช้ไอซี LT1228 และการออกแบบการสร้างและหาคุนภาพชุดทดลองวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้ไอซีเอ ที่ควบคุมได้ด้วยควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยชุดทดลองวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์นี้ประกอบด้วย แผงการทดลองวงจรและใบงานการทดลอง แบ่งตามชนิดของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ ซึ่งจำแนกตามชนิดของตัวกรองเลือกความถี่ได้แก่ วงจร RC ประกอบด้วย วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์และวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอเดรเจอร์ วงจร LC ประกอบด้วย วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส และ วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์ ซึ่งชนิดของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นวงจรที่ครอบคลุมชนิดหลักๆของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้นักศึกษาได้มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบวงจร รวมถึงการได้ฝึกทักษะในการปฏิบัติและหาความสอดคล้องกันระหว่างความรู้ทางทฤษฎีและปฏิบัติของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์ไอซีเอซึ่งเป็นอุปกรณ์แอคทีฟสมัยใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำความรู้ไปใช้วิเคราะห์และสร้างสรรค์ผลงานหรือการประกอบอาชีพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสังเคราะห์และออกแบบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์สที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ได้จากการสังเคราะห์และออกแบบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์สที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

1.2.3 เพื่อทดสอบสมรรถนะวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ได้จากการสังเคราะห์และออกแบบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์สที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

1.2.4 เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์โดยที่ควบคุมได้ด้วยควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.5 เพื่อหาคุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

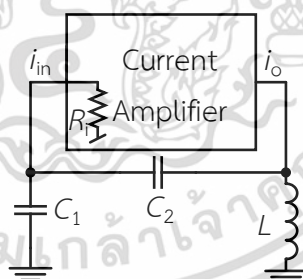
1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีขึ้นไปทุกด้าน ($\bar{X} \geq 3.50$)

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.4.1 กรอบแนวคิดในการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส

วงจรแบบโคลพิตต์ส (Colpitts) เป็นประเภทของ LC oscillator ซึ่งอยู่ภายใต้หมวดหมู่ของ Harmonic Oscillator การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ในงานวิจัยนี้ใช้ไอซีเบอร์ LT1228 เป็นไอซีในเชิงพาณิชย์ที่มีขายทั่วไป จากภาพที่ 1.1 แสดงกรอบแนวคิดที่ใช้ในการสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์สที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยโครงสร้างของแผนภาพการทำงานที่ใช้ในการสังเคราะห์จะประกอบไปด้วยวงจขยายสัญญาณกระแส (Current Amplifier) ต่อร่วมกับ C_1 C_2 และ L โดยวงจขยายสัญญาณกระแส และ ตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์สที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์

จะได้สมการคุณลักษณะสมบัติตามสมการที่ (1.1)

$$s^3 C^2 L + s^2 CL \left(\frac{1}{R_i} - A \right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (1.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A คือค่าความถ่ายโอนกระแส และ R_i คือค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของ วงจรขยาย และจากสมการที่ (1.1) จะได้สมการความถี่ (Frequency of oscillation : FO) และ สมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ (Condition of oscillation : CO) ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$FO : \omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{LC}} \quad (1.2)$$

สมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ

$$CO : 2AR_i \geq 1 \quad (1.3)$$

จากสมการที่ (1.2) และ (1.3) จะแสดงให้เห็นว่าสมการความถี่และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณอิสระจากกันโดยสมการความถี่ถูกควบคุมโดยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุและ สมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณถูกควบคุมโดย A และ R_i โดยที่ $A = g_{mi} R_i$

1.4.2 กรอบแนวคิดในการการออกแบบและสร้างชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ โดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ ที่ควบคุมได้ด้วยควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

แนวความคิดในการวิจัยในครั้งนี้คือเพื่อสร้างและหาคุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่ควบคุมได้ด้วยควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้วิจัยได้มีการประยุกต์ใช้กรอบแนวความคิด วัลลภ จันทรตระกูล (2552ก : 24-32) ซึ่งกำหนดวิธีการสร้างชุดทดลองและใบงานการทดลอง มี 8 ขั้นตอนดังนี้

- 1.4.2.1 กำหนดคุณลักษณะ
- 1.4.2.2 กำหนดรายการหน้าที่
- 1.4.2.3 คิดค้นหาแนวทาง
- 1.4.2.4 ออกแบบทางด้านเทคนิค
- 1.4.2.5 วิเคราะห์และตัดสินใจ
- 1.4.2.6 ออกแบบชุดทดลอง
- 1.4.2.7 สร้างต้นแบบชุดทดลอง
- 1.4.2.8 การพัฒนาเอกสารประกอบ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่สามารถควบคุมเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างอิสระจากกัน

1.5.1.2 โครงสร้างวงจรสร้างมาจากอุปกรณ์แอคทีฟสมัยใหม่โดยใช้ไอซีในเชิงพาณิชย์ เบอร์ LT1228

1.5.1.3 มีการทดสอบสมรรถนะผ่านการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Pspice และการต่อวงจรจริง

1.5.1.4 สามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดได้

1.5.1.5 มีค่าความต้านทานด้านเอาต์พุตต่ำ

1.5.2 ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

1.5.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สามารถควบคุมเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

1.5.2.2 โครงสร้างวงจรสร้างมาจากอุปกรณ์แอคทีฟสมัยใหม่ โดยใช้ไอซีในเชิงพาณิชย์เบอร์ LM13700

1.5.2.3 เนื้อหาของชุดทดลองทางผู้วิจัยจึงมีความต้องการสร้างชุดทดลองให้ครอบคลุมวงจรกำเนิดสัญญาณหลัก ได้แก่

(1) ใบงานที่ 1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟ

(2) ใบงานที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์

(3) ใบงานที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์

(1) ใบงานที่ 4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์

(2) ใบงานที่ 5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์

1.5.2.4 มีการทดสอบสมรรถนะผ่านการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Pspice และการต่อวงจรจริง

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงกำหนดความหมายของศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

1.6.1 การควบคุมการทำงานแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Control) หมายถึง วิธีการควบคุมคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ด้วยการปรับค่ากระแสไบอัสเพื่อควบคุมค่าความนำถ่ายโอนของตัวอุปกรณ์โอทีเอ

1.6.2 การสังเคราะห์ (Synthesis) หมายถึง การนำอุปกรณ์โอทีเอ และอุปกรณ์พาสซีฟมาต่อร่วมกันให้ได้เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3 การออกแบบวงจร (Circuit Design) หมายถึง การกำหนดค่าหรือการตั้งค่าอุปกรณ์ที่อยู่ในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เพื่อให้ได้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

1.6.4 ชุดทดลอง หมายถึง ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยการใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่ควบคุมได้ได้วิธทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยบอร์ดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ 5 วงจร จำนวน 1 บอร์ด และใบงานการทดลองจำนวน 5 ใบงาน

1.6.5 ใบงานการทดลอง หมายถึง เอกสารประกอบการทดลองด้วยชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่ควบคุมได้ด้วยวิธทางอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 ใบงาน

1.6.6 อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถควบคุมได้ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการปรับจากกระแสไบแอส ใช้อุปกรณ์พาสซีฟต่อรวมจำนวนน้อย และวงจรมีขนาดเล็กซึ่งแผงวงจรมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier : โอทีเอ) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบเป็นไอซี LM13700 และ LT1228 ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์เรื่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและศึกษาคุณภาพชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้อุปกรณ์ ไอทีเอ ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจะประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 หลักการพื้นฐานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
- 2.2 หลักการพื้นฐานของอุปกรณ์ไอทีเอ
- 2.3 หลักการทำงานของไอซี LT1228
- 2.4 หลักการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์
- 2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์ไอทีเอ
- 2.6 หลักการพื้นฐานของการสร้างและการหาคุณภาพชุดทดลอง
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

วงจรกำเนิดสัญญาณเป็นวงจรไฟฟ้าที่สามารถให้กำเนิดสัญญาณได้ในตัววงจรเอง โดยจะให้สัญญาณทางด้านขาออกมีรูปแบบเป็นสัญญาณแบบรายคาบ ไม่จำเป็นที่จะต้องมีสัญญาณทางด้านขาเข้าของวงจรแต่อย่างใด วงจรกำเนิดสัญญาณนั้นเป็นวงจรพื้นฐานอย่างหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในทางวิศวกรรมในไฟฟ้าต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในระบบเครื่องมือวัด ระบบการสื่อสารโทรคมนาคม ฯลฯ ในระบบโทรคมนาคม วงจรกำเนิดสัญญาณสามารถถูกใช้เป็นวงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาห์ เพื่อใช้ในการมอดูเลตสัญญาณหรือเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาอ้างอิงหลักให้แก่ระบบ เป็นต้น (มนตรี ศิริปรัชญา นันท์. 2546 : 375-398)

วงจรกำเนิดสัญญาณที่เป็นที่รู้จักกันดีมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณแบบคริสตัล วงจรกำเนิดสัญญาณแบบเลื่อนเฟส วงจรกำเนิดสัญญาณแบบวินบริดจ์ วงจรกำเนิดสัญญาณแบบโคลพิตตส์ และวงจรกำเนิดสัญญาณแบบฮาร์ทเลย์ เป็นต้น รูปแบบของสัญญาณที่สร้างขึ้นจากวงจรกำเนิดสัญญาณแบบต่างๆ ก็มีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น สัญญาณไซน์สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม สัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณฟันเลื่อย ฯลฯ อย่างไรก็ตามในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการเกี่ยวกับวงจรกำเนิดสัญญาณซึ่งกำเนิดสัญญาณรูปไซน์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 องค์ประกอบของวงจรกำเนิดสัญญาณ

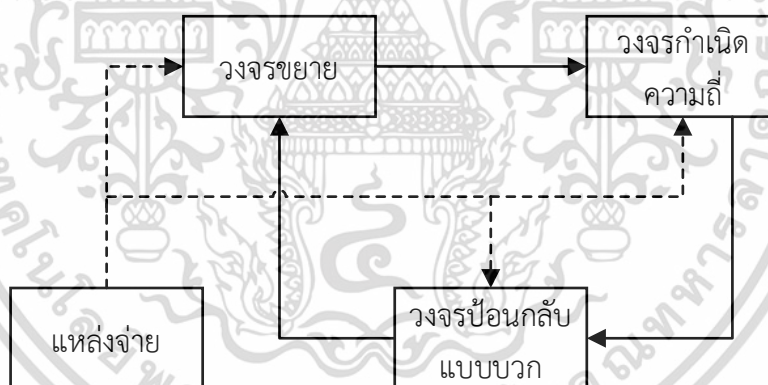
องค์ประกอบหลักที่สำคัญของวงจรกำเนิดสัญญาณที่จำเป็นนั้นสามารถแยกออกได้เป็นดังนี้

2.1.1.1 ตัวกำเนิดพลังงาน ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟ แบตเตอรี่ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่มีศักดาคงที่ใช้จ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรเป็นสำคัญ

2.1.1.2 วงจรกำหนดความถี่ ในการกำเนิดสัญญาณ วงจรกำเนิดความถี่นี้จะเป็นวงจรที่สามารถใช้เลือกความถี่ได้ในลักษณะที่เป็นวงจรกรองแบบแถบความถี่ผ่านซึ่งอาจจะได้แก่ วงจรจูนด์ แบบ LC วงจรจูนด์แบบ RC หรือ แบบคริสตัล เป็นต้น

2.1.1.3 วงจรขยายสัญญาณ เป็นวงจรประเภทแอกทีฟ ซึ่งอาจจะเป็นวงจรขยายแบบทรานซิสเตอร์ แบบเฟตหรือวงจขยายที่อยู่ในรูปของไอซีอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ ซึ่งจะทำหน้าที่ ดำรงการกำเนิดของสัญญาณไว้ด้วยการชดเชยพลังงานในส่วนที่สูญเสียไปภายในวงจรกำเนิดสัญญาณให้มีค่าคงตัวอยู่เช่นเดิมโดยอัตโนมัติ

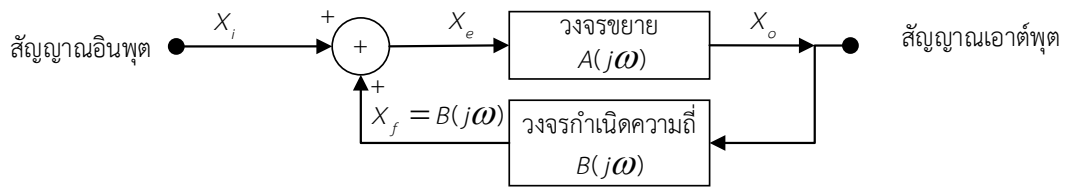
2.1.1.4 วงจรป้อนกลับแบบบวก เป็นวงจรที่จะนำสัญญาณจากทางด้านขาออกของวงจรกำเนิดสัญญาณกลับไปยังด้านขาเข้าของวงจร โดยสัญญาณทางด้านขาออกที่ป้อนกลับไปสู่ด้านเข้าของวงจรมันจะต้องจัดให้มีเฟสตรงกันกับเฟสของวงจรทางด้านขาเข้าทั้งนี้ก็เพื่อทำให้เกิดการเสริมสัญญาณกันขึ้นเพื่อจะพ้ทำให้สัญญาณคงตัวอยู่ได้ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 4 ข้อ ประกอบกันได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของวงจรกำเนิดสัญญาณ

2.1.2 เงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณของวงจร

วงจรกำเนิดสัญญาณจะสามารถกำเนิดสัญญาณได้ก็ต่อเมื่อการป้อนสัญญาณย้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) เสมอ (สิทธิชัย โภไคยอุดม. 2549 : 13) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรถายกลับสัญญาณที่มีการป้อนกลับแบบบวก

จากภาพที่ 2.2 สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรเป็นดังต่อไปนี้

X_i คือ สัญญาณทางด้านขาเข้าของวงจร

X_o คือ สัญญาณทางด้านขาออกของวงจร

X_e คือ สัญญาณผลรวมระหว่าง X_i และ X_f มีค่าเท่ากับ $X_i + X_f$

X_f คือ สัญญาณป้อนกลับ

$A(j\omega)$ คือ ค่าเกนซ์ของวงจรถยาย

$B(j\omega)$ คือ ค่าเกนซ์ของวงจรถายกลับ

จากบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 2.2 จะได้ว่า

$$X_e = X_i + X_f \quad (2.1)$$

เมื่อ $X_f = B(j\omega)X_e \quad (2.2)$

และ $X_o = A(j\omega)X_e \quad (2.3)$

แทนค่าสมการที่ (2.1) และ (2.2) ลงในสมการที่ (2.3) ตามลำดับและจะได้สมการเป็น

$$\frac{X_o}{X_i} = \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega)B(j\omega)} \quad (2.4)$$

ในการกำเนิดสัญญาณนั้นวงจรจะต้องสามารถสร้างสัญญาณทางด้านขาออกได้โดยที่ไม่มีสัญญาณทางด้านขาเข้า ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวจะเป็นจริงได้ก็คือค่าเกนซ์ของวงจรถยายมีค่าเป็นอนันต์ นั่นคือ ค่าส่วนของสมการที่ (2.4) จะต้องมามีค่าเป็นศูนย์กล่าวคือ

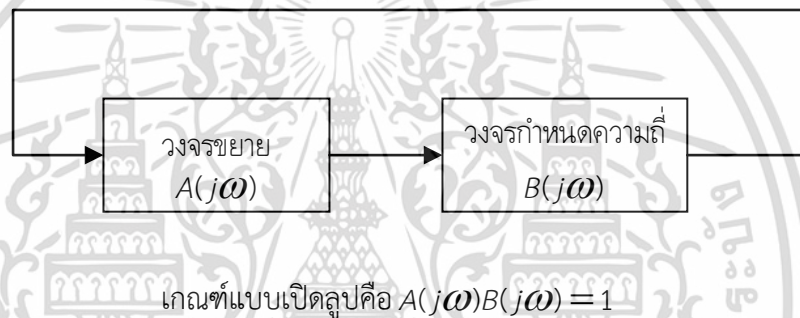
$$1 - A(j\omega)B(j\omega) = 0 \quad (2.5)$$

เมื่อเงื่อนไขตามสมการที่ (2.5) เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งความถี่ค่าหนึ่ง (สมมติว่าเป็นค่าความถี่ ω_0) ก็แสดงว่าจะเกิดการให้กำเนิดสัญญาณที่มีความถี่นั้นขึ้นเกณฑ์การตรวจสอบที่สำคัญที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ เกณฑ์ของบาร์คฮูเซน (Barkhausen criterion) ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญที่รู้จักกันดีในการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบสร้างวงจรถ้าเกิดสัญญาณ เกณฑ์ดังกล่าวมีนัยที่กล่าวได้โดยสรุปดังนี้คือ “วงจรถ้าเกิดสัญญาณที่จะสามารถกำเนิดสัญญาณได้อย่างต่อเนื่องนั้นจะต้องมีเกณฑ์แบบเปิดลูป (Open-Loop Gain) เป็นค่าจริงเท่ากับหนึ่ง” นั่นคือจะได้เงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณแยกเป็นสองเงื่อนไขที่ต้องเกิดพร้อมกันคือ

$$|A(j\omega)B(j\omega)| = 1 \quad (2.6)$$

และมีค่ามุมเฟสของอัตราขยายลูปเปิด $\angle A(j\omega)B(j\omega) = 0$ หรือ $2n\pi$ ($n =$ เลขจำนวนเต็ม) ซึ่งในการรักษาค่าเกณฑ์แบบเปิดลูปของวงจรถ้าเกิดสัญญาณให้มีค่าเท่ากับหนึ่งนั้นก็เพื่อเป็นการรักษาการกำเนิดสัญญาณให้คงที่อยู่ตลอดไป ความหมายของเงื่อนไขบาร์คูลูเซินแสดงได้ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ความหมายทางเกณฑ์ของบาร์คูลูเซิน

โดยการป้อนกลับแบบบวกจะทำให้เกณฑ์แบบปิดลูป (Closed loop Gain) ของวงจรมีค่ามากขึ้นและถ้าเกณฑ์แบบเปิดลูปของวงจรมีค่าเป็นหนึ่งก็จะทำให้เกณฑ์แบบปิดลูปของ วงจรถ้าเกิดสัญญาณเป็นอนันต์ซึ่งจะเห็นได้โดยการแทนสมการที่ (2.5) ลงในสมการที่ (2.6) คือ

$$\frac{X_o}{X_i} = \frac{A(j\omega)}{1-1} = \infty \quad (2.7)$$

สมการที่ (2.7) แสดงให้เห็นว่า เมื่อเกณฑ์แบบเปิดลูปของวงจรมีค่าเท่ากับหนึ่งแล้วจะทำให้เกณฑ์แบบปิดลูปของวงจรมีค่าเป็นอนันต์ ซึ่งหมายความว่าแม้ไม่มีสัญญาณทางด้านขาเข้า ($X_i = 0$) วงจรถ้าเกิดสัญญาณก็สามารถสร้างสัญญาณทางด้านขาออกได้ คือวงจรถ้าเกิดสัญญาณสามารถให้กำเนิดสัญญาณขึ้นมาได้นั่นเอง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติที่วงจรถ้าเกิดสัญญาณจะอาศัยสัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณเริ่มต้นทางด้านขาเข้าให้กับวงจรถ้าเกิดสัญญาณรบกวนนี้อาจจะมาจากแหล่งกำเนิดใดก็ได้ เช่น สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมาจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรถ้าเกิดสัญญาณเอง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามเพื่อพิจารณากันโดยธรรมชาติแล้วนั้น วงจรกำเนิดสัญญาณโดยทั่วไปนั้นจะเป็นวงจรประเภทไม่เป็นเชิงเส้น หากแต่การวิเคราะห์ห้วงจรนั้นได้ใช้หลักการการวิเคราะห์แบบเป็นเชิงเส้นดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นเงื่อนไขที่ได้จึงสามารถที่จะกำหนดได้แต่เพียงความถี่ของสัญญาณเท่านั้น แต่จะไม่สามารถกำหนดขนาดของสัญญาณที่กำเนิดขึ้นได้ดังจะเห็นได้จากเกณฑ์การตรวจสอบของบาร์คอสูเช่นที่กล่าวไว้นั้นแสดงแต่เพียงว่า ณ ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณจะมีค่าเฟสของสัญญาณเท่ากับ $2n$ (n คือ เลขจำนวนเต็ม)

สำหรับการควบคุมขนาดของสัญญาณที่ถูกกำเนิดขึ้นมานั้นที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 ทำได้โดยการเพิ่มวงจรในส่วนที่จะทำหน้าที่รักษาระดับของสัญญาณ

วิธีที่ 2 ใช้หลักการของการจำกัดขนาดด้วยตัวเอง (Self-limiting) ของอุปกรณ์ภายในวงจร เช่น วงจรกำเนิดสัญญาณที่สร้างขึ้นจากทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มต้น ทรานซิสเตอร์จะมีค่าอัตราขยายสูงทำให้ค่าเกณฑ์ของวงจรรูปปิดจะมีค่ามากกว่า 1 ตำแหน่งความถี่ที่มีค่าเฟสเท่ากับ $2n\pi$ และเมื่อขนาดของสัญญาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ทรานซิสเตอร์เริ่มอิ่มตัว (Saturate) ทำให้ทรานซิสเตอร์มีอัตราขยายลดลงซึ่งจะทำให้ค่าเกณฑ์ของวงจรรูปปิดลดลงจนกระทั่งทำให้สัญญาณมีขนาดที่คงที่ได้ในที่สุด

2.1.3 หลักการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณ

การทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนั้นอาจสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สภาวะ คือ

2.1.3.1 สภาวะเริ่มต้นการทำงานของวงจร (First turn-on) สภาวะเริ่มต้นการทำงานของวงจรจะเกิดขึ้นเมื่อมีการจ่ายกำลังงานให้แก่วงจร ซึ่งการจ่ายกำลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอก ให้แก่วงจรอย่างทันทีทันใดนี้ จะทำให้เกิดสภาวะเปลี่ยนย้าย (Transition) ขึ้น ทำให้มีสเปคตรัมของสัญญาณเกิดการกระจายขึ้นอย่างมากมาอย่างใดก็ได้ เนื่องจากวงจรมีสัญญาณนั้นจะมีวงจรถูกกำหนดความถี่อยู่ภายใน ดังนั้นจึงมีความถี่เพียงความถี่เดียวเท่านั้นที่โดดเด่นและจะถูกเลือกให้ถูกป้อนย้อนกลับในกระบวนการป้อนกลับทำให้เกิดการพิกัดเป็นความถี่ของสัญญาณที่จะปรากฏเป็นสัญญาณขาออกของวงจร

2.1.3.2 สภาวะการสร้างสัญญาณ (Signal build up) เมื่อความถี่ของสัญญาณที่กำเนิดขึ้นถูกกำหนดความถี่โดยวงจรถูกกำหนดความถี่แล้วสัญญาณทางด้านขาออกจะถูกนำกลับไปยังด้านขาเข้าของวงจร ซึ่งสัญญาณจะถูกจัดโดยวงจรให้มีเฟสตรงกันเพื่อเป็นการเสริมสัญญาณให้มีกำลังมากยิ่งขึ้น

2.1.3.3 สภาวะรักษารังการสร้างสัญญาณ (Sustained oscillation) การรักษารังการกำเนิดสัญญาณให้คงอยู่นั้นจะเป็นไปตามเงื่อนไขของบาร์คอสูเช่น คือผลคูณค่าเกณฑ์ของวงจรขยาย และวงจรป้อนกลับจะต้องมีค่าเท่ากับหนึ่งในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัตินั้นค่าเกณฑ์รวมของระบบจะต้องมีค่ามากกว่าหนึ่งเล็กน้อยในสถานะเริ่มแรก ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการชดเชยการลดทอนสัญญาณที่อาจจะ

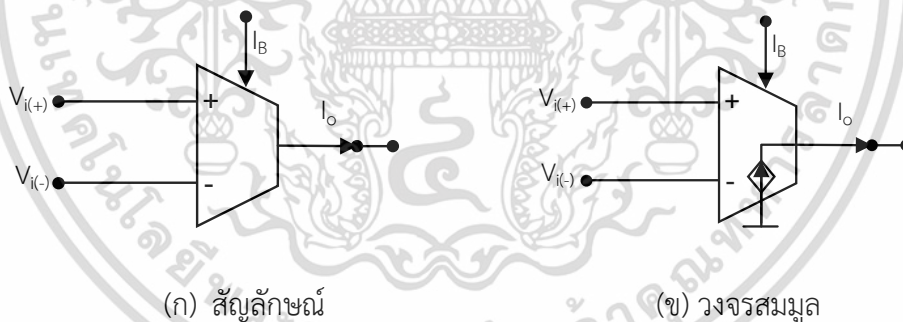
เกิดขึ้นได้ในวงจรและจะใช้ลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณมีค่ามากมาเป็นตัวรักษาลูปเกนให้เท่ากับหนึ่งเพื่อเป็นตัวมาจำกัดขนาดของสัญญาณที่ได้ออกมา

2.2 หลักการพื้นฐานของอุปกรณ์โอทีเอ

โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier : OTA) เป็นอุปกรณ์แอกทีฟชนิดหนึ่งที่มีความคุณสมบัติคล้ายคลึงกับออปแอมป์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายงาน เช่นเดียวกับออปแอมป์ โอทีเอได้ถูกผลิตขึ้นในทางพาณิชย์ปี 1969 โดยบริษัทผู้ผลิตคือบริษัท อาร์ซีเอ (Radio Corporation of America) ซึ่ง โอทีเอเบอร์แรกที่ได้ผลิตขึ้นมาคือ เบอร์ CA3080 ซึ่งได้พัฒนาปรับปรุงโครงสร้างให้ดีขึ้นและขยายในปัจจุบัน (นงลักษณ์ เอี่ยมจรัส. 2545 : 24-25) ซึ่งความแตกต่างกันระหว่างออปแอมป์กับโอทีเอ ได้เปรียบเทียบให้เห็นดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างออปแอมป์และโอทีเอ

หัวข้อความแตกต่าง	อุปกรณ์ออปแอมป์	อุปกรณ์โอทีเอ
1. ความสามารถทางด้านเอาต์พุต	จ่ายแรงดัน	จ่ายกระแส
2. เอาต์พุตอิมพีแดนซ์	ต่ำ	สูง
3. ความสามารถในการขับโหลด	ที่ความต้านทานต่ำได้	ที่ความต้านทานสูงได้



ภาพที่ 2.4 สัญลักษณ์และวงจรสมมูลของโอทีเอ

จากวงจรสมมูลของ โอทีเอ เขียนสมการกระแสที่เอาต์พุตได้ดังนี้

$$I_o = g_m V_i \quad (2.8)$$

$$I_o = g_m (V_{i(+)} - V_{i(-)}) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g_m คือ ความนำถ่ายไอออน (Transconductance) ของโอทีเอ สามารถหาได้จาก (ขณะที่เอาต์พุตลงกราวด์)

$$g_m = \frac{I_B}{2V_T} \quad (2.10)$$

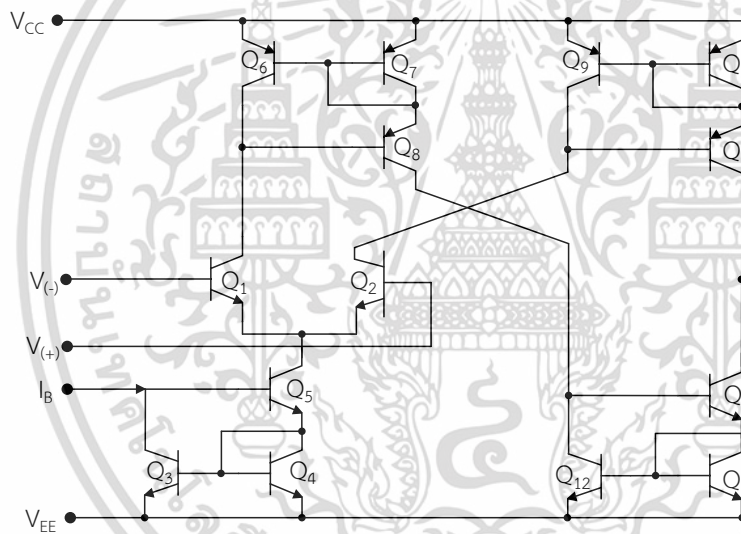
โดย

g_m คือ อัตราการขยายของโอทีเอ

I_B คือ กระแสไบอัสของโอทีเอ

V_T คือ Thermal voltage มีค่าประมาณ 26 mV ที่อุณหภูมิห้อง (27°C)

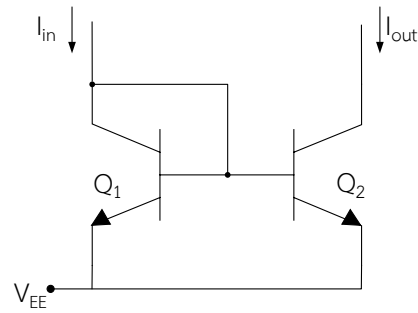
โครงสร้างวงจรระดับทรานซิสเตอร์ของ โอทีเอ



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างวงจรระดับทรานซิสเตอร์ของโอทีเอ

จากภาพที่ 2.5 เป็นโครงสร้างวงจรระดับทรานซิสเตอร์ของ โอทีเอ ซึ่งจะมีวงจร วงจร สะท้อนกระแสที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสและส่วนที่รับสัญญาณอินพุตผลต่าง

วงจรสะท้อนกระแสแบบพื้นฐานประกอบไปด้วยไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ดังแสดงใน ภาพ ที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 วงจรสะท้อนกระแสแบบพื้นฐาน

สำหรับความต้านทานต่อสัญญาณขนาดเล็กที่จุดเข้า R_{in} จะมีค่าประมาณเท่ากับค่าความต้านทานของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ที่ต่ออยู่ในรูปของไดโอดซึ่งจะมีค่าเท่ากับสมการที่ (2.11)

$$R_{in} = \frac{V_T}{I_{in}} \quad (2.11)$$

โดยที่ V_T มีค่าเท่ากับ kT/q เมื่อค่าคงที่ของ Boltzmann $= 1.38 \times 10^{-23}$ เป็นค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน 1 ตัว มีค่าเท่ากับ $= 1.6 \times 10^{-19}$ C และ T เป็นค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์มีหน่วยเป็นองศาเคลวิน โดย V_T จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิซึ่งที่อุณหภูมิ 27°C จะได้ค่า V_T ประมาณ $V_T = 26\text{mV}$

ส่วนความต้านทานจุดออกต่อสัญญาณขนาดเล็ก R_o จะมีค่าประมาณเท่ากับความต้านทานระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และสัปดาห์ดินซึ่งจะมีค่าเท่ากับสมการที่ (2.12)

$$R_o = \frac{V_A}{I_{out}} \quad (2.12)$$

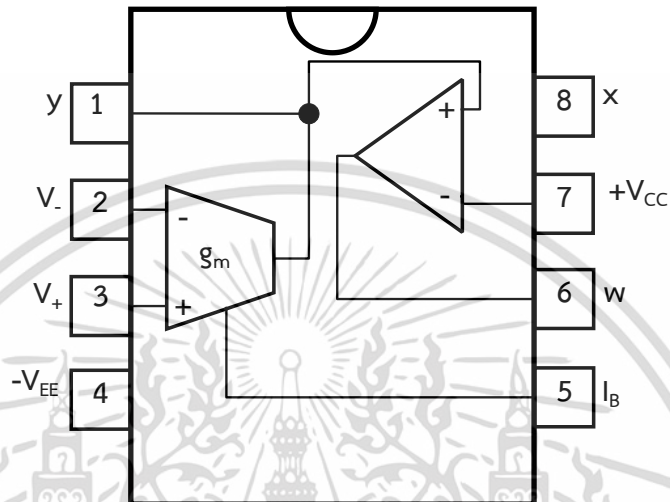
โดยที่ V_A คือค่าแรงดันจุดเริ่ม (Early Voltage)

2.3 ทฤษฎีและหลักการทำงานของไอซี LT1228

ในวิสัยครั้งนี้เป็นการนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์ที่สังเคราะห์และออกแบบโดยใช้ไอซีเชิงพาณิชย์เบอร์ LT1228 ดังนั้นจึงจะมีการอธิบายทฤษฎีและหลักการทำงานของไอซี LT1228 ก่อนที่จะเสนอรายละเอียดของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์ที่สังเคราะห์

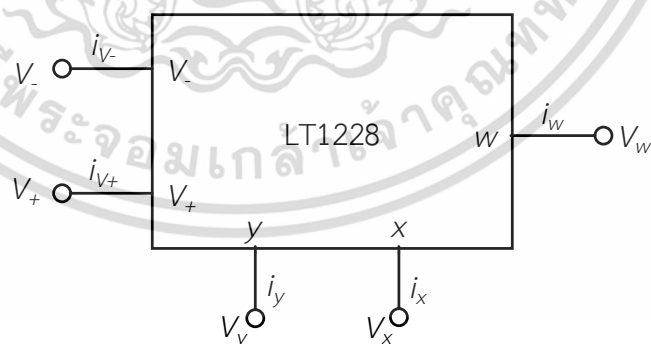
และออกแบบขึ้น วงจรรวมของไอซี LM1228 นี้ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์โดยบริษัท Linear เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเซียบริเวณนี้หากมีการไม่ว่ากรณิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technology Corporation เป็นไอซีที่ประกอบด้วย 8 ขาตามที่แสดงในภาพที่ 2.7 แสดงวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 2 อย่าง ได้แก่ โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier) ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายความนำถ่ายโอนที่ภาคอินพุต และ วงจรป้อนกลับกระแส (Current Feedback Amplifier)



ภาพที่ 2.7 วงจรและส่วนประกอบของไอซี LT1228 (Linear Technology Corporation. 1994 : 2)

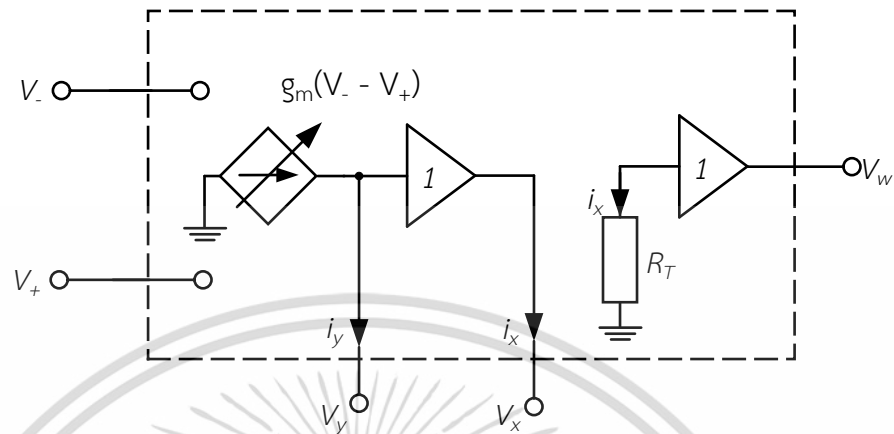
และเพื่อสะดวกและง่ายต่อการทำความเข้าใจในการนำไอซีไปใช้สังเคราะห์และออกแบบวงจรต่างๆ จึงแสดงสัญลักษณ์ของไอซี LT1228 ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์ของวงจรของไอซี LT1228

การแสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของไอซี LT1228 จะถูกระบุในภาพที่ 2.8 และคุณสมบัติของอุปกรณ์มีดังนี้ ที่ V_+ และ V_- เป็นขั้วสำหรับแรงดันอินพุต y เป็นขั้วของกระแสเอาต์พุตและแรงดันอินพุต x เป็นขั้วของแรงดันอินพุตและเอาต์พุต w เป็นขั้วของแรงดันเอาต์พุต ในขณะที่ขั้ว x และ w ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าอิมพีแดนซ์ค่อนข้างต่ำ รวมถึงขั้ว V_+ และ V_- และ ขั้วเอาต์พุต y มีค่าอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์โดยแสดงวงจรสมมูลของไอซี LT1228 ในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 วงจรสมมูลของไอซี LT1228

คุณสมบัติของตัวอุปกรณ์ไอซี LT1228 ที่ได้กล่าวไปนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.13)

$$\begin{pmatrix} I_{V_+} \\ I_{V_-} \\ I_y \\ V_x \\ V_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ g_m & -g_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_y \\ I_x \\ I_w \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

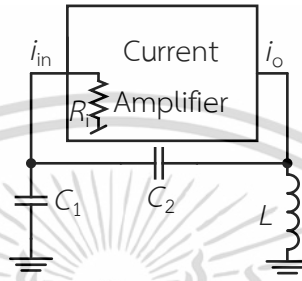
ค่าความต้านทาน R_T ในสมการที่ (2.13) มีค่าเป็นอนันต์และ g_m สามารถปรับค่าได้ด้วยอิเล็คทรอนิกส์โดยการปรับผ่านค่ากระแสไบอัส I_B

$$g_m = 10/I_B \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีและหลักการการทำงานของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์

วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นอ้างอิงมาจากวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างวงจรถยายกระแส Current amplifier (CA) และอุปกรณ์พาสซีฟซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งถูกดัดแปลงมาจากการใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์



ภาพที่ 2.10 วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่ประกอบด้วยวงจรถยายกระแส ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

จากภาพที่ 2.10 ถ้าตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ C_2 ($C_1 = C_2 = C$) จะได้สมการคุณลักษณะสมบัติตามสมการที่ (3.3)

$$s^3 C^2 L + s^2 CL \left(\frac{1}{R_f} - A \right) + 2sC + \frac{1}{R_f} = 0 \quad (2.15)$$

โดยที่ A คืออัตราขยายกระแส และ R_f คือค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของวงจรถยาย และจากสมการที่ (2.15) จะได้สมการความถี่ (Frequency of oscillation : FO) และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ (Condition of oscillation : CO) ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่คือ

$$FO : \omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{LC}} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณคือ

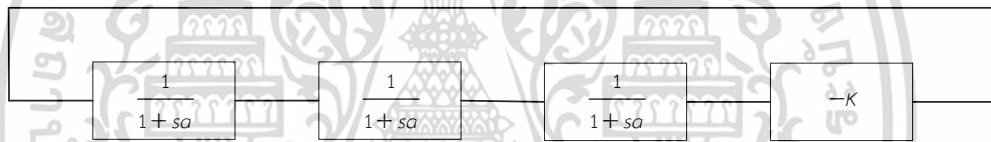
$$CO : 2AR_i \geq 1 \tag{2.17}$$

จากสมการที่ (2.16) และ (2.17) จะแสดงให้เห็นว่าสมการความถี่และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณอิสระจากกันโดยสมการความถี่ ถูกควบคุมโดยตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ ถูกควบคุมโดย A และ R_i

2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ

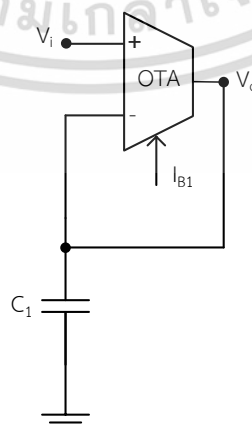
2.5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส

วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสดังภาพที่ 2.11 เป็นรูปแบบในการออกแบบโดยอาศัยวงจรป้อนกลับแบบปิดรูป



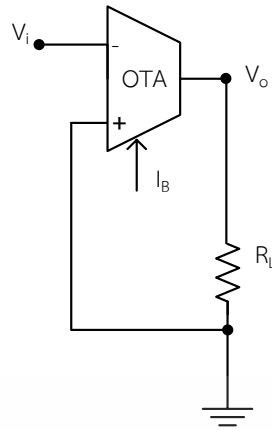
ภาพที่ 2.11 วงจรป้อนกลับโดยใช้เกณฑ์แบบปิดรูป

โดยในแต่ละบล็อกจะใช้วงจรโอทีเอ 2 แบบต่อร่วมกันซึ่งประกอบด้วยวงจรโอทีเอดังภาพที่ 2.12 และ ภาพที่ 2.13



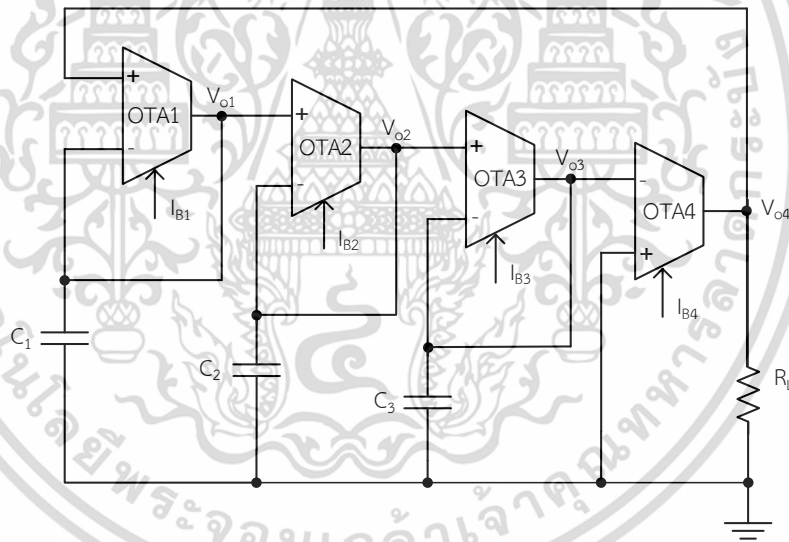
ภาพที่ 2.12 วงจรแทนค่าของ $\frac{1}{1+sa}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 วงจรแทนค่าของ $-K$

เมื่อทำการวงจรรนำโอทีเอ ดังภาพที่ 2.12 และ 2.13 มาต่อในรูปแบบของวงจรปิดรูปดังภาพที่ 2.11 จะได้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสนั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องได้แก่

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^3 C^3 + 3s^2 C^2 + 3sC + 1 + g_{m4} R_L = 0 \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (2.18) จะได้

$$-j\omega^3 C^3 - 3\omega^2 C^2 + 3j\omega C + 1 + g_{m4} R_L = 0 \quad (2.19)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (2.18) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ ได้ดังต่อไปนี้จะได้โดยกำหนดให้กระแส $I_B = I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3$

$$\text{โดยที่ } g_m = \frac{I_B}{2V_T}$$

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{I_B \sqrt{3}}{4V_T \pi C} \text{ หน่วย Hz} \quad (2.20)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$g_{m4} R_L \leq 8 \quad (2.21)$$

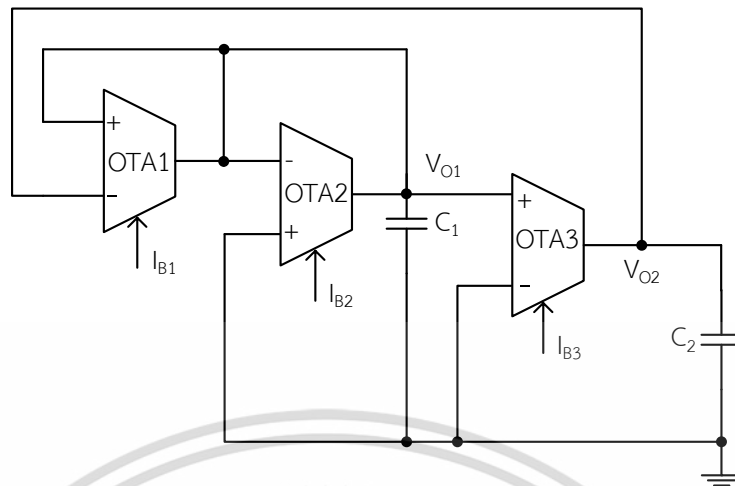
หรือเมื่อแทนค่า $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$ ใน (2.17) จะได้

$$\frac{I_{B4}}{2V_T} R_L \leq 8 \quad (2.22)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (2.22) ให้มีค่าน้อยกว่า 8 เล็กน้อย เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณไซน์ได้ทันทีที่มีป้อนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

2.5.2 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอเตรเจอร์

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอเตรเจอร์ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์นั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องได้แก่

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^2 C_1 C_2 + s C_2 (g_{m2} - g_{m1}) + g_{m1} g_{m3} = 0 \quad (2.23)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (2.23) จะได้

$$-j\omega^2 C_1 C_2 + j\omega^2 C_2 (g_{m2} - g_{m1}) + g_{m1} g_{m3} = 0 \quad (2.24)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (2.24) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณได้ดังต่อไปนี้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g_{m1} g_{m3}}{C_1 C_2}} \text{ หน่วย Hz} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ $C = C_1 = C_2$ จะได้ และแทนค่า $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$ ใน (2.25) จะได้

$$f = \frac{I_B}{4\pi V_T C} \quad (2.26)$$

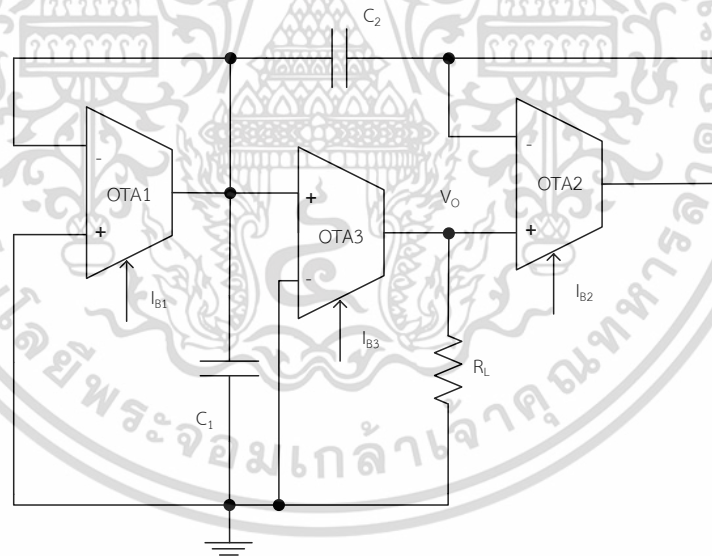
สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$I_{B1} \geq I_{B2} \quad (2.27)$$

จากสมการที่ (2.27) ในทางปฏิบัตินั้นต้องให้ค่า I_{B1} มีค่ามากกว่า I_{B2} เล็กน้อยจึงสามารถกำเนิดสัญญาณไซน์ได้โดยสัญญาณไซน์ที่ได้จะเป็นไซน์ที่ตี

2.5.3 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์นั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^2 C_1^2 + 2s C_1 g_m + s C_2 g_m - g_{m3} R_L g_m C_2 = 0 \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (2.24) จะได้

$$j\omega^2 C_1^2 + 2j\omega C_1 g_m + j\omega C_2 g_m - g_{m3} R_L g_m j\omega C_2 = 0 \quad (2.29)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (2.29) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการ
ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ

ได้ดังต่อไปนี้จะได้ (โดยกำหนดให้ $C = C_1 = C_2$ และ $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$)

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{I_B}{4\pi V_T C} \text{ หน่วย Hz} \quad (2.30)$$

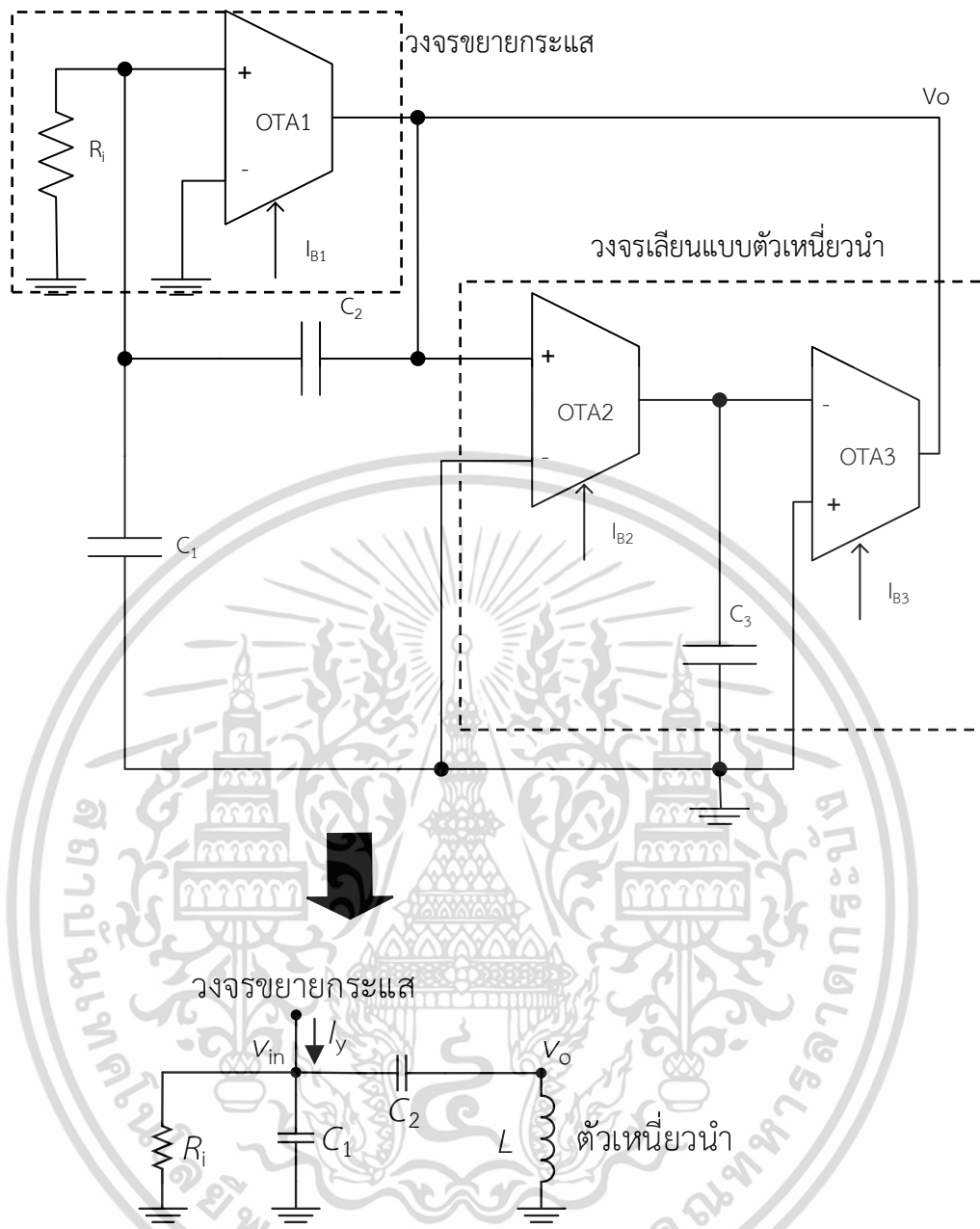
สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$g_{m3} R_L \geq 3 \quad (2.31)$$

ในทางปฏิบัตินั้นต้องกำหนดค่าในสมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณตามสมการที่ (2.31)
โดยให้ $g_{m3} R_L$ มากกว่า 3 เล็กน้อยจึงสามารถกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ดี

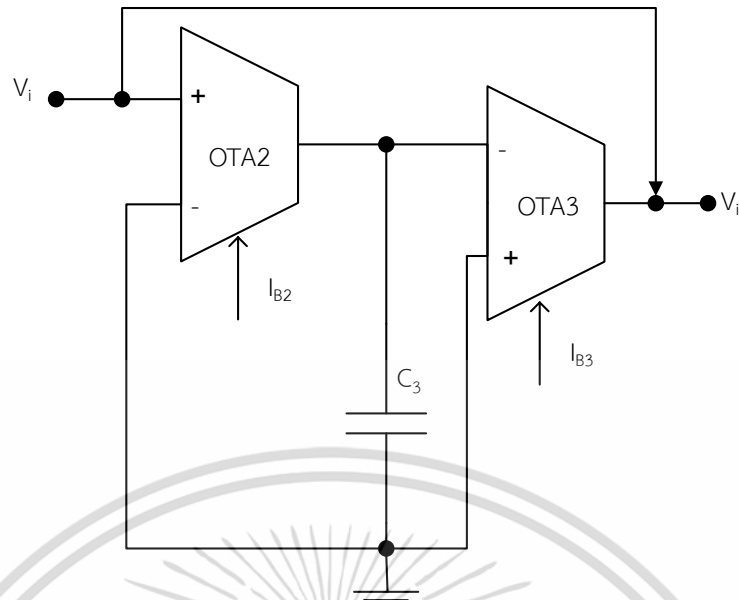
2.5.4 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบโคพิตตส์

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคพิตตส์ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคพิตตส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.18 วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำโดยใช้โอทีเอ

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์นั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง
สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^3 C^2 L + s^2 CL(G_i - g_{m1}) + 2sC + G_i = 0 \quad (2.32)$$

เมื่อแทนค่า $G_i = \frac{1}{R_i}$

$$s^3 C^3 L + s^2 CL\left(\frac{1}{R_i} - g_{m1}\right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (2.33)$$

แทนค่า $L = \frac{C_3 R_1}{g_{m2}}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3$ ในสมการที่ (2.33) จะได้

$$s^3 \frac{C^3 R_1}{g_{m2}} + s^2 C^2 R_1 \left(\frac{1}{R_i} - g_{m1} \right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (2.34) จะได้

$$j\omega^3 \frac{C^3 R_1}{g_{m2}} + j\omega^2 C^2 R_1 \left(\frac{1}{R_i} - g_{m1} \right) + 2j\omega C + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (2.35)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (2.35) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ และกำหนดให้ $g_m = g_{m2} = g_{m3}$ ได้สมการดังต่อไปนี้
สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{g_m \sqrt{2}}{2\pi C} \text{ หน่วย Hz} \quad (2.36)$$

หรือ

$$f = \frac{I_B \sqrt{2}}{4\pi V_T C} \quad (2.37)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$2g_{m1} R_i \geq 1 \quad (2.38)$$

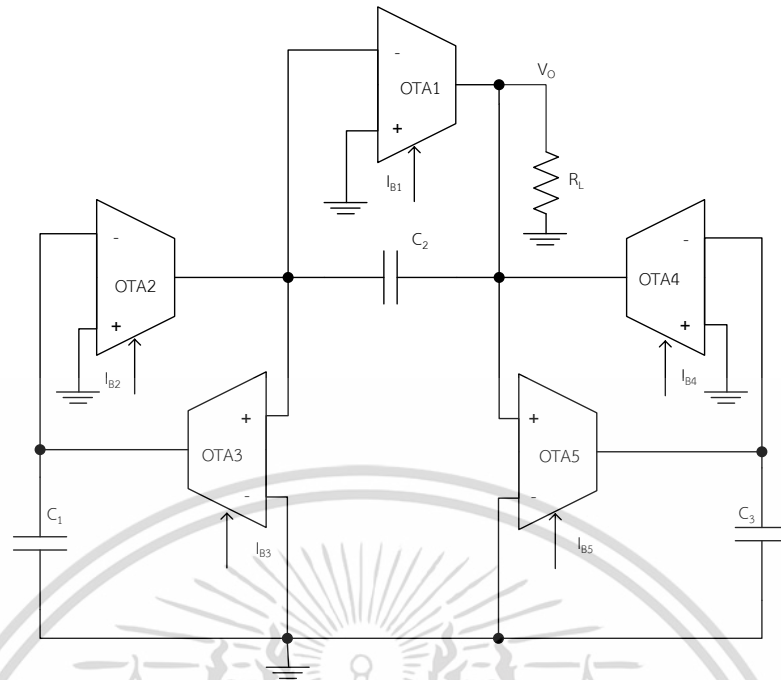
หรือ

$$\frac{I_{B1} R_i}{V_T} \geq 1 \quad (2.39)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (2.39) ให้มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณไซน์ได้ทันทีที่มีป้อนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

2.5.5 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบฮาร์ตเลย์

หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ตเลย์ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์นั้น มีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องคือ สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$g_{m1}R_L \frac{s^3}{s^3 + \frac{2}{C} + g_m^2 R s^2 + \frac{1}{g_m^2} + \frac{R_L g_m^4}{C^3}} = 1 \tag{2.40}$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (2.35) จะได้

$$g_{m1}R_L \frac{j\omega^3}{j\omega^3 + \frac{2}{C} + g_m^2 R j\omega^2 + \frac{1}{g_m^2} + \frac{R_L g_m^4}{C^3}} = 1 \tag{2.41}$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (2.41) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดังต่อไปนี้จะได้ (กำหนดให้ $g_m = g_{m2} = g_{m3} = g_{m4} = g_{m5}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3$)

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{g_m}{2\sqrt{2\pi C}} \text{ หน่วย Hz} \quad (2.42)$$

หรือเมื่อแทนค่า $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$ จะได้

$$f = \frac{I_B}{4\sqrt{2\pi V_T C}} \quad (2.43)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$g_{m1} R_L \geq 1 \quad (2.44)$$

หรือ

$$\frac{I_{B1} R_L}{2V_T} \geq 1 \quad (2.45)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (2.45) ให้มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณไซน์ได้ทันทีที่มีป้อนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

2.6 หลักการพื้นฐานของการสร้าง และการหาประสิทธิภาพชุดทดลอง

การสอน คือ กระบวนการที่ผู้สอนจะสร้างความสัมพันธ์กับผู้เรียน แนะนำให้นักเรียนได้มีกิจกรรมในการแก้ปัญหา เกิดการเรียนรู้จากการกระทำโดยมีแบบแผนให้ทำตามหรือการสร้างสถานการณ์ที่จะทำให้เกิดการเรียนรู้ขึ้นในฝ่ายผู้เรียนโดยใช้วิธีการสอนแบบต่างๆกัน แต่ที่สำคัญที่สุดคือความมุ่งหมายของบทเรียนหรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีการสอนขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการสอน ในบทเรียนที่เนื้อหาของวิชามีความซับซ้อนและมีรายละเอียดเป็นจำนวนมากนั้น การอธิบายบทเรียนเพียงอย่างเดียวมีข้อจำกัด คือ ผู้เรียนเกิดความไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ในเนื้อหาวิชานั้นๆ ไม่เกิดมโนคติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือความสามารถหลังจากที่ผู้สอนสอนเนื้อหาดังกล่าวจบลง ดังนั้นวิธีการสอนที่เหมาะสมที่สุดกับหัวข้อของวิชาที่มีลักษณะดังที่กล่าวข้างต้นก็คือ วิธีการสอนแบบทดลอง

2.6.1 วิธีการสอนแบบทดลอง

วิธีการสอนแบบทดลอง (Laboratory Method) หมายถึงวิธีสอนที่ให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองจนเกิดความรู้ ความเข้าใจเพื่อพิสูจน์ ข้อเท็จจริง พิสูจน์สมมติฐาน หรือค้นพบข้อความต่างๆ (คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์. 2553 : 45)

วิธีสอนแบบทดลอง คือกระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดโดยการให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลองและลงมือทดลอง ปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลสรุปอภิปราย ผลการทดลอง และสรุปการเรียนรู้ที่ได้จากการทดลอง (วารสาร ศิริขวัญ. 2555 : 50)

วิธีการสอนแบบทดลอง (Laboratory Method) หมายถึงการเรียนการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนเรียนโดยการกระทำหรือปฏิบัติจริง เป็นการนำรูปธรรมมาอธิบายเป็นนามธรรมนักเรียนจะค้นหาข้อสรุปจากการทดลองนั้นด้วยตนเอง โดยการเรียนการสอนแบบทดลองจะยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง อาจทดลองเป็นกลุ่มหรือรายบุคคลก็ได้ขึ้นกับเนื้อหาและความเหมาะสม (สุรางคณา จันทร์เรือง. 2552 : 72)

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า วิธีการสอนแบบทดลอง (Laboratory Method) หมายถึงการเรียนการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียน เรียนโดยการกระทำหรือปฏิบัติจริง เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูล สรุปอภิปราย ผลการทดลอง และสรุปการเรียนรู้ที่ได้จากการทดลอง

2.6.2 วัตถุประสงค์วิธีสอนแบบทดลอง

เป็นวิธีการที่มุ่งช่วยให้ผู้เรียนรายบุคคลหรือรายกลุ่มเกิดการเรียนรู้ โดยการเห็นผลประจักษ์ชัดจากการคิดและการกระทำของตนเองทำให้การเรียนรู้นั้นตรงกับความเป็นจริง มีความหมายสำหรับผู้เรียนและจำได้นาน (สุรางคณา จันทร์เรือง. 2552 : 25-29)

2.6.2.1 องค์ประกอบสำคัญของวิธีสอน

- (1) มีปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง
- (2) มีวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
- (3) มีการทดลอง
- (4) มีผลการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

2.6.2.2 ขั้นตอนสำคัญของวิธีสอน

- (1) ผู้สอน/ผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง
- (2) ผู้สอนให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการทดลองให้ขั้นตอนและรายละเอียดในการ

ทดลองแก่ผู้เรียน โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3) ผู้เรียนลงมือทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นตามขั้นตอนที่กำหนด และบันทึกข้อมูลการทดลอง
- (4) ผู้เรียนวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- (5) ผู้สอนกับผู้เรียนอภิปรายผลการทดลองและสรุปการทดลอง

2.6.3 ขั้นตอนวิธีการสอนแบบทดลอง

2.6.3.1 ขั้นเตรียมการทดลอง

(1) กำหนดจุดประสงค์ ผู้สอนต้องศึกษาหลักสูตร คู่มือครูหรือแผนการสอน แล้วตั้งจุดประสงค์การสอนให้ชัดเจนว่าต้องการให้ผู้เรียนมีพฤติกรรมแต่ละด้านอย่างไรบ้างจากการเรียนด้วยการลงมือทดลองปฏิบัติ

(2) วางแผนการทดลอง ขั้นนี้ผู้สอนต้องลำดับขั้นตอนการสอนและเตรียมกำหนดกิจกรรมไว้ล่วงหน้าว่าจะเข้าสู่บทเรียนอย่างไร ผู้เรียนจะต้องทดลองตามลำดับขั้นตอนอย่างไรบ้าง สรุปผลการทดลองและเสนอผลตอนใด อย่างไรหรือโดยวิธีใด เป็นต้น

(3) จัดเตรียมวัสดุและเครื่องมือ แบบบันทึกผลการทดลอง และแบบประเมินผล ผู้สอนต้องเตรียมให้พร้อม ให้มีจำนวนมากพอกับจำนวนนักเรียนและอยู่ในสภาพที่ใช้ได้

(4) ตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของเครื่องมือวัสดุที่ใช้ ผู้สอนควรได้ทดลองใช้เครื่องมือก่อนสอน เพื่อให้เห็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้าและเพื่อประโยชน์ในการแนะนำ ตักเตือนผู้เรียนขณะทดลอง

(5) เตรียมแบ่งกลุ่มผู้เรียน ผู้สอนต้องกำหนดกลุ่มผู้เรียนให้เหมาะสม ไม่ควรเป็นกลุ่มใหญ่เกินไป เพื่อให้ผู้เรียนทุกคนได้เรียนรู้วิธีการทดลองอย่างทั่วถึง การแบ่งกลุ่มผู้เรียนนี้ต้องสอดคล้องกับจำนวนวัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ที่มีอยู่

2.6.3.2 ขั้นทดลอง

(1) ชี้นำเข้าสู่บทเรียน เป็นขั้นสร้างความสนใจของผู้สอนแจ้งจุดประสงค์การทดลอง ขั้นตอน วิธีการทดลอง แนะนำการใช้เครื่อง วัสดุอุปกรณ์ ให้ผู้เรียนได้ทราบบทบาทของตน และให้ศึกษาคู่มือปฏิบัติการก่อนการทดลอง

(2) ขั้นทดลอง ผู้เรียนเป็นผู้ดำเนินการทดลองให้มีผู้สอนคอยดูแลแนะนำช่วยเหลือ ถ้าเป็นการทดลองที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ผู้สอนต้องคอยควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด

2.6.3.3 ขั้นเสนอผลการทดลอง

ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง และรายละเอียดประกอบ เช่น โครงการทดลอง การเตรียมการ วิธีการทดลอง และผลที่ได้จากการทดลอง

2.6.3.4 ขั้นอภิปรายสรุปผล

ในขั้นนี้ผู้เรียนจะแลกเปลี่ยนประสบการณ์ที่ตนได้รับ เช่น บางกลุ่มอาจได้ผลการทดลองที่คาดเคลื่อนก็จะได้ช่วยกันวิเคราะห์หาสาเหตุว่าผิดพลาดที่ขั้นตอนใด และมีแนวทางในการแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไร ในขั้นนี้ผู้สอนจะมีบทบาทในการให้ความคิดเห็นเพิ่มเติมย้ำประเด็นสำคัญ และสรุปหลักการความคิดรวบยอดที่ได้จากการทดลอง

2.6.3.5 ชั้นประเมินผล

เมื่อการอภิปรายผลสิ้นสุดลงผู้สอนควรได้ประเมินผลผู้เรียนในด้านต่างๆ และแจ้งให้ผู้เรียนทราบเพื่อปรับปรุงแก้ไขในการทดลองที่จะมีขึ้นในครั้งต่อไป เช่น ประเมินด้านการใช้เครื่องมือ ด้านความละเอียดรอบคอบในการทดลอง ด้านการจดบันทึกผลการทดลอง ด้านการรายงานผล ด้านการให้ความร่วมมือกับกลุ่ม เป็นต้น (วัลลภ จันทรตระกูล. 2558: 24-32)

2.6.4 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีสอนแบบทดลอง

2.6.4.1 ข้อดี

- (1) ผู้เรียนได้ประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ขณะลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง
- (2) ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการในการใช้ความคิดอย่างมีเหตุผล
- (3) เรียนมีทักษะในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
- (4) ผู้เรียนเกิดทักษะการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นการสังเกต การฝึกปฏิบัติการ ค้นคว้าหาข้อมูล เป็นต้น
- (5) ผู้เรียนสามารถนำผลการทดลองไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาขั้นต่อไปและในชีวิตจริงผู้เรียนเกิดความสุขและตื่นตัวกับการทดลอง ทำให้บทเรียนน่าสนใจยิ่งขึ้น

2.6.4.2 ข้อจำกัด

- (1) ในการดำเนินการทดลอง ถ้าทำผิดขั้นตอนอาจเกิดอันตรายได้
- (2) อาจเสียเวลาในการเรียนการสอนมากเพื่อรอผลการทดลอง
- (3) การสอนแบบทดลองบางครั้งต้องใช้ทรัพยากรมากทำให้การลงทุนสูง ซึ่งอาจไม่ได้ผลคุ้มค่ากับการที่ลงทุนไป
- (4) ในบางครั้งถ้าการทดลองโดยกลุ่ม อาจมีผู้เรียนหรือสมาชิกของกลุ่มหลีกเลี่ยงการปฏิบัติงาน ทำให้การเรียนการสอนไม่บรรลุวัตถุประสงค์เท่าที่ควร

2.6.5 องค์ประกอบของใบงานชุดทดลอง

ชุดทดลองเป็นนวัตกรรมทางการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากชุดสามารถให้ผู้เรียนปฏิบัติ (ทองเลิศ บุญเชิด. 2541) กล่าวว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีองค์ประกอบ ดังนี้

2.6.5.1 ชื่อกิจกรรม เป็นส่วนที่ระบุเลขที่ของกิจกรรมและชื่อกิจกรรม

2.6.5.2 คำชี้แจง เป็นส่วนที่อธิบายความมุ่งหมายหลักของกิจกรรมและลักษณะของการจัด กิจกรรมเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายที่วางไว้

2.6.5.3 จุดมุ่งหมาย เป็นส่วนที่ระบุจุดมุ่งหมายที่สำคัญของกิจกรรม

- (1) จุดมุ่งหมายทั่วไป เป็นส่วนที่บอกจุดมุ่งหมายทั่วไปของการจัดกิจกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) จุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม เป็นส่วนที่ระบุพฤติกรรมที่นักเรียนต้องทำ เพื่อให้บรรลุความมุ่งหมายของกิจกรรม

2.6.5.4 สารสำคัญ เป็นส่วนที่ระบุเนื้อหาของกิจกรรมเพื่ออธิบายให้ครูทราบว่าอะไร เป็นส่วนสำคัญที่จัดให้กับนักเรียน

2.6.5.5 เวลาที่ใช้ เป็นส่วนที่ระบุเวลาในการดำเนินกิจกรรม

2.6.5.6 สื่อ เป็นส่วนที่ระบุถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการดำเนินกิจกรรม เพื่อให้ครูทราบว่าต้องเตรียมอะไรบ้างในการทำกิจกรรมแต่ละครั้ง

2.6.5.7 การดำเนินกิจกรรม เป็นส่วนที่ระบุขั้นตอนการทำกิจกรรม ดังนี้

(1) ชี้นำ เป็นส่วนที่ครูเตรียมความพร้อมของนักเรียน

(2) ชี้นำดำเนินกิจกรรม เป็นส่วนที่ให้ความรู้และสาธิตประกอบการบรรยาย และให้ นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรม

(3) ชี้นำสรุป เป็นส่วนที่ครูและนักเรียนได้ช่วยกันรวบรวมข้อมูลความรู้จาก ชี้นำดำเนินกิจกรรมมาสรุปเพื่อให้ได้สาระสำคัญในการทำกิจกรรม

(4) ชี้นำประเมินผล เป็นส่วนที่ครูต้องการตรวจสอบว่าเมื่อจบกิจกรรมแต่ละ กิจกรรมแล้วนักเรียนสามารถทำกิจกรรมบรรลุวัตถุประสงค์หรือไม่

2.6.5.8 เอกสารประกอบการทำกิจกรรม เป็นส่วนที่ให้ตัวอย่างเอกสารไว้สำหรับให้ นักเรียนปฏิบัติ เรียกเอกสารนี้ว่า เอกสารสำหรับนักเรียน

2.6.5.9 ภาคผนวก เป็นส่วนที่ให้คำเฉลยของแบบฝึกหัด และข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น สำหรับ ครูเพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจกรรม

2.6.6 การสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง

แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอนช่วงอุตสาหกรรม คือการมีสื่อการเรียนการสอนที่ดีสอดคล้องกับหลักสูตรและผู้สอนได้นำไปใช้ได้อย่างถูกวิธี จะเป็นผลให้คุณภาพการสอนของผู้สอนดีขึ้น ในการผลิตสื่อการสอนควรคำนึงถึงระบบและวิธีการสอนที่จะต้องใช้หลัก 2 ประการที่ควรคำนึงคือ

2.6.6.1 เทคนิคการผลิต การสร้างชุดทดลอง ในการออกแบบและสร้างชุดทดลอง จะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

(1) ลักษณะของชุดทดลอง

(1.1) เหมาะสมกับการเรียนการสอนทั้งแบบรายกลุ่ม และรายบุคคล

(1.2) เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของเนื้อหา

(1.3) เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

(1.4) ต้องมีการแนะนำวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ตลอดจนขั้นตอนในการทดลอง

(2) ลักษณะทางเทคนิคของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.1) ง่ายต่อการทดลองและนำไปเก็บรักษา

(2.2) มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการซ่อมแซม

2.6.6.2 การออกแบบให้สอดคล้องกับระบบการสอน จุดมุ่งหมายการสอนและลักษณะที่จะนำไปใช้ สำหรับแนวทางในการออกแบบชุดสื่อการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอน

(1) ศึกษาขอบข่ายเนื้อหาวิชา ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ ที่ดำเนินควบคู่ไปคือการศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหา การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตร การสำรวจโรงงาน และสถานศึกษา

(1.1) การศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหาวิชา เพื่อการวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์และแบ่งระดับความยากง่ายของเนื้อหาวิชาที่จะทำการออกแบบสร้างสื่อการสอน โดยศึกษาจากตำราเอกสารการสัมมนา ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ และศึกษางานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

(1.2) การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตร เพื่อศึกษาความสอดคล้อง และความแตกต่างของหลักสูตรที่ใช้เรียนของสถานศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัน โดยศึกษาเอกสาร หลักสูตร การสอบถามผู้สอน ผลที่ได้จะช่วยในการเลือกและกำหนดหัวข้อเรื่องได้สอดคล้องกับหลักสูตร

(1.3) การสำรวจโรงงาน เป็นการสำรวจสภาพการทำงาน เครื่องมือ อุปกรณ์และเทคนิคที่ใช้ในการทำงานตามหัวข้อเรื่องของชุดสื่อการสอนโดยสอบถามวิศวกรโรงงาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องความรู้และทักษะที่ต้องการใช้งาน

(1.4) การสำรวจสถานศึกษา เป็นการเรียนรู้วิธีการสอนความพร้อม เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆในสถานศึกษา ตลอดจนปัญหาและอุปกรณ์ในการเรียนการสอนโดยการสำรวจหรือสอบถามจากผู้สอน การกำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์ จากขอบข่ายเนื้อหาที่ได้นำมาศึกษา เพื่อให้สามารถจำแนกเป็นส่วนต่างๆ เท่าที่จำเป็นได้ กล่าวคือให้รู้จักจุดมุ่งหมายและหน้าที่ของชุดทดลองว่าทำอะไร จึงจะสามารถทำงานได้ตามต้องการ และสามารถตอบสนองจุดมุ่งหมายของเนื้อหาวิชาได้อย่างครบถ้วน ผู้สร้างควรจะต้องออกแบบส่วนต่างๆ ของชุดทดลองอย่างไร จึงจะเป็นไปตามจุดมุ่งหมายและหน้าที่ที่กำหนดไว้ หรือถ้ามีการคำนวณเพื่อออกแบบ และวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ ก็ต้องมีการจัดเตรียมล่วงหน้าและทำการคำนวณให้พร้อมรวมทั้งต้องมองให้ครอบคลุมถึงการประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน และการซ่อมแซมหรือการตรวจปรับ ส่วนประกอบสำคัญ ต้องเตรียมวิธีการบำรุงรักษาชุดทดลองอย่างเหมาะสม เพื่อให้วัตถุประสงค์ของชุดสาธิตนี้ครอบคลุมกับการกำหนดขอบข่ายของเนื้อหาวิชาที่ได้เตรียมการมาแล้ว

(2) การออกแบบและการสร้างชุดสื่อการเรียนการสอนวัตถุประสงค์ของชุดทดลองที่ผ่านการวิเคราะห์และตรวจสอบแล้ว เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์การสอน หรือชุดทดลองที่ทำการออกแบบนี้สามารถนำไปใช้เป็นที่อุปกรณ์การสอนของผู้สอนและเป็นอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมของผู้เรียน ชุดสาธิตจึงมีความสำคัญต่อการสัมฤทธิ์ผลทางการเรียนรู้ของผู้เรียนและความสามารถในการทำงานด้านช่างอุตสาหกรรม การศึกษาทางด้านช่างอุตสาหกรรมสื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนการสอนประเภทชุดทดลองเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้เรียนช่างอุตสาหกรรมจำเป็นต้องได้รับประสบการณ์จากการเรียนรู้ที่เป็นรูปธรรมมากที่สุด เพื่อที่จะสามารถปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี ชุดทดลองต่างๆ จึงมีการผลิตขึ้นอย่างมาก การออกแบบและสร้างสื่อประเภทชุดทดลองนั้น จำเป็นต้องนำหลักการด้านการออกแบบทางด้านวิศวกรรมเชิงปฏิบัติการมาประยุกต์กับหน่วยงานที่ออกแบบสร้างตามลำดับดังนี้

(2.1) กำหนดจุดประสงค์ในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน การนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน ควรกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียน ในการออกแบบสร้างจะสำเร็จผลตามเป้าหมายและใช้ได้จริงจะต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ ประกอบได้แก่สภาพการณ์ในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลทางด้านวิชาการและกลุ่มผู้เรียน จากนั้นก็นำไปใช้เขียนวัตถุประสงค์เป็นข้อๆ และกำหนดขอบเขต คุณลักษณะของชุดทดลองที่ออกแบบสร้างต้องตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง

(2.2) กำหนดหน้าที่ของชุดทดลอง จากคุณลักษณะของชุดทดลองที่กำหนดขึ้น ซึ่งจะทำให้ทราบถึงหน้าที่ต่างๆ ของชุดสาธิตและปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามกำหนด

(2.3) การศึกษาปัจจัยที่ทำให้ชุดทดลองทำงานได้ ตามรายการหน้าที่ในขั้นตอนนี้เป็นการคิดค้นสิ่งที่สามารถทำให้อุปกรณ์สามารถทำได้ตามรายการหน้าที่ที่กำหนด โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของวัสดุ พลังงานและสัญญาณ สิ่งที่กำหนดอาจเขียนเป็นคำสั่งภาพสเกตซ์ต่างๆ หรือแบบวงจร เพื่อให้ทราบถึงส่วนประกอบของอุปกรณ์ให้มากที่สุด ชิ้นส่วนหรือแบบของงานที่คิดค้นขึ้นมาควรพิจารณาถึงการประกอบ ความยากง่ายในการผลิต อุปกรณ์ที่มีใช้ในท้องตลาดและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

(2.4) การวิเคราะห์และการตัดสินใจเลือกซื้อ ชิ้นส่วนและส่วนประกอบของอุปกรณ์จากการเลือกในหัวข้อ

(2.5) นำมาเลือกหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยพิจารณาเกณฑ์กำหนดเรื่องประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง ความคงทน การบำรุงรักษาและราคา

(2.6) การสร้างต้นแบบและการตรวจสอบ เมื่อเลือกชิ้นส่วนและอุปกรณ์ได้แล้ว จะต้องนำมาสเกตซ์เป็นภาพประกอบต้นแบบคร่าวๆ หรือเป็นภาพชิ้นงานง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในตอนนี้จะต้องมีการตรวจสอบการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ ตามรายการหน้าที่ ที่กำหนดไว้ด้วยอุปกรณ์ที่เลือกมาใช้ในส่วนประกอบต่างๆตามความจำเป็น

(2.7) การเขียนแบบ เพื่อประโยชน์ในการผลิตครั้งต่อไปงานเขียนแบบนี้ว่ามีความ สำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิต ดังนั้นแบบงานของชุดสาธิตต้องมีแบบภาพประกอบและการแยกชิ้นหรือแบบลายวงจรของแผ่นวงจรพิมพ์

(2.8) การเตรียมเอกสารประกอบ อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไป ควรต้องจัดเอกสารประกอบหรือคู่มือการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้จะใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้าง 1. การทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนการสอน จะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษา โดยผู้วิจัยเพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทานและความสะดวกในการลอกเลียนขึ้นมาใหม่ 2. ปรับปรุง ข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองข้างต้นจะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดสื่อการเรียนการสอนให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้

2.6.7 การจัดทำคู่มือการทดลอง

คู่มือการใช้ในการทดลองซึ่งจะต้องประกอบด้วย

- 2.6.7.1 คำแนะนำการใช้ชุดทดลอง
- 2.6.7.2 ส่วนประกอบของชุดทดลอง
- 2.6.7.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแต่ละวงจร
- 2.6.7.4 วงจรในการทดลอง
- 2.6.7.5 ผลที่จะได้จากการทดลอง
- 2.6.7.6 ข้อควรระมัดระวัง (ถ้ามี)

2.6.8 การประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้อ

การผลิตสื่อในการจัดการเรียนการสอนจะต้องมีขั้นตอนประเมินและจำเป็นในการตรวจสอบคุณภาพของสื่อซึ่ง กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ (2545 : 21) ได้อธิบายหลักการและเหตุผลไว้ว่า การประเมินคุณภาพของสื่อที่บัญญัติไว้ตามมาตรา 64 แห่งพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ 2542 ดังนี้ “วิธีจะต้องส่งเสริมสนับสนุนให้มีการผลิตและพัฒนาแบบเรียน ตำราเรียน หนังสือทางวิชาการ สื่อสิ่งพิมพ์อื่นๆ วัสดุ อุปกรณ์ และเทคโนโลยีการศึกษา ประกอบกับตามความในมาตรา 65 กล่าวว่า “ให้มีการพัฒนาบุคลากรทั้งด้านผลิตและผู้ใช้เทคโนโลยีการศึกษาการศึกษาเพื่อให้มีความรู้ความสามารถและทักษะในการผลิตรวมทั้งเทคโนโลยีที่เหมาะสมมีคุณภาพและประสิทธิภาพ

ในการประเมินสื่อการเรียนรู้อที่จะวัดค่าประสิทธิภาพ การดำเนินการนั้น ควรจัดเป็นคณะกรรมการบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย จำนวน 3 – 5 คนดังนี้ 1. ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาต่าง ๆ ที่ประเมิน ซึ่งจะช่วยพิจารณาในหลักวิชาการของสื่อที่ประเมินได้ถูกต้องเหมาะสม 2. ผู้มีประสบการณ์ด้านการสอนหรือการนิเทศ ซึ่งจะช่วยในแง่เนื้อหาที่นำเสนอเกี่ยวกับวัยของผู้เรียน 3. ผู้มีความรู้ความเข้าใจในหลักสูตรซึ่งจะเป็นผู้ช่วยตรวจพิจารณาว่ามีความ สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 Chung (2007 : 47-52) ได้นำเสนอการสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคพิตและฮาร์ทเลย์โดยใช้โอทีเอ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์วงจรในกรณีที่ไม่เป็นอุดมคติและวิเคราะห์ในกรณีความถี่สูง จะเห็นได้ว่าวงจรที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นมีข้อดี คือ สามารถควบคุมวงจรมองได้ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการปรับจูนกระแสไบแอส ความถี่และเงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณ สามารถปรับได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน

2.7.2 มนตรี คำเงิน (2552 : 352) ได้นำเสนอวงจรออสซิลเลเตอร์แบบควอเดร่าเจอร์โหมตกระแสโดยใช้วงจร OTA สองวงจรและตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์สองตัว วงจรที่นำเสนอสามารถให้เอาต์พุตกระแสที่มีอิมพีแดนซ์สูงสองเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ค่าความถี่การออสซิลเลตสามารถปรับค่าได้ด้วยกระแสหรือแรงดันที่ไบอัสให้กับวงจร OTA วงจรที่นำเสนอใช้ตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์และไม่ใช้ตัวต้านทานจึงทำให้เหมาะกับการนำไปสร้างวงจรรวม

2.7.3 ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมาตย์ (2557 : 1) ได้นำเสนอการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอเดร่าเจอร์โหมตกระแสโดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ซึ่งมีหลักการสังเคราะห์มาจากโครงสร้างบล็อกไดอะแกรม อุปกรณ์แอกทีฟหลักที่ใช้ในวงจรมีคุณสมบัติเด่น คือ สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ วงจรสังเคราะห์ขึ้นสามารถสร้างกระแสเอาต์พุตรูปคลื่นไซน์จำนวน 2 เอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศาอุปกรณ์พาสซีฟที่นำมาใช้ในวงจรมีเพียงตัวเก็บประจุเท่านั้นและเป็นการต่อแบบลงกราวด์จึงทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม นอกเหนือจากนี้ยังสามารถปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณและปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โดยปรับกระแสไบอัสของอุปกรณ์แอกทีฟ

2.7.4 ภัทรदानันท์ อินทรนุช (2560 : 53-58) ได้นำเสนอการพัฒนาชุดทดลอง เรื่อง อุปกรณ์ไทรสเตอร์วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองรวมถึงการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนซึ่งมีการสร้างชุดทดลองและใบงานการทดลองโดยลำดับขั้นตอนดังนี้ การเลือกเนื้อหา กำหนดเวลา กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม จัดลำดับเนื้อหา วางแผนการสอน ลงมือผลิตสื่อ นำชุดทดลองและใบงานไปประเมิน ซึ่งผลที่ได้คือประสิทธิภาพชุดทดลอง คือ 81.83/80.17 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 80/80 และประชากรมีความพึงพอใจต่อชุดทดลองอยู่ในระดับดี แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่คือเนื้อหายังไม่ครอบคลุมในเรื่องที่เกี่ยวข้องทั้งหมดควรมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

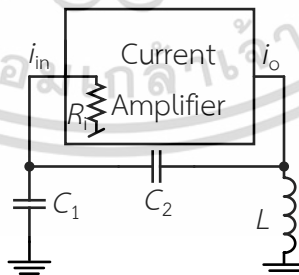
วิธีดำเนินการงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่สามารถควบคุมการทำงานได้แบบอิเล็กทรอนิกส์รวมถึงการสร้างชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- 3.1 การสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์
- 3.2 การวิเคราะห์วงจรวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์
- 3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์
- 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.5 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์

วงจรกิจกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้อ้างอิงมาจากวิจัยของ Sotner, et. al. (2014 : 121-136) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างวงจรรขยายกระแส Current Amplifier (CA) และอุปกรณ์พาสซีฟซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งถูกดัดแปลงมาจากการใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์



ภาพที่ 3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่ประกอบด้วยวงจรรขยายกระแสตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.1 ถ้าตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ C_2 ($C_1 = C_2 = C$) จะได้สมการคุณลักษณะสมบัติตามสมการที่ (3.1)

$$s^3 C^2 L + s^2 CL \left(\frac{1}{R_i} - A \right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3.1)$$

โดยที่ A คืออัตราขยายกระแส และ R_i คือค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของวงจรถยาย และจากสมการที่ (3.1) จะได้สมการความถี่ และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่คือ

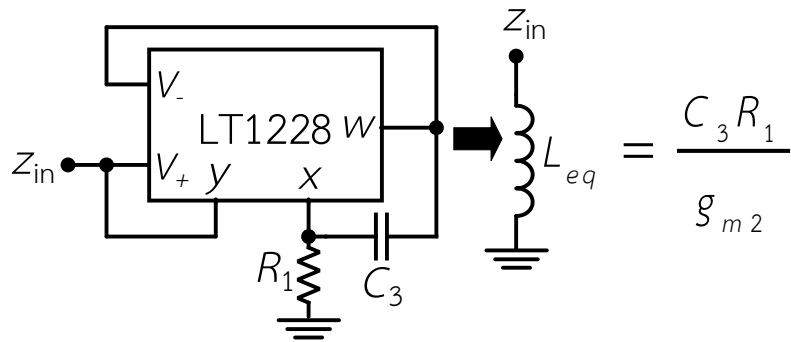
$$FO: \omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{LC}} \quad (3.2)$$

สมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณคือ

$$CO: 2AR_i \geq 1 \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) จะแสดงให้เห็นว่าสมการความถี่และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณอิสระจากกันโดยสมการความถี่ ถูกควบคุมโดยตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ ถูกควบคุมโดย A และ R_i

วงจรถายสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาต้องการให้มีการปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ดังนั้นจึงสร้างวงจรถายแบบตัวเหนี่ยวนำและวงจรถายกระแสจากไอซี LT1228 โดยลำดับชื่อให้กระแสไบอัส I_{B1} เป็นตัวควบคุมค่าความเหนี่ยวนำของไอซี LT1228 ของวงจรถายกระแส (g_{m1}) ดังรูปที่ 3.3 และกระแสไบอัส I_{B2} เป็นตัวควบคุมค่าความเหนี่ยวนำของไอซี LT1228 ของวงจรถายแบบตัวเหนี่ยวนำ (g_{m2}) ดังรูปที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำโดยใช้ไอซี LT1228

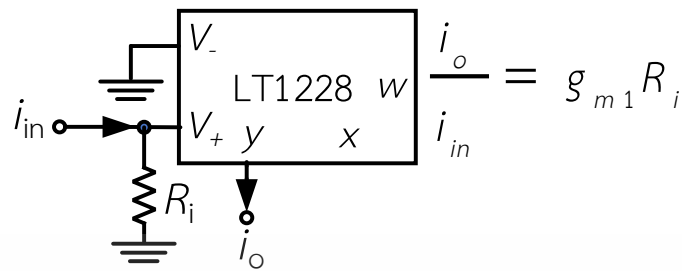
สมการค่าความเหนี่ยวนำที่จำลองโดยไอซี LT1228 คือ

$$L_{eq} = \frac{C_3 R_1}{g_{m2}} \quad (3.4)$$

ดังที่แสดงในสมการที่ (3.2) สมการสมการความถี่ ถูกควบคุมโดยการปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ และสมการที่ (3.3) สมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ ถูกควบคุมโดยการปรับค่า A และ R ; ดังนั้นในการสังเคราะห์และออกแบบวงจรเพื่อให้สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์หรือลดจำนวนอุปกรณ์พาสซีฟจะต้องออกแบบอุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุ เพื่อควบคุมกระแสไบอัสได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมถึงวงจรถยายกระแส ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกการใช้วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำโดยใช้อุปกรณ์ไอซี LT1228 เนื่องจากการปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เป็นอุปกรณ์พาสซีฟไม่สามารถปรับค่าได้ง่ายคือจะต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ซึ่งข้อเสียคือจะมีทั้งขนาดของอุปกรณ์ น้ำหนักที่มาก และรวมถึงต้องทำการปรับค่าอุปกรณ์ในเชิงกลด้วย อุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำแบบพาสซีฟจึงไม่ได้รับความนิยมในการนำมาออกแบบวงจรประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อกวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาต้องการให้มีการปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ดังนั้นจึงสามารถสร้างค่าความเหนี่ยวนำจากไอซี LT1228 ดังภาพที่ 3.2 เพื่อให้สามารถควบคุมค่า g_m ผ่านกระแสไบอัสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุม

เช่นเดียวกันในการสังเคราะห์และออกแบบวงจรเพื่อให้สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์หรือลดจำนวนอุปกรณ์พาสซีฟในส่วนของวงจรถยายกระแสมีการใช้อุปกรณ์ไอซี

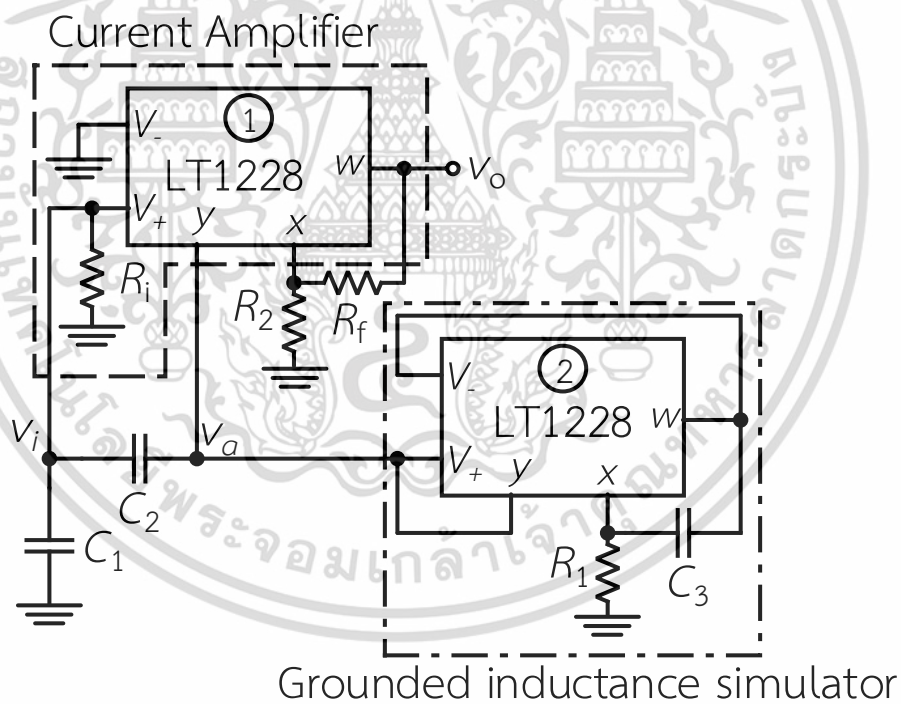
LT1228 ดังแสดงในภาพที่ 3.3 เพื่อให้สามารถควบคุมค่า g_m ผ่านกระแสไบอัสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุม



ภาพที่ 3.3 วงจรขยายกระแสโดยใช้ไอซี LT1228

สมการอัตราขยายของวงจรขยายกระแส คือ

$$A_i = g_{m1} R_i \tag{3.5}$$



ภาพที่ 3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์โดยใช้ไอซี LT1228

วงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นการต่อวงจขยายกระแสดังภาพที่ 3.3 ร่วมกับวงจรถ่ายค่าความเหนี่ยวนำดังภาพที่ 3.2 และอุปกรณ์เก็บประจุทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปวงจรถ่ายสัญญาณอินพุตแบบโคลพิตตส์ที่สร้างจากอุปกรณ์ไอซี LT1228 ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ดังภาพที่ 3.4

3.2 การวิเคราะห์วงจรถ่ายสัญญาณอินพุตแบบโคลพิตตส์

ในการวิเคราะห์วงจรถ่ายสัญญาณอินพุตแบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอด้วยรูปที่ 3.4 จะพิจารณาว่าไอซี LT1228 มีคุณสมบัติเป็นไปในทางอุดมคติตามที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 ซึ่งแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์วงจรถ่ายสัญญาณนี้

เมื่อทำการวิเคราะห์ภาพที่ 3.4 จะทำให้สามารถหาสมการแรงดันเอาต์พุต V_{in} และ V_o ได้ดังต่อไปนี้ได้ดังนี้โดย

พิจารณาที่โหนด V_{in} สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$V_{in} \frac{1}{R_i} + V_{in} sC_2 + V_{in} sC_1 - V_o sC_1 = 0 \quad (3.6)$$

จัดรูปสมการสมการที่ (3.6) เพื่อให้ได้สมการ V_o ดังนี้

$$V_o = V_{in} \left(\frac{sC_1}{R_i} + \frac{C_2}{C_1} + 1 \right) \quad (3.7)$$

พิจารณาที่โหนด V_o สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$V_{in} sC_1 - V_o sC_1 + g_{m1} V_{in} = \frac{V_o}{sL} \quad (3.8)$$

จัดรูปสมการที่ (3.8) ใหม่ได้ดังนี้

$$V_{in} (s^2 C_1 L + sL g_{m1}) = V_o (s^2 C_1 L + 1) \quad (3.9)$$

แทนค่าสมการที่ (3.7) ลงในสมการที่ (3.9) จะได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{in} (s^2 C_1 L + s L g_{m1}) = V_{in} \left(\frac{s C_1}{R_i} + \frac{C_2}{C_1} + 1 \right) (s^2 C_1 L + 1) \quad (3.10)$$

จัดรูปสมการที่ (3.10) ใหม่ได้ดังนี้

$$s^3 C_1 C_2 L + \frac{s^2 C_1 L}{R_i} - s^2 C_1 L g_{m1} + s C_2 + s C_1 + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3.11)$$

เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์แทนค่า $C_1 = C_2 = C$ ในสมการที่ (3.11) จะได้สมการดังนี้

$$s^3 C^2 L + s^2 C L \left(\frac{1}{R_i} - g_{m1} \right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3.12)$$

แทนค่า $s = j\omega_0$ ในสมการที่ (3.12)

$$j\omega_0^3 C^2 L + j\omega_0^2 C L \left(\frac{1}{R_i} - g_{m1} \right) + 2j\omega_0 C + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3.13)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (3.13) จะพบว่า เป็นสมการจำนวนเชิงซ้อนซึ่งอยู่ในรูปผลรวมของส่วนจำนวนจริงและส่วนจำนวนจินตภาพเมื่อพิจารณาในส่วนของจำนวนจริงจะได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเป็น

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{LC}} \quad (3.14)$$

ในขณะที่ส่วนของจำนวนจินตภาพจะนำมาหาเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ ดังนี้

$$2g_{m1} R_i \geq 1 \quad (3.15)$$

จากภาพที่ 3.4 R_2 และ R_f เป็นตัวต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมขนาดของรูปคลื่นหรืออัตราขยายแรงดันของคลีนไซน์ที่ได้และเนื่องจากที่โหนด V_O มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำจึงทำให้สามารถ

นำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นได้โดยไม่ต้องมีวงจรบัฟเฟอร์ ถ้าหากตัวเก็บประจุ C_1 C_2 และ C_3 เท่ากัน ($C_1 = C_2 = C_3 = C$) จะได้สมการของวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำ คือ

$$L_{eq} = \frac{CR_1}{g_{m2}} \quad (3.16)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (3.16) ลงในสมการที่ (3.12) จะได้สมการลักษณะสมบัติของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคพิตตส์ดังสมการที่ (3.17)

$$s^3 \frac{C^3 R_1}{g_{m2}} + s^2 C^2 R_1 \left(\frac{1}{R_i} - g_{m1} \right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3.17)$$

และจากสมการคุณลักษณะสมบัติของวงจรถูกกำเนิดสมการที่ (3.17) จะทำให้ได้สมการจะได้สมการความถี่ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่ คือ

$$FO: \omega_0 = \frac{1}{C} \sqrt{2 \frac{g_{m2}}{R_1}} \quad (3.18)$$

และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$CO: 2g_{m1}R_i \geq 1 \quad (3.19)$$

เมื่อแทนค่า $g_{mi} = 10/I_{Bi}$ ($i = 1, 2$) ในสมการที่ (3.18) และ (3.19) จะทำให้ได้สมการจะได้สมการความถี่และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่

$$FO: \omega_0 = \frac{1}{C} \sqrt{20 \frac{I_{B2}}{R_1}} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ

$$CO : 20I_{B1}R_j \geq 1 \quad (3.21)$$

จากสมการที่ (3.20) และ (3.21) จะเห็นได้ว่าการปรับค่าใน สมการความถี่ จะแยกอิสระจากการปรับค่าสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ โดยที่ควบคุมค่าในสมการความถี่ โดยการปรับค่ากระแส I_{B2} และควบคุมสมการเงื่อนไข โดยการปรับค่ากระแส I_{B1} และอัตราขยายแรงดันของคลีนไซน์จะถูกควบคุมโดยการปรับค่า R_2 และ R_f โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อทั้งกับสมการความถี่และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณโดยแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.22)

สมการอัตราขยายแรงดัน

$$A_v = \frac{R_f}{R_2} + 1 \quad (3.22)$$

3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์

จากการสังเคราะห์วงจรและวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเจอร์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โดยพิจารณาสมการลักษณะสมบัติของวงจรถัดสมการที่ (3.17) สมการความถี่ดังสมการที่ (3.18) และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณดังสมการที่ (3.19) โดยตัวอย่างการออกแบบค่าของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์มีรายละเอียดดังนี้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในการสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่น่าเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นวงจรที่มีการต่อร่วมกันระหว่างวงจรขยายกระแส วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ และเพื่อวัตถุประสงค์ที่ว่าจะให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ดังกล่าวสามารถปรับค่าได้ทางอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อพิจารณาจากสมการความถี่และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณจึงมีการสร้างวงจรขยายกระแสและวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำจากไอซี LT1228 ซึ่งในวงจรถัดสมการที่ (3.17) สมการความถี่ดังสมการที่ (3.18) และสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณดังสมการที่ (3.19) โดยตัวอย่างการออกแบบค่าของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โดยการควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ LT1228 จำนวน 2 ตัว ซึ่งมีอุปกรณ์ไอซีเอ ในการทำหน้าที่ภาคอินพุตและมีออปแอมป์ทำหน้าที่ในภาคเอาต์พุตเมื่อพิจารณาไอซีเบอร์ LT1228 พบว่าค่ากระแสไบอัสที่จ่ายให้กับวงจร I_{B1} ทำหน้าที่ควบคุมค่าความนำถ่ายโอของไอซีในวงจรขยายกระแส และ I_{B2} ทำหน้าที่ควบคุมค่าความนำถ่ายโอของไอซีในวงจรวจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งวงจรมีตัวต้านทานจำนวน 4 ตัว และตัวเก็บประจุจำนวน 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบจึงกำหนดค่าตัวเก็บประจุ $C_1 = C_2 = C_3 = C = 1nF$, $R_i = R_1 = 1k\Omega$ และ $R_2 = R_f = 2.2k\Omega$ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในวงจรดังกล่าวไปแทนใน สมการเงื่อนไขกำเนิดสัญญาณในสมการที่ (3.19)

$$2(g_{m1})(1k) = 1 \quad (3.23)$$

$$g_{m1} = 0.5mS \quad (3.24)$$

เมื่อแทนค่าให้ $g_{m1} = 10/I_{B1}$ ในสมการที่ (3.24)

$$I_{B1} = (0.5mS)(10) \quad (3.25)$$

$$I_{B1} = 50\mu A \quad (3.26)$$

และนำค่าความต้านทานและค่าความเก็บประจุที่กำหนดไว้ในวงจรดังกล่าวไปแทนในสมการความถี่ในสมการที่ (3.18) เมื่อต้องการความถี่เท่ากับ 250kHz กระแส I_{B1} จะหาได้จาก

$$FO: \omega_0 = \frac{1}{1nF} \sqrt{20 \frac{I_{B1}}{1k\Omega}} \quad (3.27)$$

เมื่อต้องการหาค่าความถี่ให้ทำการแทนค่า $\omega_0 = 2\pi f$ ในสมการ (3.27) จะได้ว่า

$$2\pi f = \frac{1}{1nF} \sqrt{20 \frac{I_{B1}}{1k\Omega}} \quad (3.28)$$

แทนค่า $f = 250kHz$ ในสมการที่ (3.28)

$$2\pi(250kHz) = \frac{1}{1nF} \sqrt{20 \frac{I_{B1}}{1k\Omega}} \quad (3.29)$$

จะได้กระแส I_{B1} ดังสมการที่ (3.30)

$$I_{B1} = 123\mu A \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีองค์ประกอบ 2 ส่วนดังนี้

3.2.1 ชุดทดลองวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

ประกอบด้วย

3.2.1.1 บอร์ดทดลองวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1.2 ใบงานประกอบชุดทดลองวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

3.2.2 แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

3.5 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.5.1 การสร้างชุดทดลองวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

การสร้างชุดทดลอง เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอนเมื่อมีสื่อการสอนที่ดีและสอดคล้องกับหลักสูตร รวมถึงผู้สอนสามารถนำไปใช้อย่างถูกต้องจะส่งผลให้คุณภาพในการจัดการเรียนรู้สูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบชุดทดลองวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องคำนึงถึงการพัฒนาความรู้และทักษะในการปฏิบัติวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันหรือในระดับการเรียนการสอนที่สูงขึ้นไปของผู้เรียน โดยการสร้างชุดทดลองนี้ ได้ยึดหลักการออกแบบทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ชุดทดลองที่ได้รับมีประสิทธิภาพสูงสุด (วัลลภ จันทระกุล, 2552 : 24-32) การสร้างชุดทดลองวงจรรำเนตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย 1. บอร์ดประกอบชุดทดลอง 2. ใบงานจำนวน 5 ใบงาน และนำชุดทดลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่านประเมิน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีขั้นตอนการสร้างและประเมิน ดังนี้

3.5.1.1 การสร้างบอร์ดประกอบชุดทดลอง มี 8 ขั้นตอน ดังนี้

(1) กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการให้ผู้เรียนสามารถมีความรู้ ความเข้าใจ และปฏิบัติได้ ได้แก่ อธิบายคุณลักษณะ คำนวณ ต่อ และออกแบบ วงจรรำเนตสัญญาณไซน์แบบต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) กำหนดรายการหน้าที่ของชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบต่างๆ ในบอร์ดชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถทดลองและปฏิบัติให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งขึ้น โดยทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยกำเนิดสัญญาณไซน์แบบต่างๆ ดังนี้

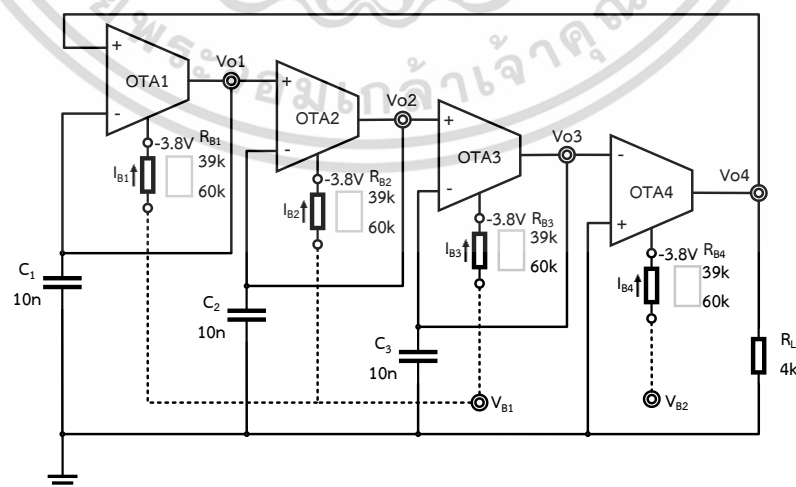
- (2.1) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟ
- (2.2) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์
- (2.3) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์
- (2.4) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์
- (2.5) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์
- (2.6) วงจรควบคุมแรงดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

(3) คิดค้นหาแนวทาง หรือสิ่งที่จะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ต้องการได้ โดยใช้แนวทางการสร้างชุดทดลองโดยการเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง คือให้ผู้เรียนสามารถทดลองทางด้านปฏิบัติควบคู่ไปกับการเรียนทางด้านทฤษฎี

(4) ผู้วิจัยกำหนดขนาดความกว้าง ความยาว และตำแหน่งขององค์ประกอบต่าง ๆ บนบอร์ดประกอบชุดทดลอง

(5) ผู้วิจัยศึกษาวงจรและออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรโดยการคำนวณและเลือกใช้โปรแกรม Pspice ในการจำลองการทำงานของวงจรเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ เมื่อมีค่าตรงหรือใกล้เคียงกันจึงนำไปทดลองต่อวงจรจริงลงไฟโต้บอร์ดและทำการทดสอบวงจรโดยการวัดค่าต่างๆตามทีออกแบบไว้และเมื่อได้ผลการทดลองที่ถูกต้องจึงทำการออกแบบลายวงจรและกำหนดการวางอุปกรณ์ในโปรแกรม Visio และใช้โปรแกรม TinyCAD เพื่อการออกแบบและสร้างลายทองแดงโดยทำการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ต่างๆดังนี้

(5.1) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟ



ภาพที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟโดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟฟ์นั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^3 C^3 + 3s^2 C^2 + 3sC + 1 + g_{m4} R_L = 0 \quad (3.31)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (3.31) จะได้

$$-j\omega^3 a^3 - 3\omega^2 a^2 + 3j\omega a + 1 + g_{m4} R_L = 0 \quad (3.32)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (3.32) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบกำหนดให้กระแส $I_B = I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

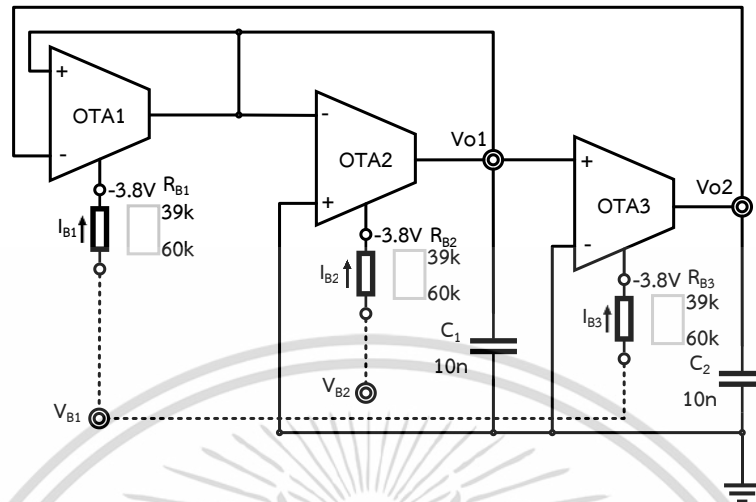
$$f = \frac{I_B \sqrt{3}}{4V_T \pi C} \text{ หน่วย Hz} \quad (3.33)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$g_{m4} R_L \leq 8 \quad (3.34)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (3.34) ให้มีค่าน้อยกว่า 8 เล็กน้อย เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณไซน์ได้ทันทีที่มีป้อนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

(5.2) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์



ภาพที่ 3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์นั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^2 C_1 C_2 + s C_2 (g_{m2} - g_{m1}) + g_{m1} g_{m3} = 0 \quad (3.35)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (3.35) จะได้

$$-j\omega^2 C_1 C_2 + j\omega^2 C_2 (g_{m2} - g_{m1}) + g_{m1} g_{m3} = 0 \quad (3.36)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (3.36) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบจึงกำหนดให้กระแส $I_B = I_{B1} = I_{B3}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

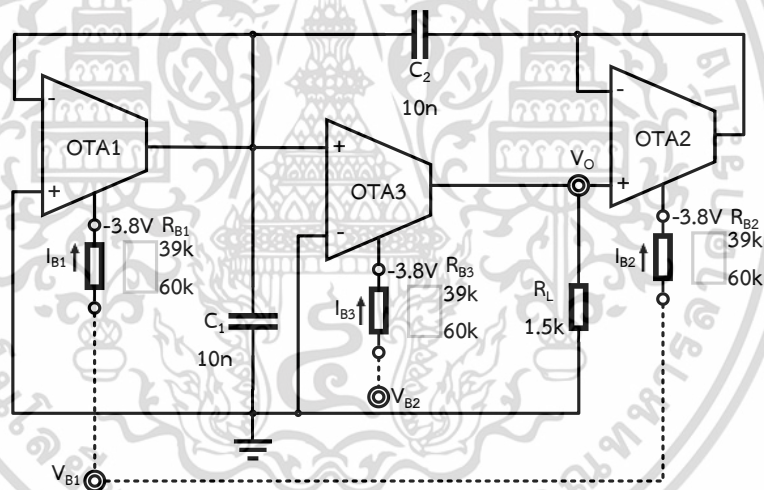
$$\text{หรือ} \quad f = \frac{I_B}{4\pi V_T C} \quad (3.37)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$I_{B1} \geq I_{B2} \quad (3.38)$$

จากสมการที่ (3.38) ในทางปฏิบัตินั้นต้องให้ค่า I_{B1} มีค่ามากกว่า I_{B2} เล็กน้อยจึงสามารถกำเนิดสัญญาณขึ้นได้โดยสัญญาณขึ้นที่ได้จะเป็นไซน์ที่ดี

(5.3) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์



ภาพที่ 3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์นั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^2 C_1^2 + 2s C_1 g_m + s C_2 g_m - K g_m s C_2 = 0 \quad (3.39)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (3.39) จะได้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$j\omega^2 C_1^2 + 2j\omega C_1 g_m + j\omega C_2 g_m - K g_m j\omega C_2 = 0 \quad (3.40)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (3.40) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบจึงกำหนดให้กระแส $I_B = I_{B1} = I_{B2}$ ดังนั้น $g_m = g_{m1} = g_{m2}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency Of Oscillation : FO) คือ

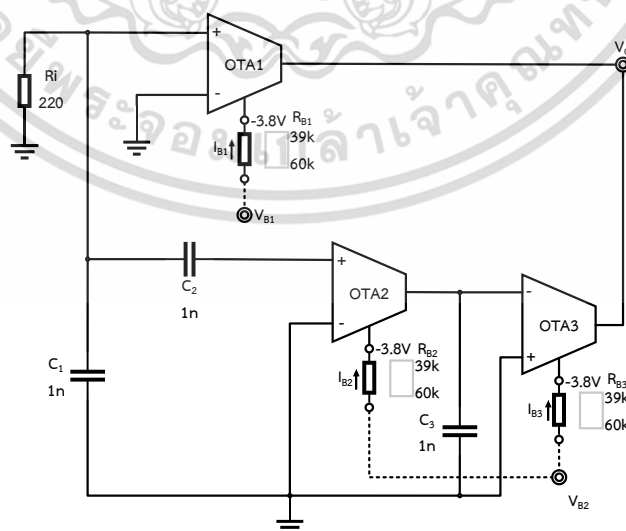
$$f = \frac{I_B}{4\pi V_T C} \text{ หน่วย Hz} \quad (3.41)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition Of Oscillation : CO) คือ

$$g_{m3} R_L \geq 3 \quad (3.42)$$

ในทางปฏิบัตินั้นต้องกำหนดค่าในสมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณตามสมการที่ (3.42) โดยให้ $g_{m3} R_L$ มากกว่า 3 เล็กน้อยจึงกำเนิดสัญญาณขึ้นได้ โดยสัญญาณขึ้นที่ได้จะเป็นไซน์ที่ตี

(5.4) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์



ภาพที่ 3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลทิตตส์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์นั้น มีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^3 C^3 L + s^2 CL \left(\frac{1}{R_i} - g_{m1} \right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3.43)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (3.43) จะได้

$$j\omega^3 C^3 L + j\omega^2 CL \left(\frac{1}{R_i} - g_{m1} \right) + 2j\omega C + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3.44)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (3.44) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบจึงกำหนดให้ $g_m = g_{m2} = g_{m3}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

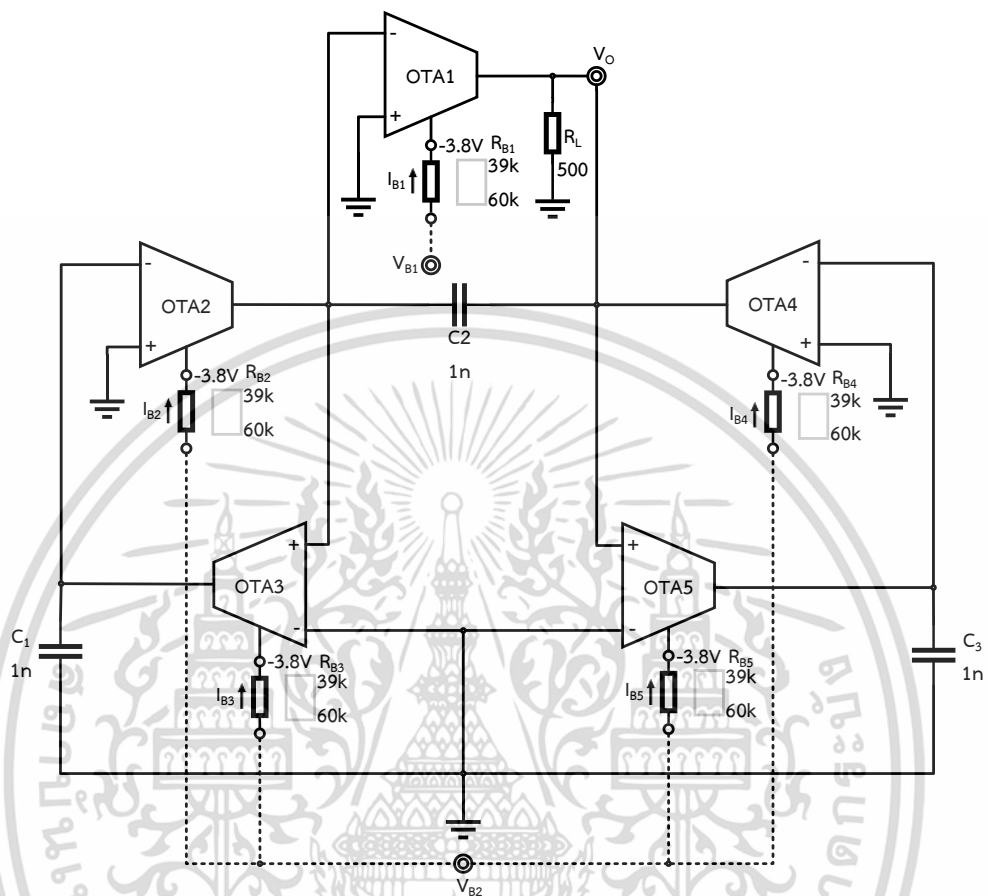
$$f = \frac{I_B \sqrt{2}}{4\pi V_T C} \quad (3.45)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$\text{หรือ} \quad \frac{I_{B1} R_i}{V_T} \geq 1 \quad (3.46)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (3.46) ให้มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณไซน์ได้ทันทีที่มีป้อนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

(5.5) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์



ภาพที่ 3.9 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ทเลย์นั้น มีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$g_{m1}R_L \frac{s^3}{s^3 + \frac{2}{C} + g_m^2 R s^2 + \frac{1}{g_m^2} + \frac{R_L g_m^4}{C^3}} = 1 \quad (3.47)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (3.47) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_{m1}R_L \frac{j\omega^3}{j\omega^3 + \frac{2}{C} + g_m^2 R j\omega^2 + \frac{1}{g_m^2} + \frac{R_L g_m^4}{C^3}} = 1 \quad (3.48)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (3.48) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการ
ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ
เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบจึงกำหนดให้ $g_m = g_{m2} = g_{m3} = g_{m4} = g_{m5}$ และกำหนดให้
 $C = C_1 = C_2 = C_3$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{I_B}{4\sqrt{2\pi V_T C}} \quad (3.49)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

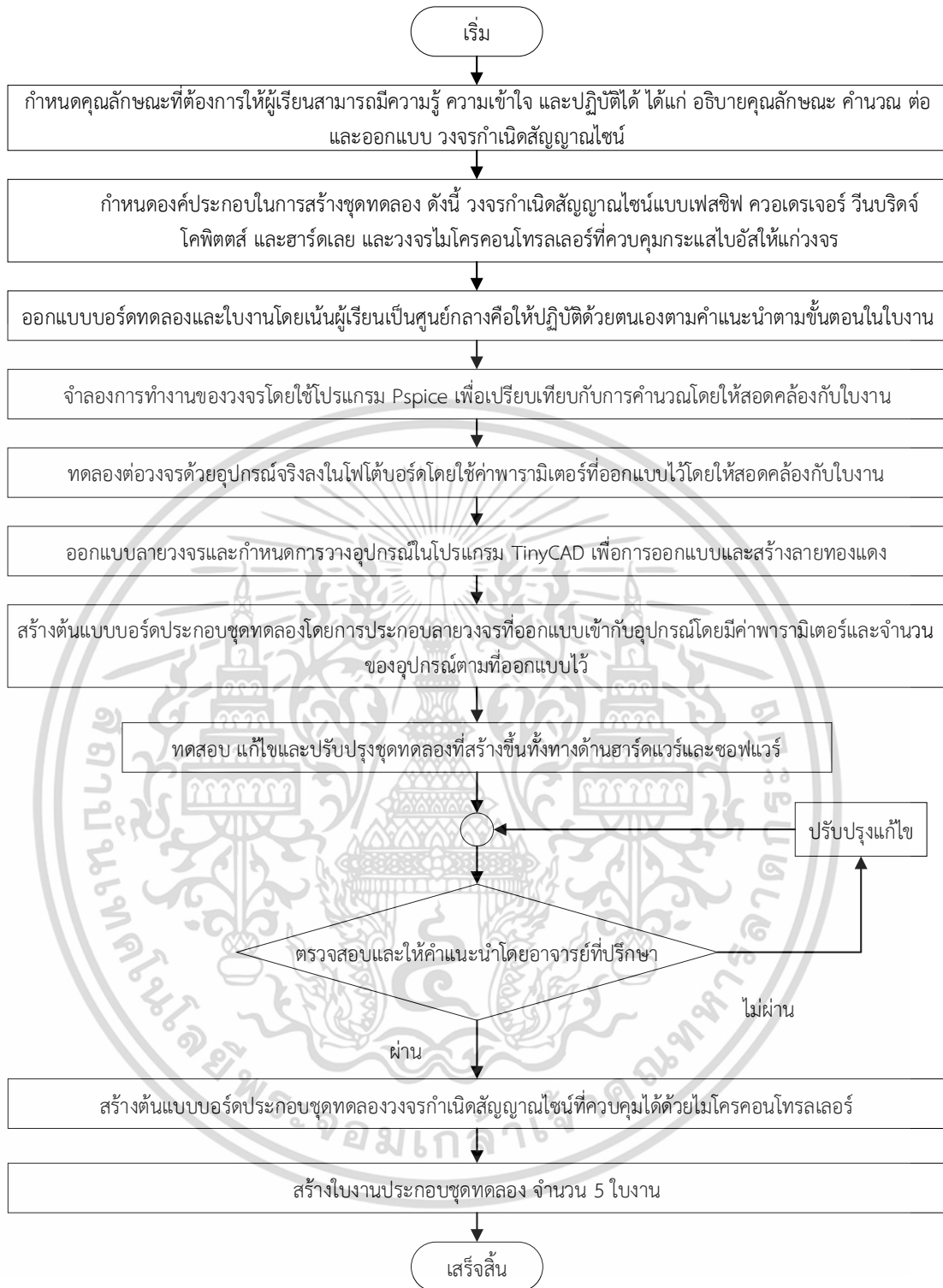
$$\frac{I_{B1} R_L}{2V_T} \geq 1 \quad (3.50)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (3.50) ให้มีค่ามากกว่า 1
เล็กน้อย เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณขึ้นได้ทันทีที่มีขอนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

(6) สร้างต้นแบบบอร์ดประกอบชุดทดลองโดยการประกอบสายวงจรที่
ออกแบบเข้ากับอุปกรณ์โดยมีค่าพารามิเตอร์และจำนวนของอุปกรณ์ตามที่ออกแบบไว้

(7) ทดสอบ แก้ไขและปรับปรุงชุดทดลองที่สร้างขึ้นทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์
และซอฟต์แวร์รวมถึงนำบอร์ดประกอบชุดทดลองที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไปให้อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ

(8) สร้างใบงานประกอบชุดทดลอง จำนวน 5 ใบงาน โดยขั้นตอนในการ
สร้างชุดทดลองที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การสร้างบอร์ดประกอบชุดปฏิบัติการประกอบชุดปฏิบัติการเรียนรู้

3.5.1.2 การสร้างใบงานประกอบชุดทดลอง

ใบงานคือเอกสารประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาที่แสดงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ในการสร้างใบงานประกอบชุดปฏิบัติการเรียนรู้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัยฉบับนี้ มี 6 ขั้นตอน

(1) ศึกษารายละเอียด คำอธิบายรายวิชา มาตรฐาน และตัวชี้วัดของรายวิชา ที่เกี่ยวข้องกับวงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์ทั้งในระดับปริญญาตรีและระดับอาชีวศึกษา ซึ่งมีการจัดการเรียนการสอนเรื่องดังกล่าวโดยตรงและรายวิชาที่นำเรื่องของวงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์ไปประยุกต์ใช้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้คือสามารถเข้าใจทฤษฎี สามารถปฏิบัติการทดลองได้

(2) ออกแบบใบงานการทดลองโดยพิจารณาจากหลักสูตรการจัดการเรียนการสอนที่เกี่ยวข้องกับวงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณเพื่อให้ครอบคลุมกับวงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์หลักๆ และเป็นวงจรที่สร้างมาจากอุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการวิเคราะห์ที่มาจากหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาครุศาสตร์วิศวกรรม (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2562) แขนงวิชาอิเล็กทรอนิกส์ และแขนงวิชาโทรคมนาคม

(3) สร้างใบงานประกอบชุดทดลองวงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งหมดจำนวน 5 ใบงาน ดังนี้

ใบงานที่ 1 วงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟ

ใบงานที่ 2 วงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์แบบควอเตรเจอร์

ใบงานที่ 3 วงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์

ใบงานที่ 4 วงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์

ใบงานที่ 5 วงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์แบบฮาร์ดเลย์

โดยแต่ละใบงานมีส่วนประกอบ 6 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 วัตถุประสงค์ของใบงาน

ส่วนที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ส่วนที่ 3 ทฤษฎีเบื้องต้น

ส่วนที่ 4 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

ส่วนที่ 5 สรุปผลการทดลอง

ส่วนที่ 6 แบบฝึกหัดท้ายการทดลอง

(4) ตรวจสอบความถูกต้องของใบงาน ปรับปรุงและแก้ไขใบงานให้มีความสอดคล้องกับบอร์ดประกอบชุดทดลองที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 3.3.1.1

(5) นำใบงานที่ผู้วิจัยได้พัฒนาเสร็จแล้วไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ

(6) ได้รับใบงานประกอบชุดทดลองวงจรกิจกรรมผลิตสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 ใบงาน

(7) นำชุดทดลองที่ได้รับไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินหาคุณภาพ

โดยขั้นตอนในการพัฒนาใบงานที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ดัง ภาพที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 การสร้างใบงานประกอบชุดทดลองวงจรกิจการเนติสัญญาณไซน

3.5.1.3 การประเมินคุณภาพชุดทดลองวงจรกิจการเนติสัญญาณไซนที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างหรือพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยขึ้นมาเอง ผู้วิจัยจะต้องมีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นนั้นไปทดลองใช้ แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือ เพื่อปรับปรุงแก้ไข เครื่องมือนั้น ๆ ให้มีคุณภาพ ซึ่งมีขั้นตอนในการหาคุณภาพ ดังนี้

(1) นำชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทาง อิเล็กทรอนิกส์ เสนอผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพของชุดทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่การส่วนที่ 1 ประเมินบอร์ดทดลองแบ่งออกเป็น 2 ด้านได้แก่ 1.ด้านกราฟฟิก ตัวอักษร สี 2. ด้านการใช้งาน ส่วนที่ 2 ประเมินใบงานการทดลอง โดยมีรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ ดังนี้

(1.1) ผศ. สุชิน อัจหาญ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

(1.2) ผศ.ดร.ไชยยันต์ ชนะพรมา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

(1.3) ผศ.ดร.ตฤพัฒน์ ดวงมาลัย มหาวิทยาลัยนครพนม

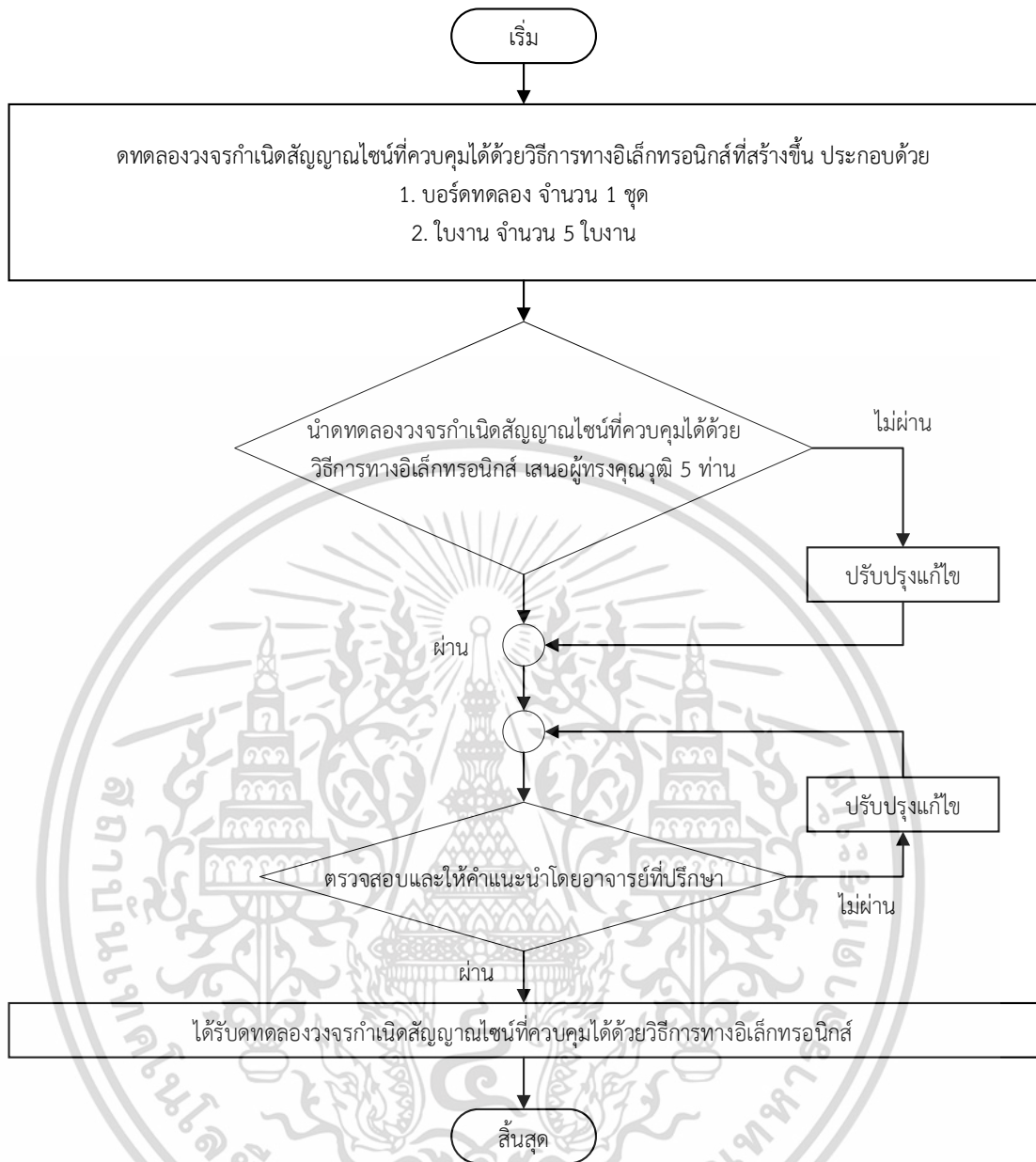
(1.4) ผศ.เดวิทย์ ศิริพจน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

(1.5) ผศ.อดิสร กวารสิบสาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

(2) ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

(3) นำชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทาง อิเล็กทรอนิกส์ ที่ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณา ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขให้เรียบร้อย

ขั้นตอนในการประเมินคุณภาพชุดทดลองที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการเรียนรู้

3.5.2 การสร้างแบบประเมินคุณภาพ

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวงจรถวายเนตสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่การส่วนที่ 1 ประเมินบอร์ดทดลองแบ่งออกเป็น 2 ด้านได้แก่ 1.ด้านกราฟฟิก ตัวอักษร สี 2. ด้านการใช้งาน ส่วนที่ 2 ประเมินใบงานการทดลอง มีขั้นตอนในการดำเนินการสร้างแบบประเมินคุณภาพ 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.5.2.1 ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการสร้างแบบประเมินคุณภาพ จากเอกสารและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมากำหนดเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวงจรถวายเนตสัญญาณอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 สร้างแบบประเมินชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความสอดคล้องกับส่วนประกอบที่ต้องการ ซึ่งแบ่งได้ 2 ส่วน ดังนี้

- (1) คุณภาพของบอร์ดทดลอง
- (2) คุณภาพของใบงานการทดลอง จำนวน 5 ใบงาน

3.5.2.3 สร้างแบบประเมินคุณภาพให้มีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้แบบประเมินโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (บุญชม ศรีสะอาด. 2553 : 102) โดยแบ่งเกณฑ์ออกเป็น 5 ระดับดังนี้

ตารางที่ 3.1 ระดับคุณภาพของแบบประเมินคุณภาพ

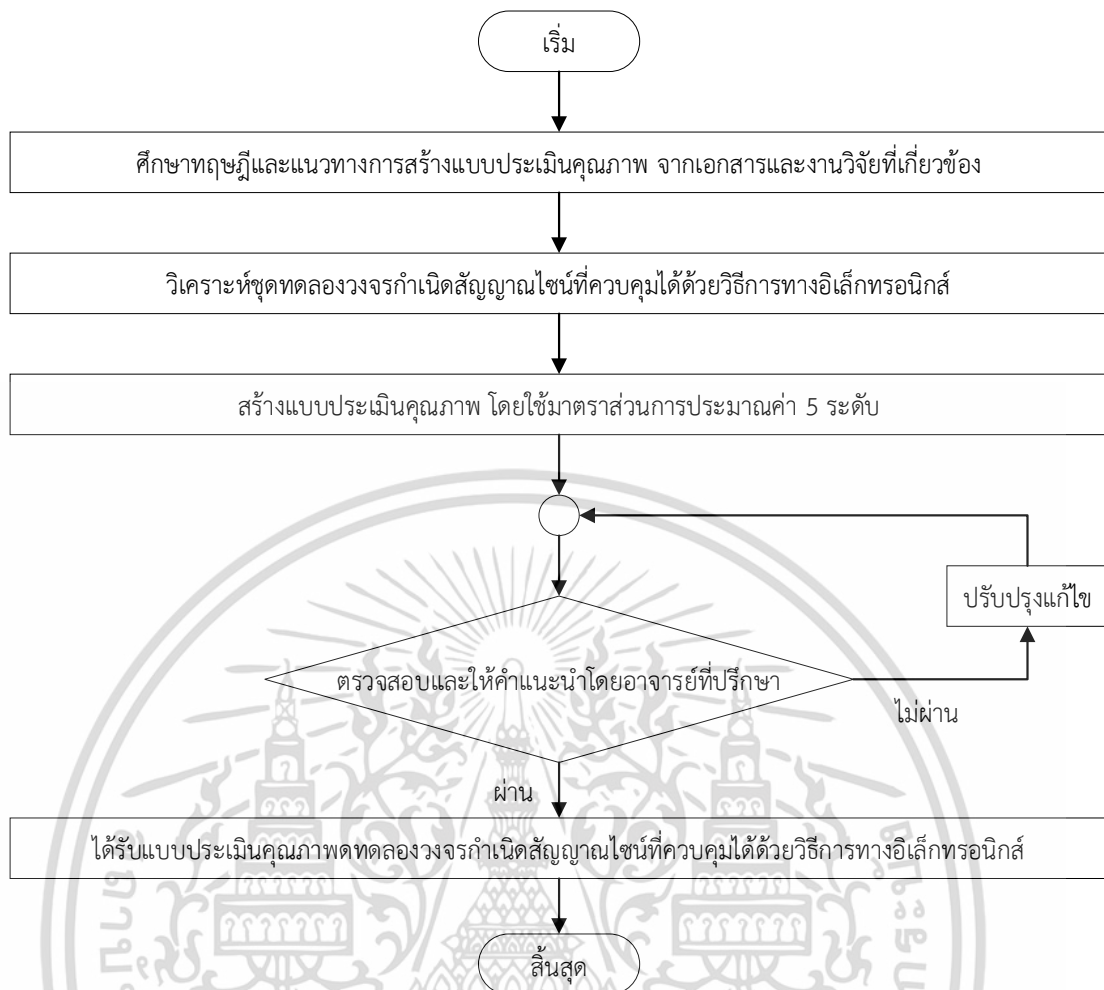
ระดับคุณภาพ	คะแนน
ดีมาก	5
ดี	4
ปานกลาง	3
พอใช้	2
ควรปรับปรุง	1

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์การแปลผลของแบบประเมินคุณภาพ

ระดับคุณภาพ	ค่าเฉลี่ยคะแนน
ดีมาก	4.51 - 5.00
ดี	3.51 - 4.50
ปานกลาง	2.51 - 3.50
พอใช้	1.51 - 2.50
ควรปรับปรุง	1.00 - 1.50

3.5.2.4 นำแบบประเมินคุณภาพที่สร้างขึ้นให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ ปรับปรุง และแก้ไขแบบประเมิน

3.5.2.5 ได้รับแบบประเมินคุณภาพที่ของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ดัง ภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการเรียนรู้การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 การหาค่าเฉลี่ย (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 164)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (3.51)$$

เมื่อ \bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N หมายถึง จำนวนนักเรียนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 164)

$$S.D. = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}} \quad (3.52)$$

เมื่อ	$S.D.$	หมายถึง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	X	หมายถึง	ค่าคะแนนแต่ละคน
	$\sum X^2$	หมายถึง	ผลรวมคะแนนกำลังสองทั้งหมด
	$(\sum X)^2$	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนทั้งหมดกำลังสอง
	N	หมายถึง	จำนวนนักเรียนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

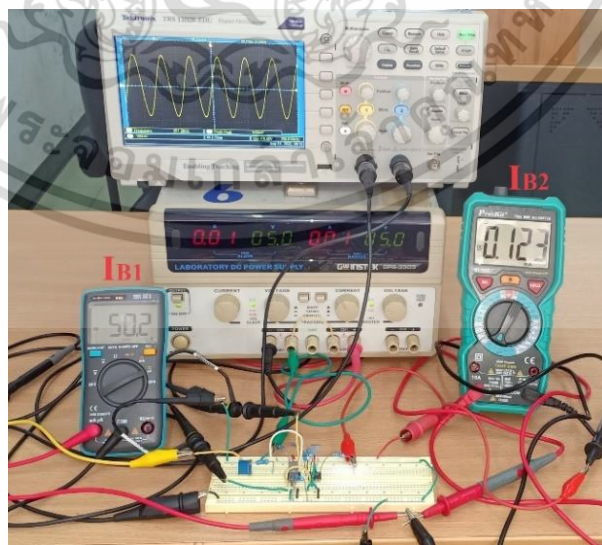
ผลดำเนินการงานวิจัย

จากที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงวิธีการดำเนินการงานวิจัยไปแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินการงานวิจัยของวิทยานิพนธ์เรื่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์
- 4.2 ผลการสร้างชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์
- 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์

4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

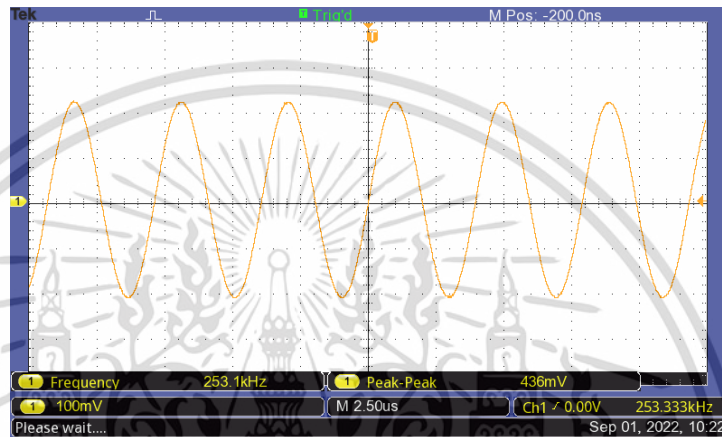
การทดสอบสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส์ด้วยการต่อวงจรจริงดังวงจรตามภาพที่ 3.4 การทดลองนี้ออกแบบมาจากการใช้ไอซี LT1228 ที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดโดยการตั้งค่าและทดลองจริงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ภาพของวงจรจริงที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

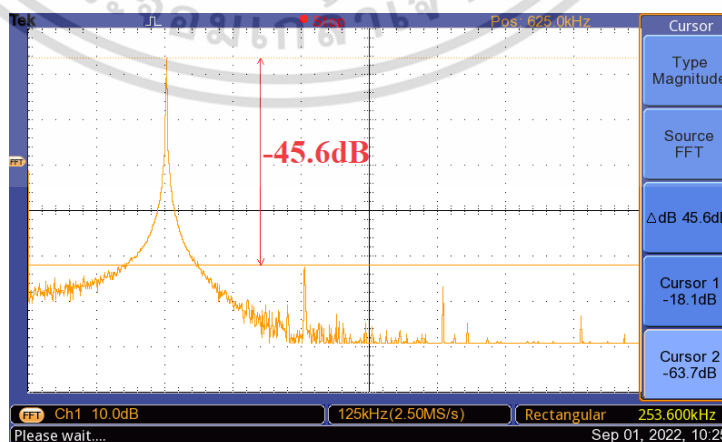
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.1 มีการตั้งค่าสำหรับการทดสอบดังนี้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ตั้งค่าให้เท่ากับ $\pm 5V$ จ่ายกระแสไบอัส $I_{B1} = 50.2 \mu A$ ($g_{m1} = 0.5 mS$) และกระแสไบอัส $I_{B2} = 123 \mu A$ ($g_{m2} = 1.23 mS$) ให้แก่วงจรและกำหนดให้ค่าความเก็บประจุเท่ากันทุกตัวได้แก่ ค่าเก็บประจุ $C_1 = C_2 = C_3 = C = 1 nF$ จากนั้นกำหนดค่าความต้านทาน $R_i = R_1 = 1 k\Omega$ และค่าความต้านทาน $R_f = R_2 = 2.2 k\Omega$ และทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตหรือสัญญาณไซน์ของวงจรที่จุดเอาต์พุต V_o จะได้รูปคลื่นสัญญาณไซน์ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แรงดันเอาต์พุตของรูปคลื่นสัญญาณไซน์ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

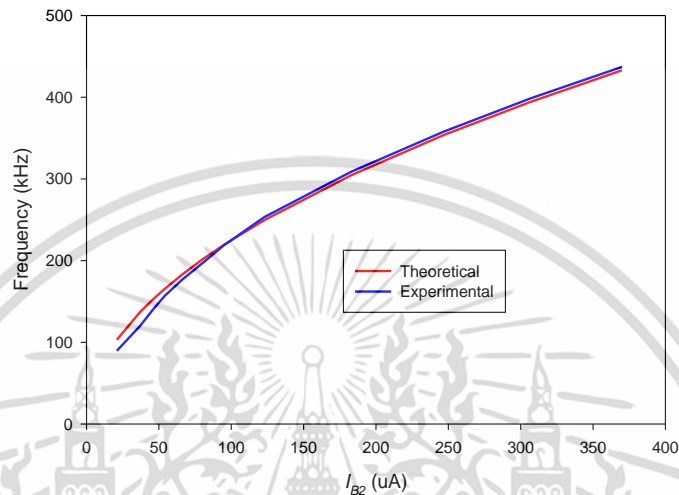
ความถี่ที่วัดได้ของรูปคลื่นไซน์จากการทดลองคือ 253.3 kHz ซึ่งใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีที่ 249.6 kHz (ข้อผิดพลาด 1.48%) แอมพลิจูดของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตไซน์คือ 436 mV_{p-p} ดังภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสเปกตรัมความถี่และความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกส์ (Total harmonic distortion :THD)



ภาพที่ 4.3 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณไซน์ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

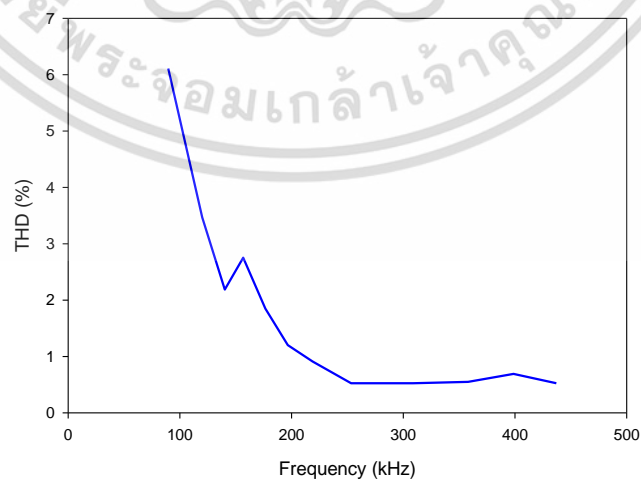
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่กระแสไบอัส I_{B2} ในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติหรือจากการทดลองจริง ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้คือเมื่อปรับค่ากระแส I_{B2} ให้มีค่ากระแสจาก $21\mu\text{A}$ เป็น $370\mu\text{A}$ ซึ่งผลที่ได้คือทำให้ความถี่แปรผันตั้งแต่ 103.14kHz ถึง 432.93kHz จากกราฟนี้แสดงให้เห็นว่าความถี่ได้รับการปรับด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ตามที่ระบุไว้ในสมการความถี่ในบทที่ 3



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่กระแสไบอัส I_{B2}

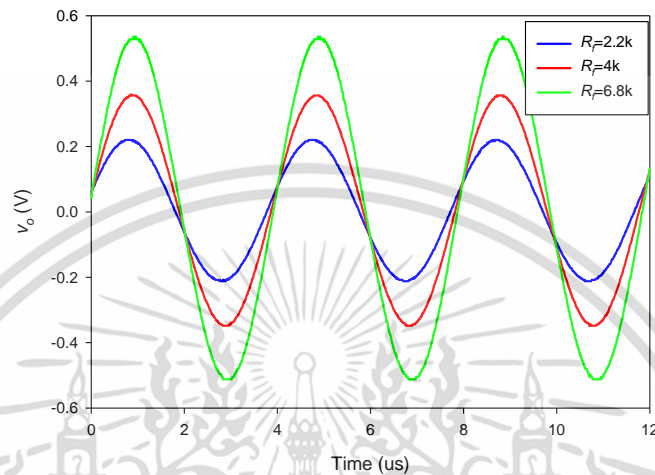
ในภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ และความถี่ที่ได้จากการทดลองจริงหรือในเชิงเชิงปฏิบัติ ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณฮาร์โมนิกส์น้อยกว่า 2% หากความถี่สูงกว่า 180kHz และกระแสไบอัสมากกว่า $66\mu\text{A}$



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณฮาร์โมนิกส์(THD) และความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 4.6 แสดงแรงดันเข้าพุตของรูปคลื่นไซน์เมื่อเปลี่ยนค่า R_f เป็นค่าต่างๆ ได้แก่ $2.2k\Omega$, $4k\Omega$ และ $6.8k\Omega$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเปลี่ยนค่า R_f ดังที่ระบุไว้ แอมพลิจูดของรูปคลื่นไซน์จะแปรผันเป็น $436mV_{p-p}$, $712mV_{p-p}$ และ $1.06V_{p-p}$ ตามลำดับ แสดงว่า R_f ทำหน้าที่ในการปรับแอมพลิจูดของภาพคลื่นไซน์ตามที่สมการ (3.11) ได้ระบุไว้

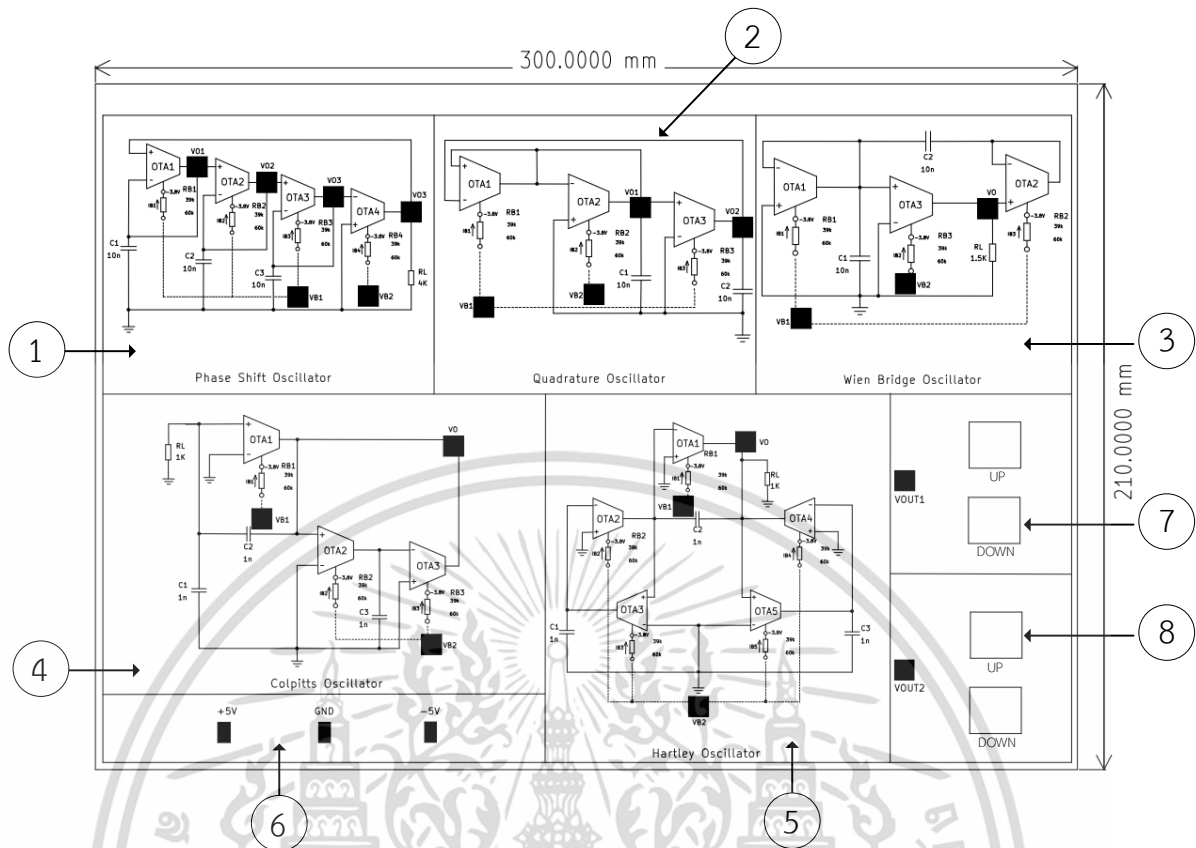


ภาพที่ 4.6 แรงดันเข้าพุตของรูปคลื่นไซน์เมื่อเปลี่ยนค่า R_f

4.2 ผลการสร้างชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์

4.2.1 ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์

ผลการออกแบบความกว้าง ความยาว การวางอุปกรณ์ จำนวนอุปกรณ์และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่บนบอร์ดประกอบชุดทดลอง เพื่อให้มีความเหมาะสมทั้งทางด้านกราฟฟิก ตัวอักษร และสี รวมถึงให้มีความเหมาะสมแก่การใช้งาน เตรียมการติดตั้งอุปกรณ์และทำการทดลองได้สะดวก มีความคล่องตัวในการใช้การทดลอง และมีความปลอดภัยขณะทำการทดลอง โดยบอร์ดทดลองจะเป็นการรวมกันของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ 5 วงจรโดยรายละเอียดของบอร์ดทดลองดังภาพที่ 4.7 และ ภาพที่ 4.8

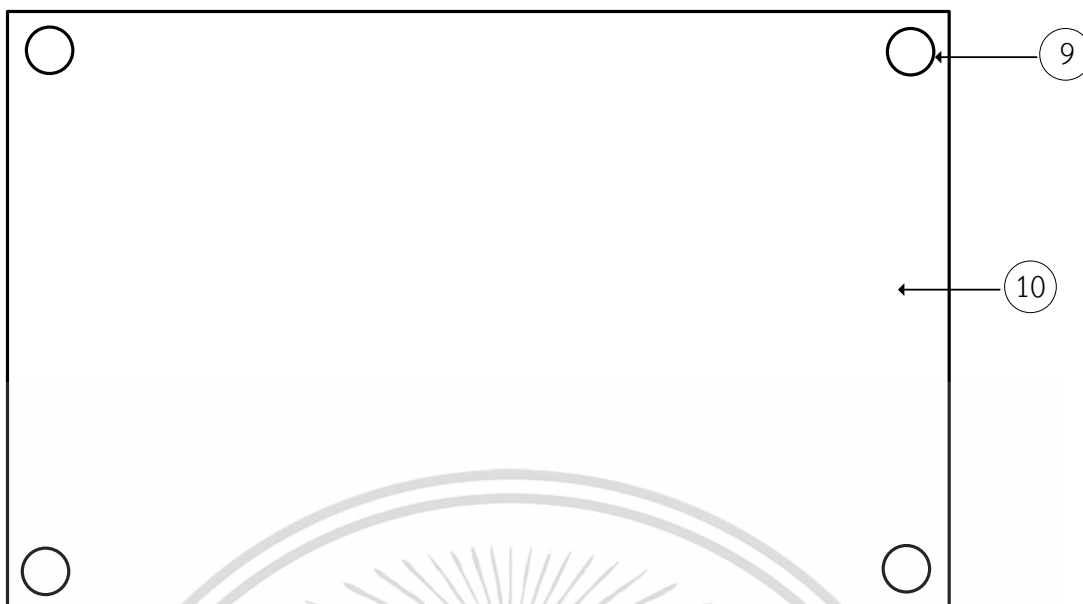


ภาพที่ 4.7 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของวงจรถ่ายสัญญาณไซน์ด้านหน้า

จากภาพที่ 4.7 มีรายละเอียดของแต่ละจุดดังนี้

- ① วงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift)
- ② วงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์ (Quadrature)
- ③ วงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์ (Wien Bridge)
- ④ วงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส (Colpitts)
- ⑤ วงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบฮาร์ตลีย์ (Hartley)
- ⑥ ส่วนของแหล่งจ่ายไฟ
- ⑦ แหล่งจ่ายแรงดันจุด VOUT1
- ⑧ แหล่งจ่ายแรงดันที่จุด VOUT2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ด้านหลัง

จากภาพที่ 4.8 มีรายละเอียดของแต่ละจุดดังนี้

- 9 ฐานกล่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
- 10 กล่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

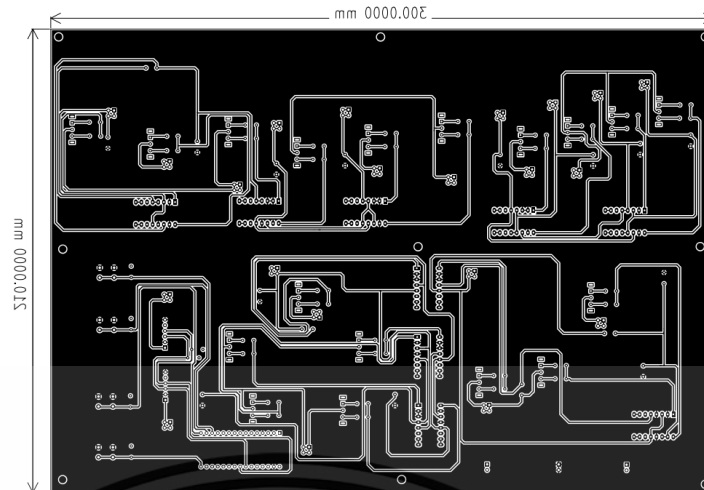
ซึ่งบอร์ดประกอบชุดทดลองมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ดประกอบชุดทดลอง

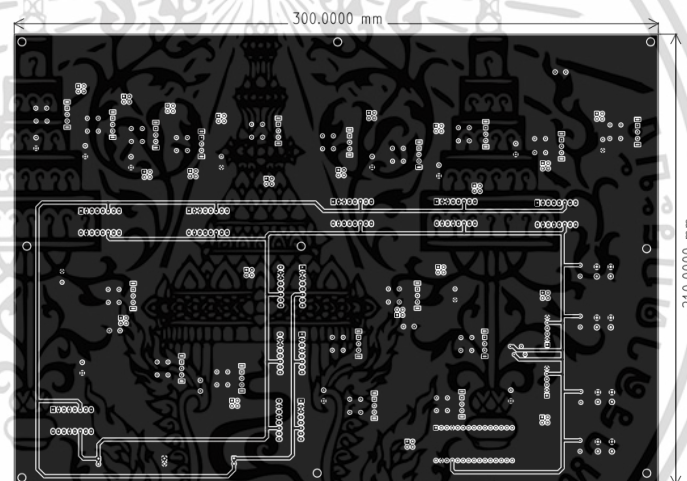
คุณสมบัติ	รายละเอียด
1. แรงดันไฟที่จ่าย	แรงดันไฟที่จ่ายขนาด $\pm 5V$
2. อุปกรณ์ไอทีเอ	IC : LM13700
3. บอร์ดที่ใช้ควบคุมแรงดัน	Arduino Nano
4. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ Digital-to-Analog	MCP4725

และมีผลการออกแบบ PCB Layout โดยใช้โปรแกรม TinyCAD ดังภาพที่ 4.9 และ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 PCB Layout (Bottom layer) โดยโปรแกรม TinyCAD



ภาพที่ 4.10 PCB Layout (Front layer) โดยโปรแกรม TinyCAD

แสดงรูปบอร์ดประกอบชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์เสร็จสิ้นสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ด้านหน้ากล่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 4.12 แสดงกล่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเปิดได้

4.2.2 การทดสอบการทำงานของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

ชุดทดลองนี้เป็นชุดการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมด้วยแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยอุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่เลือกมาสร้างคือโอทีเอ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์คือผ่านการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งนอกจากจะต้องมีการออกแบบวงจรกำหนดค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจร ให้ถูกต้องตามทฤษฎีโดยการทดสอบการทำงานของบอร์ดประกอบชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งบอร์ดประกอบชุดทดลองประกอบไปด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณ 5 วงจร ได้แก่ วงจรแบบเฟสชิฟต์ วงจรแบบควอดเรต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจอร์ วงจรแบบวินบริดจ์ วงจรแบบโคลพิตตส์ และวงจรแบบฮาร์ดเลย์ซึ่งในการทดสอบวงจรจะทำการทดสอบทีละวงจรตามลำดับโดยใช้ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการออกแบบวงจรหรือกำหนดค่าของอุปกรณ์โดยให้มีความสัมพันธ์ดังสมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไซน์และสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณไซน์ของแต่ละวงจรซึ่งระบุไว้ใบบทที่ 2 หรือในใบงานการทดลอง

ขั้นตอนที่ 2 นำค่าของอุปกรณ์ต่างๆที่ได้จากการออกแบบ มาทดสอบผ่านโปรแกรม Pspice เพื่อทดสอบคุณสมบัติสัญญาณไซน์ที่ได้ว่ามีคุณสมบัติ มีค่าความถี่ถูกต้องตรงตามทฤษฎี

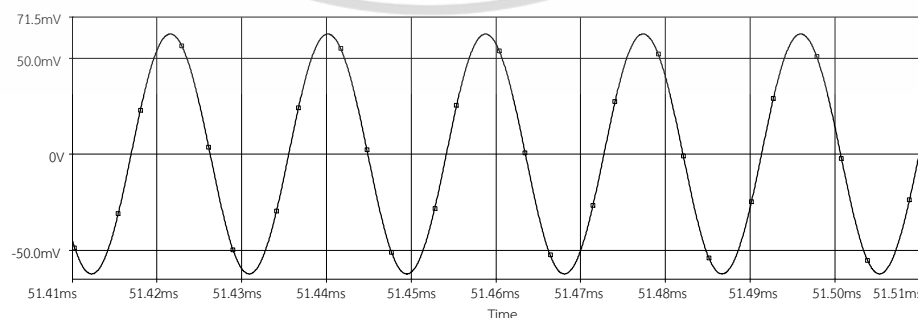
ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบวงจรบนบอร์ดประกอบชุดทดลองโดยการปรับค่ากระแสไบอัสให้แก่วงจรโดยให้เป็นไปตามสมการเงื่อนไขกำเนิดสัญญาณ และสมการความถี่ ในการปรับค่ากระแสจะมีหลักการคือทำการป้อนแรงดันให้ผ่านตัวต้านทานเพื่อให้ได้กระแสที่ต้องการ โดยการควบคุมแรงดันนี้จะไม่โครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม หลังจากนั้นทำการวัดสัญญาณไซน์จากวงจรของบอร์ดประกอบชุดทดลองโดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคป และพิจารณาว่าเป็นสัญญาณไซน์ที่ดีและมีความถี่ที่ถูกต้องตามทฤษฎี

เมื่อทำการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ทั้ง 5 วงจรโดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice และการทดสอบวงจรจากบอร์ดประกอบชุดทดลองแล้ว มีการทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้จ่ายแรงดันเพื่อควบคุมกระแสไบอัสของบอร์ดทดลองด้วยโดย จะมีผลการทดสอบของแต่ละวงรดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ผลการทดสอบวงจรเลื่อนเฟส

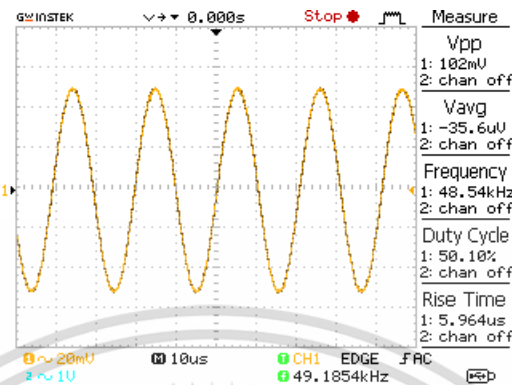
(1) การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสโดยกำหนดค่าอุปกรณ์นี้โดยมีค่า $R_{B1} = R_{B2} = R_{B3}$ มี 2 ค่า ได้แก่ $39k\Omega$ และ $60k\Omega$ ค่า $R_L = 4k\Omega$ $C = 10nF$ และมีแรงดัน V_B ตั้งแต่ 0.293 โวลต์ถึง 4.03 โวลต์ เพิ่มลดได้ครั้งละ 0.293 โวลต์ โดยมีการกดเพิ่มลดแรงดันผ่านสวิตช์

(2) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบ ผลการจำลองในโปรแกรม Pspice เมื่อกระแส $I_{B1} = I_{B2} = I_{B3} = 104\mu A$ และ $I_{B4} = 112\mu A$ ดังรูปที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบวงจรเลื่อนเฟสโดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 53.8kHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบในบอร์ดทดลองจริงผลการทดสอบเมื่อ กระแส $I_{B1} = I_{B2} = I_{B3} = 104\mu A$ และ $I_{B4} = 112\mu A$ ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบวงจรเลื่อนเฟสโดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคป ความถี่ที่ 49.1854kHz

(4) ตารางเปรียบเทียบค่าความถี่ จากการการคำนวณ การจำลองโปรแกรม P-spice และผลจากการทดสอบ

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลองวงจร และการต่อจริงของวงจรเลื่อนเฟส

กระแส (μA)	ความถี่ (kHz)		
	Theoretical	Experimental	Simulated
$I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$			
104	55.132	52.834	50.20
112	59.373	57.185	53.80
120	63.614	60.848	57.80
128	67.855	64.813	62.40
136	72.092	72.932	66.50
144	76.337	73.035	71.10

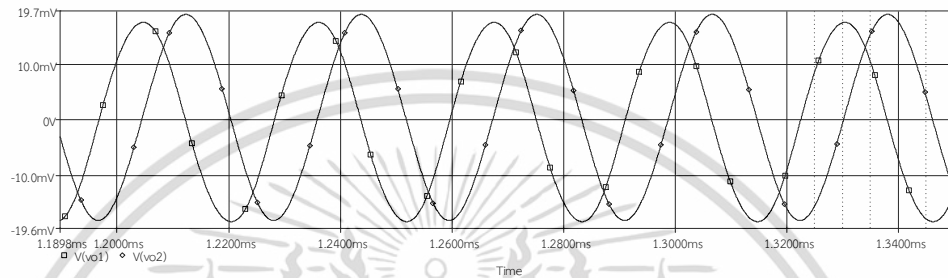
จากตารางที่ 4.2 ผลที่ได้คือค่าที่ได้จากการคำนวณและจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบก็ใกล้เคียงกันแต่มีค่าต่ำกว่าการคำนวณและการจำลอง โดยสามารถเรียงลำดับค่าความถี่ได้จากมากไปน้อยดังนี้ คำนวณ จำลอง และทดสอบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคำนวณและผลการทดสอบเท่ากับ 3.23 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 ผลการทดสอบวงจรควอเตอร์เจอร์

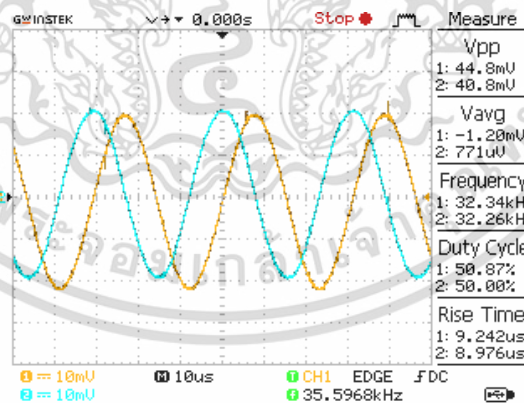
(1) การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ โดยกำหนดค่าอุปกรณ์โดยมีค่า $R_{B1} = R_{B2} = R_{B3}$ มี 2 ค่า ได้แก่ $39k\Omega$ และ $60k\Omega$ ค่า $C = 10nF$ และมีแรงดัน V_B ตั้งแต่ 0.293 โวลต์ถึง 4.03 โวลต์เพิ่มลดได้ครั้งละ 0.293 โวลต์ โดยมีการกดเพิ่มลดแรงดันผ่านสวิทช์

(2) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบ ผลการจำลองในโปรแกรม Pspice เมื่อกระแส $I_{B1} = I_{B3} = 112\mu A$ และ $I_{B2} = 104\mu A$ ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบวงจรควอเตอร์เจอร์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 31.7kHz

(3) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบในบอร์ดทดลองจริงผลการทดสอบ เมื่อกระแส $I_{B1} = I_{B3} = 112\mu A$ และ $I_{B2} = 104\mu A$ ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบวงจรควอเตอร์เจอร์โดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคป ความถี่ที่ 35.5968kHz

(4) ตารางเปรียบเทียบความถี่เปรียบเทียบค่าความถี่ จากการการคำนวณ การทดสอบ ผ่านโปรแกรม P-spice และผลจากออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลองวงจร และการต่อจริงของวงจร
ควอเตรเจอร์

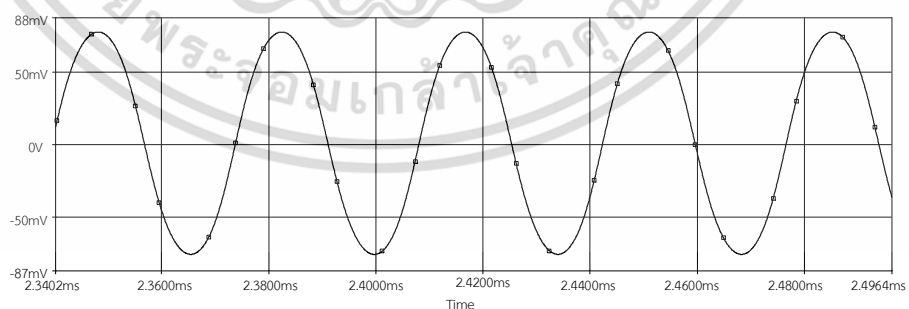
กระแส (μA)	ความถี่ (kHz)		
	Theoretical	Experimental	Simulated
I_{B3}			
104	31.824	30.165	31.7
112	34.272	32.272	34.1
120	36.72	35.720	36.4
128	39.168	36.168	39
144	44.064	42.896	44

จากตารางที่ 4.3 ผลที่ได้คือค่าที่ได้จากการคำนวณและจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบก็ใกล้เคียงกันแต่มีค่าต่ำกว่าการคำนวณและการจำลอง โดยสามารถเรียงลำดับค่าความถี่ได้จากมากไปน้อยดังนี้ คำนวณ จำลอง และทดสอบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคำนวณและผลการทดสอบเท่ากับ 4.81%

4.2.2.3 ผลการทดสอบวงจรวินบริดจ์

(1) การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยกำหนดค่าอุปกรณ์โดยมีค่า $R_{B1} = R_{B2} = R_{B3}$ มี 2 ค่า ได้แก่ $39k\Omega$ และ $60k\Omega$ ค่า $R_L = 1.5k\Omega$, $C = 10nF$ และมีแรงดัน V_B ตั้งแต่ 0.293 โวลต์ถึง 4.03 โวลต์ เพิ่มลดได้ครั้งละ 0.293 โวลต์ โดยมีการกดเพิ่มลดแรงดันผ่านสวิตช์

(2) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบ ผลการจำลองในโปรแกรม Pspice เมื่อกระแส $I_{B1} = I_{B2} = 104\mu A$, $I_{B3} = 112\mu A$ ดังภาพที่ 4.17

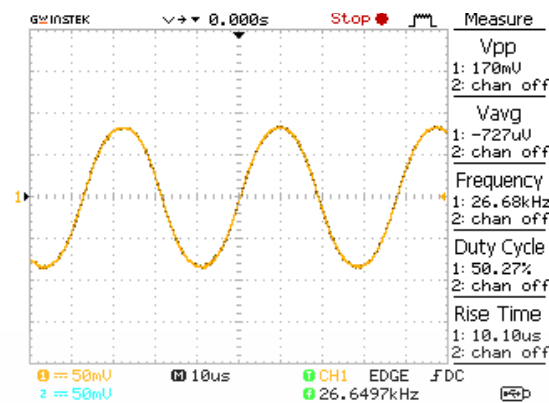


ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบวงจรวินบริดจ์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 30kHz

(3) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบในบอร์ดทดลองจริงผล

การทดสอบ เมื่อกระแส $I_{B1} = I_{B2} = 104\mu A$, $I_{B3} = 112\mu A$ ดังภาพที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบวงจรวินบริดจ์โดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคป ความถี่ที่ 26.6497kHz

(4) ตารางเปรียบเทียบค่าความถี่ จากการการคำนวณ การจำลองผ่านโปรแกรม P-spice และผลจากการทดสอบ

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลองวงจร และการต่อจริงของวงจรวินบริดจ์

กระแส (uA)	ความถี่ (kHz)		
$I_{B1} = I_{B2}$	Theoretical	Experimental	Simulated
83u	25.40	26.15	25.50
94u	28.77	28.90	29.00
100u	30.60	32.45	31.00
104u	31.83	33.67	32.00
120u	36.72	37.13	37.00
128u	39.17	40.56	40.00

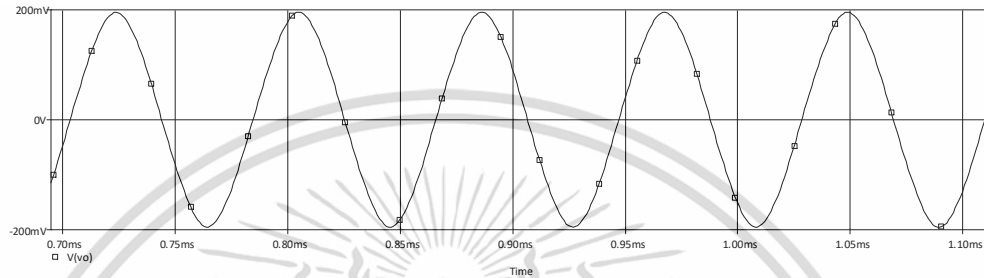
จากตารางที่ 4.4 ผลที่ได้คือค่าที่ได้จากการคำนวณและจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบก็ใกล้เคียงกันแต่มีค่าต่ำกว่าการคำนวณและการจำลอง โดยสามารถเรียงลำดับค่าความถี่ได้จากมากไปน้อยดังนี้ คำนวณ จำลอง และทดสอบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคำนวณและผลการทดสอบประมาณ 3.20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.4 ผลการทดสอบวงจรโคลิพิตส์

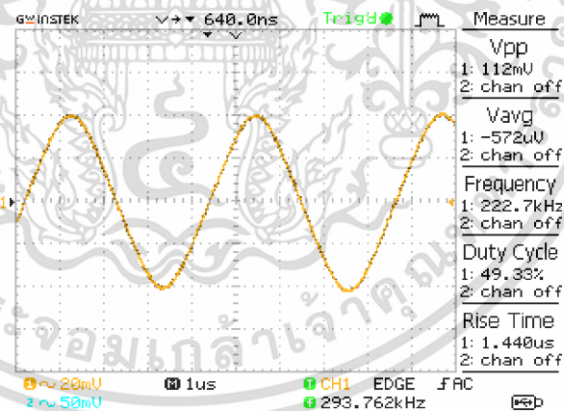
(1) การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยกำหนดค่าอุปกรณ์โดยมีค่า $R_{B1} = R_{B2} = R_{B3}$ มี 2 ค่า ได้แก่ $39k\Omega$ และ $60k\Omega$ ค่า $R_i = 220\Omega$, $C = 1nF$ และมีแรงดัน V_B ตั้งแต่ 0.293 โวลต์ถึง 4.03 โวลต์ เพิ่มลดได้ครั้งละ 0.293 โวลต์ โดยมีการกดเพิ่มลดแรงดันผ่านสวิทช์

(2) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบ ผลการจำลองในโปรแกรม Pspice เมื่อกระแส $I_{B2} = I_{B3} = 63\mu A$, $I_{B3} = 140\mu A$ ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบวงจรจรวจจรโคลิพิตส์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 294kHz

(3) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบในบอร์ดทดลองจริงผลการทดสอบ เมื่อกระแส $I_{B2} = I_{B3} = 63\mu A$, $I_{B1} = 140\mu A$ ดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 ผลการทดสอบวงจรโคลิพิตส์โดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคป ความถี่ที่ 293.762kHz

(4) ตารางเปรียบเทียบค่าความถี่ จากการการคำนวณ การจำลองผ่านโปรแกรม P-spice และผลจากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลองวงจร และการต่อจริงของวงจร โคลพิตตส์

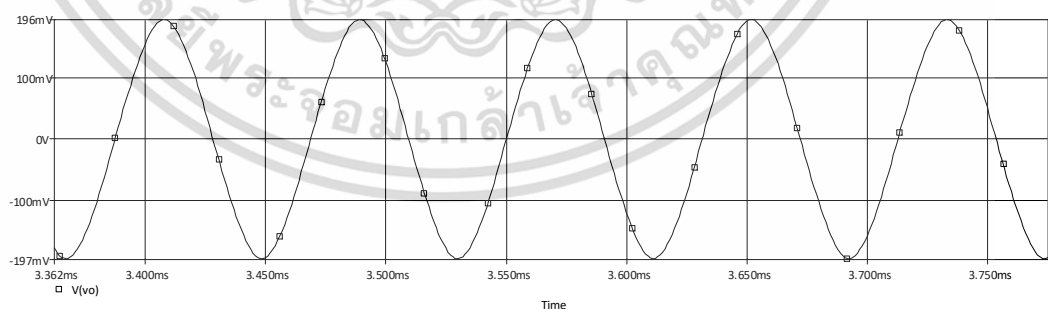
กระแส (μA)	ความถี่ (kHz)		
	Theoretical	Experimental	Simulated
$I_{B1} = I_{B3}$			
84 μ	363.58	355.60	364.00
104 μ	450.15	435.20	450.00
110 μ	476.12	467.56	476.00
120 μ	519.41	510.78	519.00
136 μ	588.66	579.51	560.00
144 μ	623.29	620.13	624.00

จากตารางที่ 4.5 ผลที่ได้คือค่าที่ได้จากการคำนวณและจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบก็ใกล้เคียงกันแต่มีค่าต่ำกว่าการคำนวณและการจำลอง โดยสามารถเรียงลำดับค่าความถี่ได้จากมากไปน้อยดังนี้ คำนวณ จำลอง และทดสอบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคำนวณและผลการทดสอบประมาณ 1.83%

4.2.2.5 ผลการทดสอบวงจรฮาร์ทเลย์

(1) การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยกำหนดค่าอุปกรณ์โดยมีค่า $R_{B1} = R_{B2} = R_{B3}$ มี 2 ค่า ได้แก่ $39k\Omega$ และ $60k\Omega$ ค่า $R_L = 500\Omega$, $C = 1nF$ และมีแรงดัน V_B ตั้งแต่ 0.293 โวลต์ถึง 4.03 โวลต์ เพิ่มลดได้ครั้งละ 0.293 โวลต์ โดยมีการกดเพิ่มลดแรงดันผ่านสวิทช์

(2) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบ ผลการจำลองในโปรแกรม Pspice เมื่อกระแส $I_{B2} = I_{B3} = I_{B4} = I_{B5} = 97\mu A$, $I_{B1} = 156\mu A$ ดังภาพที่ 4.21

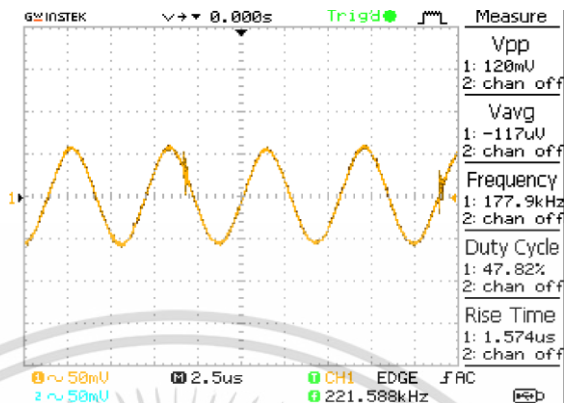


ภาพที่ 4.21 ผลการทดสอบวงจรวงจรฮาร์ทเลย์โดยการจำลองผ่านโปรแกรม Pspice ความถี่ที่ 220kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) หลังจากได้ค่าของอุปกรณ์ในข้อ 1. มาทดสอบในบอร์ดทดลองจริงผล

การทดสอบ เมื่อกระแส $I_{B2} = I_{B3} = I_{B4} = I_{B5} = 97\mu A$, $I_{B3} = 156\mu A$ ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 ผลการทดสอบวงจรฮาร์ทเลย์โดยการวัดจากวงจรจริงโดยใช้ออสซิลโลสโคปความถี่ที่ 221.588kHz

(4) ตารางเปรียบเทียบค่าความถี่ จากการคำนวณ การจำลองผ่านโปรแกรม P-spice และผลจากการทดสอบ

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความถี่จากการคำนวณ การจำลองวงจร และการต่อจริงของวงจรฮาร์ทเลย์

กระแส (μA)	ความถี่ (kHz)		
	Theoretical	Experimental	Simulated
I_B			
84u	181.79	179.53	180
104u	225.07	222.67	225.00
110u	238.06	231.49	238.40
120u	259.70	258.37	260.50
136u	294.33	291.62	295.00
144u	311.64	309.15	310.00

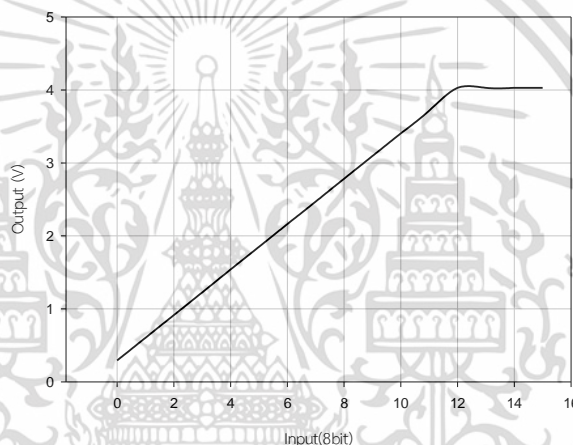
จากตารางที่ 4.6 ผลที่ได้คือค่าที่ได้จากการคำนวณและจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบก็ใกล้เคียงกันแต่มีค่าต่ำกว่าการคำนวณและการจำลอง โดยสามารถเรียงลำดับค่าความถี่ได้จากมากไปน้อยดังนี้ คำนวณ จำลอง และทดสอบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคำนวณและผลการทดสอบประมาณ 1.21%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.6 ผลการทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้จ่ายแรงดันเพื่อควบคุมกระแสไบอัสของบอร์ดทดลอง

ในบอร์ดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมกระแสไบอัสของวงจรในการทดลอง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือ Arduino nano เป็นตัวควบคุม ดังนั้นจึงมีการออกแบบโปรแกรมเพื่อให้มีการควบคุมได้ตามที่ต้องการซึ่งมีขั้นตอนในการทดสอบวงจรดังนี้

- (1) ทำการป้อนแรงดันที่มีขนาดตามกำหนด (5 โวลต์) เพื่อให้วงจรที่เปลี่ยนจากดิจิทัลเป็น แอนะลอกออกมาเป็นกระแสเพื่อทำการไบอัสวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
- (2) ทำการวัดแรงดันที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะลอก
- (3) ผลการทดสอบจากการเก็บค่าแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะลอกโดยแสดงดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะลอก

จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะลอก ให้อินพุตคือเลขไบนารีจำนวน 8 บิต และเอาต์พุตคือแรงดัน เมื่อทำการป้อนอินพุตเป็นเลขไบนารีจำนวน 8 บิตแล้วนำมาแปลงเป็นเลขฐานสิบ เช่น ป้อนเลขไบนารี 00000000 จะได้เลขฐานสิบคือ 0 เมื่อป้อนเลขไบนารี 11111111 จะได้เลขฐานสิบคือ 255 ในการออกแบบในชุดทดลองนี้จะเลือกมาแค่ บิตน้อยสำคัญต่ำสุดจะได้ค่าในการกวดทั้งหมด 16 ระดับเท่านั้นถ้าเทียบเป็นฐานสิบ ค่าจะเริ่มจาก 240 จนถึง 255 จะได้ผลเป็นแรงดันออกมาดังกราฟภาพที่ 4.23 เมื่อไบนารีเพิ่มขึ้นค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นจากกราฟจะเห็นได้ว่าแกนอนคือฐานสิบที่นำมาจากการแปลงไบนารีและแกนตั้งคือแรงดันจากการป้อนไบนารี

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

4.3.1 คุณภาพของบอร์ดประกอบชุดทดลอง

การประเมินคุณภาพบอร์ดประกอบชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำการประเมินคุณภาพชุดทดลองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลประเมินคุณภาพของบอร์ดประกอบชุดทดลอง

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1.ด้านกราฟฟิก ตัวอักษร สี			
1.1 ความเหมาะสมของแบบตัวอักษร	4.8	0.45	ดีมาก
1.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร	4	0.00	ดี
1.3 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร	4.8	0.45	ดีมาก
1.4 ความเหมาะสมของขนาดบอร์ดทดลอง	5	0.00	ดีมาก
1.5 ความเหมาะสมในการวางอุปกรณ์	4.8	0.45	ดีมาก
2. ด้านการใช้งาน			
2.1 การเตรียมติดตั้งอุปกรณ์และการทดลองทำได้สะดวก	4.8	0.45	ดีมาก
2.2 มีความคล่องตัวในการใช้และการปฏิบัติการทดลอง	4.4	0.55	ดี
2.3 มีประสิทธิภาพในการทดลองและผลการทดลองถูกต้องตามทฤษฎี	5	0.00	ดีมาก
2.4 ใช้งานสะดวกปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติการทดลอง	5	0.00	ดีมาก
รวม	4.74	0.45	ดีมาก

ผลการประเมินคุณภาพด้านบอร์ดประกอบชุดทดลองจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน มีความคิดเห็นว่าคุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมากที่จะนำไปเป็นชุดทดลองในการให้ความรู้แก่ผู้เรียน

4.3.2 คุณภาพของใบงานประกอบชุดทดลอง

การประเมินคุณภาพใบงานประกอบชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำการประเมินคุณภาพใบงานประกอบชุดทดลองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปผลประเมินคุณภาพของใบงานประกอบชุดทดลอง

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง	4.8	0.45	ดีมาก
2. ความเหมาะสมของขั้นตอนการทดลอง	4.2	0.84	ดี
3. ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4.6	0.55	ดีมาก
4. ความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหา	4.8	0.45	ดีมาก
รวม	4.60	0.60	ดีมาก

ผลการประเมินคุณภาพด้านใบงานประกอบชุดทดลองจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน มีความคิดเห็นว่า ความเหมาะสมของใบงานประกอบชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่ที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมากที่จะนำไปเป็นงานประกอบชุดทดลองในการให้ความรู้แก่ผู้เรียน

4.3.3 คุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

การประเมินคุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1.บอร์ดประกอบชุดทดลอง 2.ใบงานประกอบชุดทดลอง ซึ่งมีผลคุณภาพของทั้ง 2 ส่วนดังหัวข้อที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ซึ่งต่อไปจะนำเสนอผลรวมของทั้งสองส่วนโดยนำรายการประเมินทั้งหมดมารวมกันและหาค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาคุณภาพโดยรวมทั้งหมดชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ การประเมินคุณภาพชุดทดลองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ซึ่งผลการประเมินดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการประเมินคุณภาพชุดทดลองและใบงานประกอบชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความเหมาะสม
ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์	4.67	0.49	ดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปโดยภาพรวมคุณภาพของชุดทดลองที่ประกอบด้วยบอร์ดและใบงานของชุดทดลอง วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งถูกประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน มีความคิดเห็นว่าชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้แบบ อิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาการสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการสร้างและหาคุณภาพชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีเนื้อหาและสาระสำคัญของการวิจัย สรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 สังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส์มาจากไอซี LT1228 ได้ ซึ่งเป็นไอซีที่มีขายในเชิงพาณิชย์ซึ่งภายในมีวงจรที่ประกอบด้วยโอทีเอหนึ่งตัวและออปแอมป์หนึ่งตัว ทำให้สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ได้โดยควบคุมการทำงานของวงจรผ่านกระแส I_B โดยวงจรที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ใช้อุปกรณ์ ไอซี LT1228 จำนวนสองตัว โดยมีโครงสร้างของอุปกรณ์ไอซี LT1228 ดังภาพที่ 3.1 ต่อร่วมกับตัวต้านทาน จำนวนสี่ตัว คือ R_1 , R_2 , R_3 , R_4 และตัวเก็บประจุจำนวนสามตัว คือ C_1 , C_2 และ C_3 โดยที่กำหนดให้ขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงที่ใช้กับตัวอุปกรณ์ไอซี LT1228 มีขนาด $\pm 5V$

5.1.2 มีการทดสอบสมรรถนะวงจรที่ได้จากการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบ โคลพิตต์ส์พบว่าสามารถควบคุมเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างอิสระจากกัน สังเกตได้จากค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อสมการความถี่ ได้แก่ I_{B2} , I_{B3} และ C ส่วนพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อสมการเงื่อนไขกำเนิดสัญญาณ ได้แก่ I_{B1} และ R_1 ซึ่งทั้งสองสมการไม่มีค่าพารามิเตอร์ใดที่ซ้ำกันดังนั้นเมื่อต้องการปรับค่าความถี่จะไม่ส่งผลกระทบต่อเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณทั้งนี้วงจรยังสามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดและมีความต้านทานทางด้านเอาต์พุตต่ำ

5.1.3 ออกแบบและสร้างชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์จำนวน 5 วงจรได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟ ควอดเรเตอร์ เจอร์ วินบริดจ์ โคลพิตต์ส์ และฮาร์ทเลย์ วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ในชุดทดลองสร้างมาจากไอซี LM13700 ซึ่งภายในไอซีประกอบด้วยโอทีเอ 2 ตัวซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 คุณภาพบอร์คของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ความคมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ผลการประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.67$) (S.D. = 0.49) เมื่อแยกวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนจะได้ว่าส่วนแรกคือคุณภาพบอร์คประกอบชุดทดลองอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.74$) (S.D. = 0.45) และส่วนที่สองคุณภาพของใบงานประกอบชุดทดลองอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.60$) (S.D. = 0.60)

5.2 อภิปรายผลงานวิจัย

ผลการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่ใช้อุปกรณ์แอมป์ที่ได้แก่ไอซี LT1228 ซึ่งเป็นไอซีเชิงพาณิชย์ที่หาซื้อได้ง่ายเพื่อใช้งานในการต่อเป็นวงจรขยายกระแส (Current Amplifier) และใช้ทดแทนตัวเหนี่ยวนำแบบพาสซีฟซึ่งมีข้อจำกัดหลายอย่างซึ่งทำให้ไม่นิยม เมื่อใช้ไอซี LT1228 มาต่อร่วมกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ซึ่งวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ได้นำเสนอในวิจัยนี้สามารถระบุถึงประโยชน์ของวงจรได้คือ สัญญาณไซน์ที่มีเอาพุตอิมพลีแดนซ์ต่ำสามารถปรับค่าความถี่และค่าเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้จากการปรับค่ากระแสไบอัส I_{B1} และ I_{B2} ตามลำดับซึ่งสามารถปรับค่าได้อิสระจากกันคือเมื่อปรับค่าความถี่จะไม่ส่งผลกระทบต่อเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไซน์ รวมถึงในวงจรที่นำเสนอในวิจัยนี้สามารถปรับแอมพลิจูดของเอาพุตได้จากการปรับค่า R_f หรือ R_2 ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไซน์เช่นกัน

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอได้รับการตรวจสอบโดยการทดลองกับแหล่งจ่ายแรงดัน $\pm 5V$ การใช้พลังงาน 0.13W เมื่อกระแสไบอัส I_{B2} สูงกว่า $66\mu A$ ค่า THD ของรูปคลื่นไซน์จะต่ำกว่า 2% FO ทดลองที่ตั้งค่า I_{B2} จาก $21\mu A$ ถึง $370\mu A$ ความถี่ที่ได้อยู่ในช่วง 103.14 kHz ถึง 432.93 kHz

ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์จำนวน 5 วงจรได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเฟสชิฟ คอแวลเจอร์ วินบริดจ์ โคลพิตตส์ และฮาร์ทเลย์ วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ในชุดทดลองสร้างมาจากไอซี LM13700 ซึ่งภายในไอซีประกอบด้วยไอทีเอ 2 ตัวซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งชุดทดลองนี้จะประกอบด้วยใบงานการทดลอง 5 ใบงาน และบอร์ดทดลอง 1 บอร์ดซึ่งรวมทั้ง 5 วงจรอยู่ในบอร์ดเดียวทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้ บอร์ดมีขนาดเล็กทำให้ติดตั้งและการต่ออุปกรณ์ทำได้สะดวก

ผลการประเมินคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินทั้งหมด 5 ท่าน ผลการประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.67$) (S.D. = 0.49) โดยบอร์ดประกอบชุดทดลองมีความเหมาะสมของแบบ ขนาด สี ของอักษรบนบอร์ด รวมถึงมีความเหมาะสมของขนาด การวางอุปกรณ์บนบอร์ด การเตรียมติดตั้งอุปกรณ์และการทดลองทำได้สะดวก มีความคล่องตัวในการทดลอง มีประสิทธิภาพผลการทดลองถูกต้อง มีความสะดวกปลอดภัยในการทดลอง อยู่ในระดับดีและดีมากทั้งหมดโดยสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินบอร์ดประกอบชุดทดลองอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.74$) (S.D. = 0.45) และในส่วนของ
 ใบบางประกอบชุดทดลองนั้น เนื้อหาที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ความเหมาะสมของลำดับ
 ขั้นตอนในการทดลอง ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน และความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหา อยู่ใน
 ระดับดีและดีมากทั้งหมด โดยสรุปผลการประเมินใบบางประกอบชุดทดลองอยู่ในระดับดีมาก
 ($\bar{X} = 4.60$) (S.D. = 0.60)

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

จากแนวคิดในการสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์และสร้างและ
 ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณที่สามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ เมื่อ
 พิจารณาจากผลการทำงานแล้วจะวงจรกิจกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ที่นำเสนอนี้เป็นวงจรที่
 สร้างมาจากไอซี LT1228 ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชิงพาณิชย์ที่หาซื้อได้ง่ายและเป็นอุปกรณ์แอกทีฟที่พามาใช้แทน
 อุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำแบบพาสซีฟซึ่งทำให้วงจรมีขนาดเล็กและสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทาง
 อิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำวงจรที่ได้ไปพัฒนาและแก้ไขข้อจำกัดได้ซึ่งทำให้สะดวกต่อการนำไป
 ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น และในการสร้างและออกแบบชุดทดลองนั้นมีการรวมวงจร 5
 วงจรไว้ในบอร์ดการทดลองเดียวกันทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ทั้งนี้ยังสร้างมาจากอุปกรณ์แอกทีฟ
 สมัยใหม่โดยใช้ไอซี LM13700 ใช้อุปกรณ์ในการต่อร่วมน้อยลง วงจรซับซ้อนน้อยลง ดังนั้นทางผู้วิจัย
 จึงขอเสนอแนะแนวทางการพัฒนาและข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไว้ดังต่อไปนี้

5.3.1 ออกแบบให้ขนาดของตัวอักษรบนบอร์ดของชุดทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมองเห็น
 ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

5.3.2 ออกแบบให้มีจอแสดงผลค่าแรงดัน V_B

5.3.3 ออกแบบวงจรให้สามารถจ่ายแรงดัน V_B ให้ครบจำนวนโอทีเอทุกตัวซึ่งในการทดลอง
 นี้มี 2 จุดอาจจะทำให้เกิดข้อจำกัดในการทดลอง

5.3.4 ออกแบบให้ค่าความต้านทานตรงจุด R_B ของโอทีเอทุกตัวมีค่าที่ที่หลากหลายเพิ่มขึ้น
 จะสามารถทำให้ปรับค่ากระแสไบอัสให้กับโอทีเอได้หลากหลายมากขึ้นทำให้สะดวกต่อการออกแบบ
 วงจรในการทดลอง

5.3.5 ออกแบบการทดลองให้มีการวัดค่าและวัดหาประสิทธิภาพของวงจรและสัญญาณ
 ไซน์ที่ได้เพิ่มมากขึ้นซึ่งแต่เดิมมีการวัดค่าแรงดัน กระแส จากมัลติมิเตอร์ และดูรูปกราฟจาก
 ออสซิลโลสโคปควรมีวิธีการอื่นๆเพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณไซน์ที่ได้เป็นสัญญาณไซน์ที่ดีหรือไม่อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.6 ออกแบบวงจรตัวต้านทาน R_1 ในวงจรโคลพิตตส์ด้วยตัวต้านทานจำลองโดยใช้ไอซี LT1228 ซึ่งจะสามารถทำให้ปรับค่าความถี่เป็นเชิงเส้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. 2545. **คู่มือการพัฒนาสื่อการเรียนรู้**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ครูสภาลาดพร้าว.
- จิรสุดา เกสร. 2542. “วงจรกรองความถี่และวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมได้ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทองเลิศ บุญเขต. 2541. “ผลการใช้ชุดกิจกรรมที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนบ้านซับสนุ่น จังหวัดสระบุรี.” วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.
- ทีศนา เขมมณี. 2543. 14 วิธีสอนสำหรับครูมืออาชีพ. กรุงเทพฯ : บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลพิบลิเคชั่น จำกัด
- นงลักษณ์ เอี่ยมจำรัส. 2545. “การออกแบบวงจรกรองความถี่และวงจรควอดเรเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้กระแสควบคุม” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บุญชม ศรีสะอาด. 2553. **การวิจัยเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2553). **คู่มือการจัดระบบการเรียนการสอนที่ยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้**. ปทุมธานี : โรงพิมพ์เทียนวัฒนา พรินท์ติ้ง.
- พิเชษ เลี้ยงฤทัย. 2548. “การพัฒนาชุดทดลองและศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องวงจรเปรียบเทียบสัญญาณสร้างจากไอซีออปแอมป์.” วิทยานิพนธ์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มนตรี ศิริปรัชญานันท์. คู่มือประกอบการทดลองวิชา 224303 Telecommunication Lab. ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- มนตรี คำเงิน. 2552. “วงจรควอดเรเจอร์ออสซิลเลเตอร์โหมดกระแสโดยใช้ออปแอมป์.” วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- รัตนชาติ ดวงอภินันท์. 2554. “การพัฒนาชุดทดลองการต่อวงจรออปแอมป์ สำหรับนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)” วิทยานิพนธ์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า. 2552. “การออกแบบวงจรแปลงความต้านทานแบบลอยตัวโดยใช้ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน.” วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2552. การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพชุดการสอนทำอย่างไรให้เป็นตรรกะ (Logic). พัฒนาเทคนิคศึกษา, 21(71), 24-32.
- ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมาตย์. 2557. “การสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอดเรอเจอร์โหมดกระแสโดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่.” วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สดุติ จินตณปัญญา. 2550. “วงจรกิจกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสแบบปรับค่าด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ไอทีเอแบบหลายเอาต์พุต.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สาวิตรี กลั่นเอี่ยม. 2549. “การสร้างตัวกำเนิดสัญญาณไซน์แบบดิจิตอลที่ปรับการเลื่อนเฟส.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เสน่ห์ ไผ่ตรีจิต. 2552. “การประยุกต์ใช้ OTA ในวงจรเลื่อนเฟสไม่ขึ้นกับความถี่.” วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิทธิชัย โภไคยอุดม. 2549. วงจรป้อนกลับแบบลบและออสซิลเลเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2 แก้ไขและเพิ่มเติม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- สุรางคณา จันทร์เรือง. 2552. การสอนแบบทดลอง. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. คณะศึกษาศาสตร์.
- แสงระวี ตั้งกุลบริบูรณ์. 2544. “วงจรกิจกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสที่ปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Abuelma'atti, M. T. 2011. “New two CFOA-based sinusoidal RC oscillators with buffered outlet.” *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. vol. 66 : 475-482.
- Acar, C. and Ozoguz, S. 1999. “A new versatile building block: current differencing buffered amplifier suitable for analog signal-processing filters.” *Microelectronics Journal*, vol. 30 : 157-160.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Bhaskar, D. R., Gupta, S. S., Senani, R. and Singh, A. K. New CFOA-based sinusoidal oscillators retaining independent control of oscillation frequency even under the influence of parasitic impedances. *Analog Integrated Circuits and Signal*
- Biolek, D., Senani, R., Biolkova, V. and Z. Kolka, 2008. "Active elements for analog signal processing: classification, review, and new proposals." **Radioengineering**. vol. 17 : 15-32
- Chung, W. 2005. "A Design of LC-tuned Sinusoidal VCOs Using OTA-C Active Inductors." **IKEEE**. 11(11) : 47-52.
- Jaikla, W., Buakhong, U., Siripongdee, S., Khateb, F., Sotner, R., Silapan, P. et al. 2021. "Single Commercially Available IC-Based Electronically Controllable Voltage-Mode First-Order Multifunction Filter with Complete Standard Functions and Low Output Impedance." **Sensors**. vol. 21 : 7376.
- Kennedy, M. P. 1994. "Chaos in the Colpitts oscillator." **IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications**. vol. 41 : 771-774.
- Sedra, A. S. and Smith, K. C. 1991. **Microelectronic circuits**. 3rd ed., Florida : Holt, Rinehart and Winston.
- Senani, R., Bhaskar, D. R., Singh, V. K., and Sharma, V. K. **Sinusoidal oscillators and waveform generators using modern electronic circuit building blocks**. 2nd edn. Springer, Switzerland.
- Sotner, R., Jerabek, J., Herencsar, N., Petrzela, J., Vrba, K. and Kincl, Z. 2014. "Linearly tunable quadrature oscillator derived from LC Colpitts structure using voltage differencing transconductance amplifier and adjustable current amplifier." **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**. vol. 81 : 121-136.

บรรณานุกรม(ต่อ)

Siripongdee, S. and Jaikla, W. 2017. “Electronically controllable grounded inductance simulators using single commercially available IC: LT1228.” **AEU – International Journal of Electronics and Communications**. vol. 76 : 1-10.

100 MHz Current Feedback Amplifier with DC Gain Control. Available online: <https://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/data-sheets/1228fd.pdf> (accessed on 12 September 2022)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บันทึกข้อความ

หน่วยงาน ส่วนสนับสนุนวิชาการ งานบริหารวิชาการบัณฑิตศึกษา โทร ๓๖๙๒

ที่ อว ๗๐๐๔.๑(๑๑)/e ๒๗๔๗

วันที่ ๒๒ เมษายน ๒๕๖๖

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.สุชิน อางหาญ

ด้วยนางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.อมรชัย ชัยชนะ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตรบัณฑิตและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความสามารถเกี่ยวกับ เรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นพร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอ ขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ ไพรินทร์)

ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทน

คณบดี

๒๒ เม.ย. ๖๖ เวลา ๑๕:๔๘:๓๙ Non PKI Server Sign LN

Signature Code : QQAxA DUAMw A4ADY AQQBB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ อว ๗๐๐๔/๕ ๒๗๔๘

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง เลขที่ ๑ ซอยฉลองกรุง ๑
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๑๐๕๒๐

๒๒ เมษายน ๒๕๖๖

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.เดวิทย์ ศิริพจน์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

ด้วยนางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.อมรชัย ชัยชนะ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความสามารถเกี่ยวกับ
เรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม
มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์
มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอ
ขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ ไพรินทร์)

ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทน

คณบดี

๒๒ เม.ย. ๖๖ เวลา ๑๕:๔๙:๐๓ Non-PKI Server Sign-LN
Signature Code : RgA0A-DQAQw-A4ADQ-ANyBC

งานบริหารวิชาการบัณฑิตศึกษา
ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร ๐๒-๓๒๙-๘๐๐๐ ต่อ ๓๖๙๒
โทรสาร ๐๒-๓๒๙-๘๔๓๖
ติดต่อนักศึกษา โทร ๐๙๖-๐๘๘-๖๕๕๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ อว ๗๐๐๔/๕ ๒๗๔๙

คณะกรรมการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง เลขที่ ๑ ซอยฉลองกรุง ๑
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๑๐๕๒๐

๒๒ เมษายน ๒๕๖๖

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.อดิสร กวารลิปสาม

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

ด้วยนางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรม
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.อมรชัย ชัยชนะ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์

คณะกรรมการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความสามารถเกี่ยวกับ
เรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม
มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์
มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอ
ขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ ไพรินทร์)

ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทน

คณบดี

๒๒ เม.ย. ๖๖ เวลา ๑๕:๔๙:๒๙ Non-PKI Server Sign-LN
Signature Code : NwAyA-DEAMA-BCADQ-AMABG

งานบริหารวิชาการบัณฑิตศึกษา
ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร ๐๒-๓๒๙-๘๐๐๐ ต่อ ๓๖๙๒
โทรสาร ๐๒-๓๒๙-๘๔๓๖
ติดต่อนักศึกษา โทร ๐๙๖-๐๘๙-๖๕๕๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ อว ๗๐๐๔/๔ ๒๗๕๐

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง เลขที่ ๑ ซอยฉลองกรุง ๑
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๑๐๕๒๐

๒๒ เมษายน ๒๕๖๖

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.ดร.ไชยยันต์ ชนะพรมมา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

ด้วยนางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.อมรชัย ชัยชนะ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความสามารถเกี่ยวกับ
เรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจชุดทดลองนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม
มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์
มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอ
ขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ ไพรินทร์)

ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทน

คณบดี

๒๒ เม.ย. ๖๖ เวลา ๑๕:๕๐:๐๕ Non-PKI Server Sign-LN
Signature Code : NyA2A-EMANA-BBADU-ANQAw

งานบริหารวิชาการบัณฑิตศึกษา
ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร ๐๒-๓๒๙-๘๐๐๐ ต่อ ๓๖๙๒
โทรสาร ๐๒-๓๒๙-๘๔๓๖
ติดต่อนักศึกษา โทร ๐๙๖-๐๘๙-๖๕๕๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ อว ๗๐๐๔/๔ ๒๗๕๑

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง เลขที่ ๑ ซอยฉลองกรุง ๑
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๑๐๕๒๐

๒๒ เมษายน ๒๕๖๖

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.ดร.ตฤพัฒน์ ดวงมาลัย

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

ด้วยนางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.อมรชัย ชัยชนะ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความสามารถเกี่ยวกับ
เรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบชุดทดลองนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม
มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์
มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอ
ขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ ไพรินทร์)

ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทน

คณบดี

๒๒ เม.ย. ๖๖ เวลา ๑๕:๕๐:๔๑ Non-PKI Server Sign-LN
Signature Code : RQAYa-EYANy-A4AEQ-AMwBD

งานบริหารวิชาการบัณฑิตศึกษา
ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร ๐๒-๓๒๙-๘๐๐๐ ต่อ ๓๖๙๒
โทรสาร ๐๒-๓๒๙-๘๔๓๖
ติดต่อนักศึกษา โทร ๐๙๖-๐๘๙-๖๕๕๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

เรื่อง วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) โดยใช้อุปกรณ์ OTA

วัตถุประสงค์ (เพื่อให้นักเรียนสามารถ)

1. อธิบายคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) ได้ถูกต้อง
2. คำนวณหาค่าเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส(Phase Shift) ได้ถูกต้อง
3. คำนวณหาค่าความถี่ของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) ได้ถูกต้อง
4. ต่อและปรับค่าวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) ได้ถูกต้อง
5. วัดและทดสอบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) ได้ถูกต้อง
6. ออกแบบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) ได้ถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. ชุดทดลองวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ | จำนวน 1 ชุด |
| 2. ออสซิลโลสโคป | จำนวน 1 เครื่อง |
| 3. แหล่งจ่ายกำลัง | จำนวน 1 เครื่อง |
| 4. มัลติมิเตอร์ | จำนวน 1 เครื่อง |

ทฤษฎีเบื้องต้น

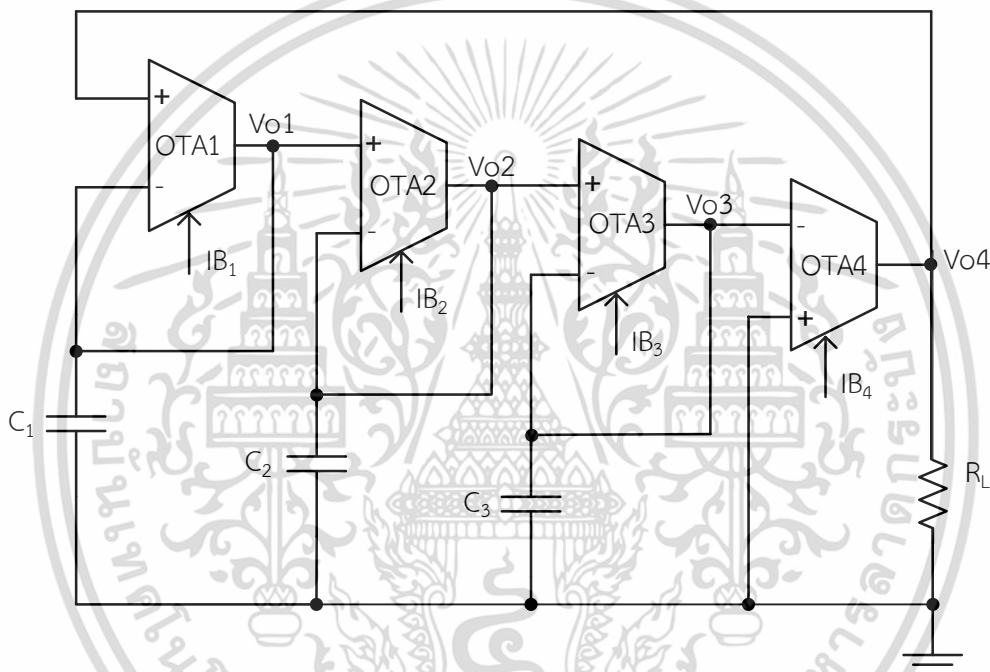
วงจรถูกกำเนิดสัญญาณเป็นวงจรไฟฟ้าที่สามารถให้กำเนิดสัญญาณได้ในตัววงจรเอง โดยไม่ต้องอาศัยสัญญาณทางด้านขาเข้าจากภายนอก โดยจะให้สัญญาณทางด้านขาออกมีรูปแบบเป็นสัญญาณแบบรายคาบ ไม่จำเป็นที่จะต้องมีความถี่สัญญาณทางด้านขาเข้าของวงจร

วงจรเลื่อนเฟส (Phase-shift) หรือบางทีเรียกวางจรกรองทั้งหมดผ่าน (All-pass filter) เป็นวงจรที่ใช้กันกันอย่างแพร่หลายในวงจรประมวลผลทางสัญญาณแอนะล็อกและยังใช้งานในวงจรสื่อสารต่างๆอีกมากมาย โดยวงจรจะทำหน้าที่เลื่อนเฟสให้หน้าหน้า (Lead) หรือล่าหลัง (Lag) ขณะที่ขนาด (Amplitude) ของสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่แต่เดิมวงจรเลื่อนเฟสมีการออกแบบขึ้นจากออปแอมป์ที่เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ (Active element) ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟ (Passive element) ที่เป็นตัวต้านทานและตัวเก็บประจุจำนวนมาก ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่และไม่สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวงจรรวม (Integrated Circuit หรือ IC) มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีการออกแบบ IC ขึ้นมาใช้งานที่หลากหลาย พบว่าในการเลือกนำเอาวงจรรวม ที่สามารถใช้งานการควบคุมวงจรได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronically tunable) มักจะได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากว่าการใช้กระแสหรือแรงดันจากภายนอกสามารถนำไปควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสก็เป็นหนึ่งในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ซึ่งสร้างได้มาจากหลายอุปกรณ์โดยอุปกรณ์โอทีเอ (OTA : Operational -Transconductance Amplifier) เป็นอุปกรณ์แอมพลิฟายเออร์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับออปแอมป์แต่สามารถควบคุมได้ด้วยทางอิเล็กทรอนิกส์และสามารถนำไปประยุกต์ได้หลากหลาย เช่นเดียวกับออปแอมป์

โอทีเอสามารถทำงานผ่านทางขา I_B คือสามารถควบคุมเกณฑ์การกำเนิดสัญญาณและความถี่ของสัญญาณผ่านทางขา I_B ได้เราจึงสามารถทำการไบอัสแรงดันผ่านตัวต้านทานเพื่อให้ได้กระแสเข้าไปที่ขา I_B สามารถนำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากอุปกรณ์โอทีเอได้โดยจะมีรูปวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสโดยใช้อุปกรณ์โอทีเอดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสโดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA)

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสนั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^3 C^3 + 3s^2 C^2 + 3sC + 1 + gm_4 R_L = 0 \quad (1)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (1) จะได้

$$-j\omega^3 a^3 - 3\omega^2 a^2 + 3j\omega a + 1 + gm_4 R_L = 0 \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (2) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ เมื่อกำหนดให้กระแส $I_B = I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency Of Oscillation : FO) คือ

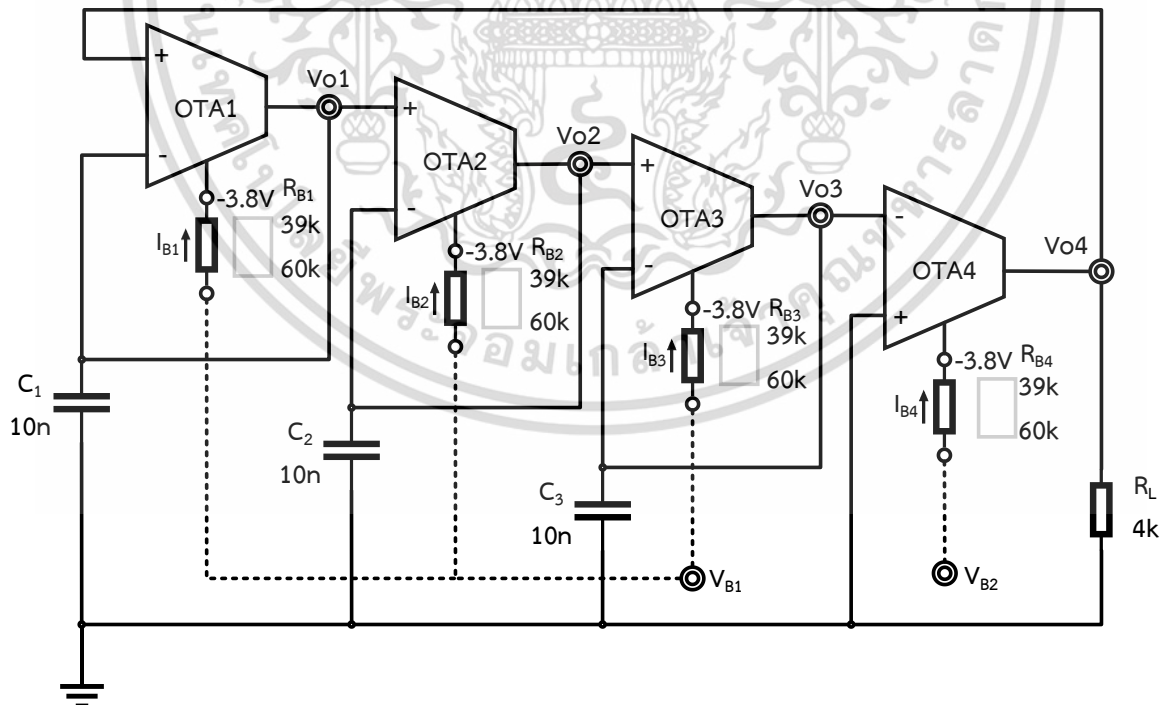
$$f = \frac{I_B \sqrt{3}}{4V_T \pi C} \text{ หน่วย Hz} \quad (3)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition Of Oscillation : CO) คือ

$$g_{m4} R_L \leq 8 \quad (4)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (4) ให้มีค่าน้อยกว่า 8 เล็กน้อย (อาจจะเป็น 7.5 หรือ 7) เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณไซน์ได้ทันทีที่มีป้อนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

ลำดับขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสโดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA) ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2 สามารถจ่ายแรงดันไบอัส V_{B1} ผ่านตัวต้านทาน R_{B1} , R_{B2} และ R_{B3} เพื่อควบคุมเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition Of Oscillation : CO) และ V_{B2} ผ่านตัวต้านทาน R_{B4} ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency Of Oscillation : FO)

1. จากรูปที่ 1 จงคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

1.1 สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition Of Oscillation : CO) ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเลื่อนเฟสคือ $g_{m4}R_L \leq 8$ และกำหนดให้ $R_L = 4k\Omega$ จงหาค่า g_{m4}

เฉลย $g_{m4}R_L \leq 8$

$$g_{m4} \leq \frac{8}{4k}$$

$$g_{m4} \leq 2m$$

1.2 จากข้อ 1.1 เมื่อคำนวณหาและได้ค่า g_{m4} แล้ว จงหาค่า I_{B4} โดยหาจากสมการ $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$

เฉลย $2m = \frac{I_B}{2V_T}$

$$I_B = (2m)(2 \times 26m)$$

$$I_B = 104\mu A$$

1.3 จากข้อ 1.2 เมื่อคำนวณได้ค่า I_{B4} แล้ว จงหาแรงดันไบอัส V_{B2} (จากกฎของโอห์ม $V = IR$) เมื่อ

1.3.1 กำหนดให้ $R_{B4} = 39k\Omega$ (แรงดันไบอัสที่ขา 1 ของ OTA มีค่าเท่ากับ $-3.8V$)

$$V_{B2} = (I_{B4} \times R_{B4}) - 3.8 = \dots\dots\dots 0.25 \dots\dots\dots V$$

1.3.2 กำหนดให้ $R_{B4} = 60k\Omega$ (แรงดันไบอัสที่ขา 1 ของ OTA มีค่าเท่ากับ $-3.8V$)

$$V_{B2} = (I_{B4} \times R_{B4}) - 3.8 = \dots\dots\dots 2.44 \dots\dots\dots V$$

1.4 ถ้าต้องการกระแสไบอัส $I_{B1} = 100\mu A$ โดยกำหนดให้ความต้านทาน $R_{B1} = 60k\Omega$ จงหาแรงดันไบอัส V_{B1}

เฉลย $V_{B1} = (I_{B1} \times R_{B1}) - 3.8$

$$V_{B1} = (100\mu A \times 60k\Omega) - 3.8$$

$$V_{B1} = 2.2V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทดลองปรับค่าแรงดันไบอัสที่มีผลต่อการกำเนิดสัญญาณ

ขั้นตอนในการปรับแรงดันไบอัส V_{B1} และ V_{B2}

1) กดสวิตช์เพื่อเพิ่มและลดแรงดันโดย สวิตช์ UP เป็นการเพิ่มแรงดัน และ สวิตช์ DOWN เป็นการลดแรงดัน ให้แก่แรงดัน V_{B1} และ V_{B2}

2) นำมัลติมิเตอร์วัดแรงดันตรงจุด V_{B1} และ V_{B2} เทียบกับจุดกราวด์ (GND) บนบอร์ดทดลองทุกครั้ง ก่อนนำไปต่อเข้าวงจร

3) ต่อแรงดัน V_{B1} (VOUT1) เข้ากับ V_{B1} และต่อแรงดัน V_{B2} (VOUT2) เข้ากับ V_{B1} ในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสให้ถูกต้อง

ขั้นตอนในการปรับและทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสโดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA)

2.1 กำหนดให้กระแสไบอัส I_{B1} , I_{B2} และ I_{B3} เท่ากัน โดยในการทดลองนี้ให้เลือกความต้านทานบนวงจรให้ R_{B1} , R_{B2} และ R_{B3} เท่ากับ $39k\Omega$ และปรับแรงดันไบอัส V_{B1} ประมาณ $0.3V$

2.2 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B2} ให้มีค่า g_{m4} น้อยกว่าเงื่อนไขมากๆ คือ $g_{m4} R_L < 8$

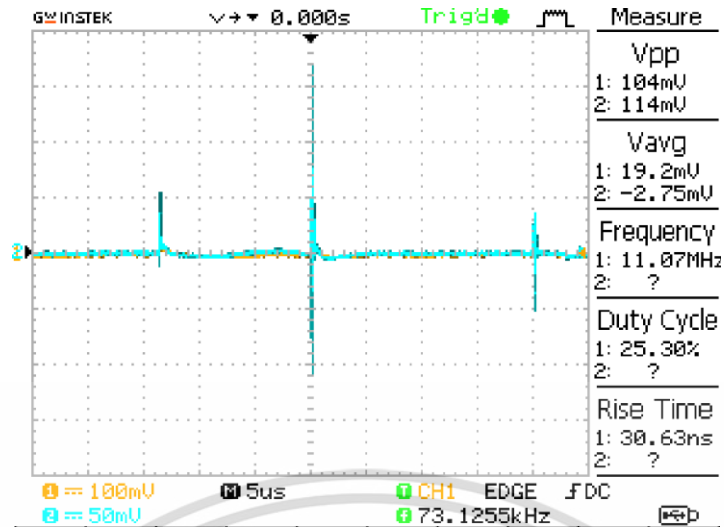
- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 1.5m$

- จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B4} = \dots\dots\dots 78\mu A$

- เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 60k\Omega$

- ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B2} = (I_{B4} \times R_{B4}) - 3.8 = \dots\dots\dots 0.88 V$ (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_{O4} และ CH2 วัดที่จุด V_{O3} สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 3



CH1	CH2
VOLTS / DIV = <u>100m</u> TIME / DIV <u>5us</u>	VOLTS / DIV = <u>50m</u> TIME / DIV <u>5us</u>
V _{p-p} <u>104m</u> V, T = <u>30n</u> s, f = <u>73k</u> Hz	V _{p-p} <u>114m</u> V, T = <u>-</u> s, f = <u>-</u> Hz

รูปที่ 3 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.2

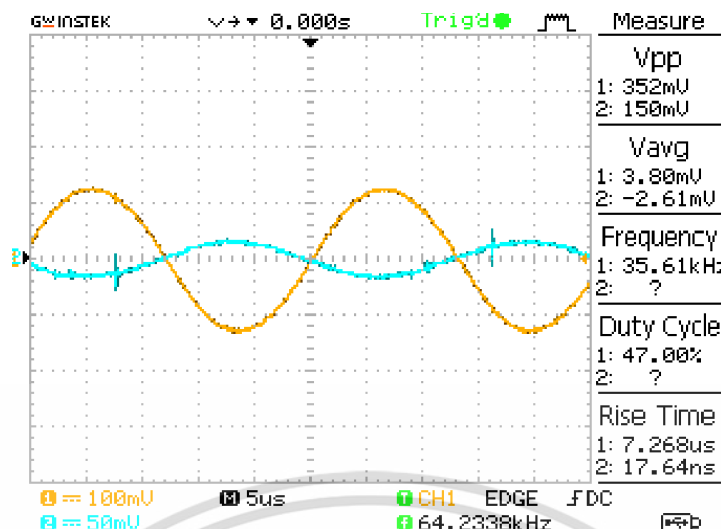
จากรูปที่ 3 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย วงจรจะยังไม่เกิดเป็นรูปสัญญาณไซน์เนื่องจากค่าของกระแส I_{B4} มีค่าน้อยกว่าเงื่อนไข

- 2.3 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B2} ให้มีค่า g_{m4} เท่ากับเงื่อนไข คือ $g_{m4} R_L = 8$
- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 2m$
 - จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B4} = \dots\dots\dots 104u \dots\dots\dots A$
 - เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 60k\Omega$
 - ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B2} = (I_{B4} \times R_{B4}) - 3.8 = \dots\dots\dots 2.44 \dots\dots\dots V$ (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_{O4} และ CH2 วัดที่จุด V_{O3} สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH1	CH2
VOLTS / DIV = 100m TIME / DIV 5us	VOLTS / DIV = 50m TIME / DIV 5us
V _{p-p} 352mV, T = 7.26u s, f = 64.23kHz	V _{p-p} 150m V, T = 17.6n s, f = - Hz

รูปที่ 4 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.3

จากรูปที่ 4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย สัญญาณเอาต์พุตออกเป็นรูปไซน์ที่ดี

2.4 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B2} ให้มีค่า g_{m4} มากกว่าเงื่อนไขเล็กน้อย คือ $g_{m4} R_L = 9.2$

- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 2.3m$

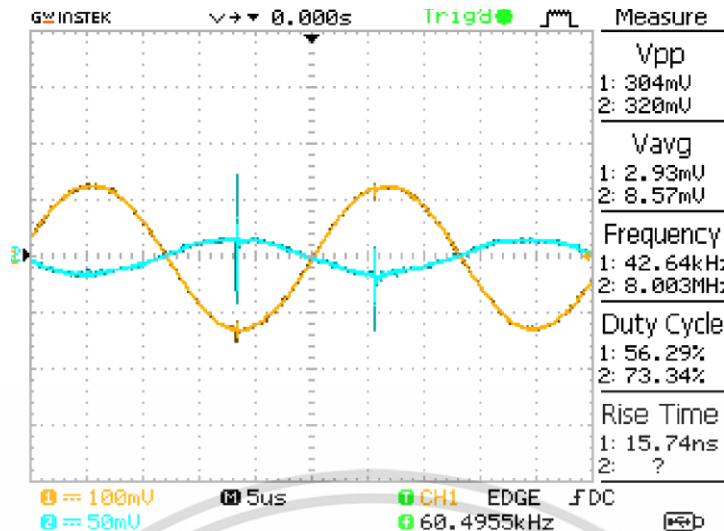
- จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B4} = 119u A$

- เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 60k\Omega$

- ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B2} = (I_{B4} \times R_{B4}) - 3.8 = 3.34 V$ (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปและวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_{O4} และ CH2 วัดที่จุด V_{O3} สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH1	CH2
VOLTS / DIV = 100mV	VOLTS / DIV = 50mV
TIME / DIV = 5us	TIME / DIV = 5us
V_{p-p} 304mV, T = 15.7ns, f = 60k Hz	V_{p-p} 320mV, T = - s, f = - Hz

รูปที่ 5 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.4

จากรูปที่ 5 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย เกิดเป็นรูปสัญญาณไซน์ที่สังเกตเห็นที่จุด V_{O4} ความถี่ที่ได้จะใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด ดังนั้นในทางปฏิบัติจริง จะต้องปรับให้มากกว่าเล็กน้อย

2.5 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B2} ให้มีค่า g_{m4} *มากกว่าเล็กน้อย* คือ $g_{m4} R_L = 11.2$

- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 2.8m$

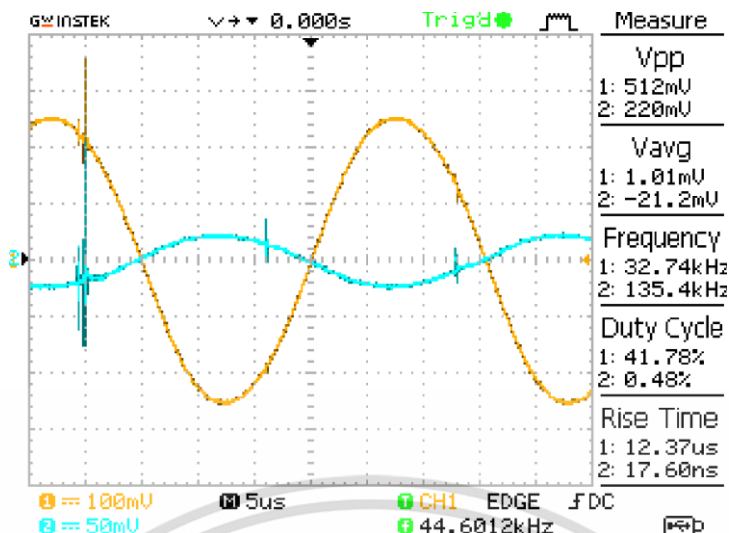
- จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B4} = \dots\dots\dots 145\mu \dots\dots\dots A$

- เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 60k\Omega$

- ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B2} = (I_{B4} \times R_{B4}) - 3.8 = \dots\dots\dots 4.93 \dots\dots\dots V$ (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปและวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคปจากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปและวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_{O4} และ CH2 วัดที่จุด V_{O3} สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH1	CH2
VOLTS / DIV = 100mV	VOLTS / DIV = 50mV
TIME / DIV = 5us	TIME / DIV = 5us
V _{p-p} 512mV, T = 12.3us, f = 44k Hz	V _{p-p} 220mV, T = 17.6ns, f = - Hz

รูปที่ 6 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.5

จากรูปที่ 6 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย เนื่องจากค่าที่ปรับมากกว่าสมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมากเกินไปจึงไม่เป็นรูปสัญญาณไซน์ที่ไม่ดีคือมีแอมพลิจูดสูงและทำให้ค่าความถี่ที่จุด V_{o4} มีการคลาดเคลื่อนและอาจมีการขลิบของสัญญาณ

3. ปรับค่าและทดสอบวงจรตามเงื่อนไขความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ

3.1 บันทึกค่าความถี่และค่าแรงดัน V_{B1} ที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ ลงในตารางที่ 1

หลังจากได้ทำการทดลองเปลี่ยนค่ากระแสไบอัส I_B จากสมการความถี่ $f = \frac{I_B \sqrt{3}}{4V_T \pi C}$ เมื่อ

I_B = I_{B1} = I_{B2} = I_{B3} และกำหนดให้ C = C₁ = C₂ = C₃ = 10nF, V_T = 26mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลค่าความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเลื่อนเฟส

ค่ากระแส(A) $I_B = I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$	ค่าความต้านทาน(Ω) $R_{B1} = R_{B2} = R_{B3}$	ค่าแรงดัน V_{B1}		ค่าความถี่ในการกำเนิด สัญญาณ(f)	
		คำนวณ	มัลติมิเตอร์	คำนวณ	ออสซิลโลสโคป
84u	60k	1.24	1.24	44.53k	44.53k
104u	60k	2.44	2.44	55.13k	55.13k
110u	60k	2.80	2.80	58.44k	58.44k
120u	39k	0.88	0.88	63.75k	63.75k
136u	39k	1.50	1.50	72.25k	72.25k
144u	39k	1.81	1.81	76.50k	76.50k

3.2 จากสมการความถี่ $f = \frac{I_B \sqrt{3}}{4V_T \pi C}$ กำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3 = 10\text{nF}$ จงคำนวณหาค่า I_B

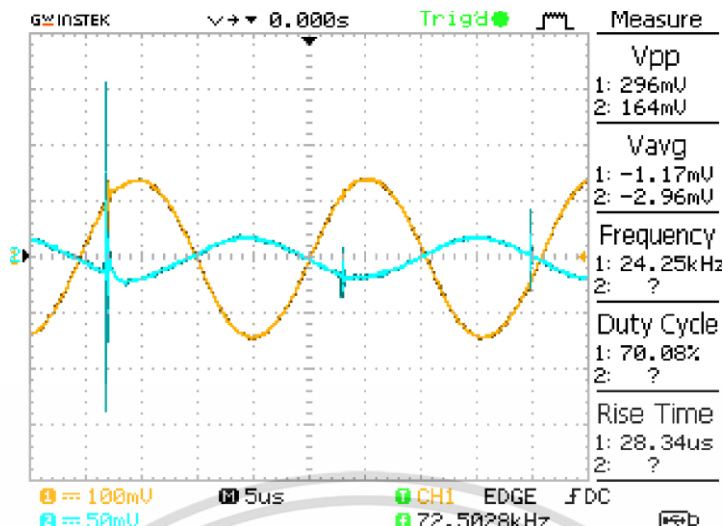
เมื่อ $I_B = I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$ และเป็นค่าที่ทำให้ได้ค่าความถี่ที่ 70kHz จากนั้นปรับค่าต่างๆในวงจรให้ได้ความถี่ที่ต้องการและเปรียบเทียบค่าที่เกิดจากการคำนวณและที่วัดได้จริง

$$\text{เฉลย } I_B = \frac{f 4V_T \pi C}{\sqrt{3}}$$

$$I_B = \frac{70\text{k} 4V_T \pi 10^{-9}}{\sqrt{3}}$$

$$I_B = 132\mu\text{A}$$

นำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_{O4} และ CH2 วัดที่จุด V_{O3} สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณได้ในรูปที่ 7



CH1	CH2
VOLTS / DIV = 100mV TIME / DIV 5us	VOLTS / DIV = 50mV TIME / DIV 5us
V_{p-p} 296mV, $T = 28us$, $f = 72k$ Hz	V_{p-p} 164mV, $T =$ - s, $f =$ - Hz

รูปที่ 7 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 3.2

จากรูปที่ 7 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย เมื่อปรับค่ากระแส I_b ที่เกี่ยวข้องกับสมการความถี่รูปคลื่นสัญญาณจะไม่มีเปลี่ยนแปลงแต่จะเปลี่ยนแค่ความถี่ซึ่งค่าความถี่ต้องมีความใกล้เคียงกับที่โจทย์กำหนด

สรุปผลการทดลอง

เฉลย ในการทดลองของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์นี้พบว่าสามารถปรับค่าความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณอิสระจากกัน กล่าวคือเมื่อปรับค่ากระแส I_b ที่เกี่ยวข้องกับความถี่ (f)

รูปคลื่นสัญญาณจะไม่มีเปลี่ยนแปลงโดยจะเปลี่ยนแค่ความถี่ (f) ซึ่งค่าความถี่มีความใกล้เคียงกันระหว่างทฤษฎีและปฏิบัติซึ่งในทางปฏิบัติสามารถคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีได้เล็กน้อย และการปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณนั้นในทางปฏิบัติจะต้องให้ค่ามีค่าน้อยกว่าเงื่อนไขเล็กน้อย และเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์วงจรและการปรับค่าจึงกำหนดให้ค่าความถี่ประจวบเหมาะกันทุกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฝึกหัดท้ายการทดลองใบงานที่ 1

เรื่อง วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) โดยใช้อุปกรณ์ OTA
คำสั่ง กากบาท ✕ คำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อที่ต้องเกี่ยวกับหน้าที่ของกระแส I_{B4} ในการปรับแรงดันไบอัสให้แก่วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส

1. เพื่อควบคุมการกำเนิดสัญญาณไซน์เท่านั้น
2. เพื่อควบคุมความถี่ของสัญญาณไซน์เท่านั้น
3. เพื่อให้ส่งผลต่อรูปคลื่นและความถี่ของสัญญาณไซน์
4. เพื่อให้ส่งผลให้รูปคลื่น ความถี่ และแอมพลิจูดของสัญญาณไซน์

2. สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$g_{m4} R_L \leq 8 \text{ เมื่อกำหนดให้ } R_L = 1k\Omega$$

จงคำนวณหาค่ากระแส I_{B4} ว่าต้องมีค่าเท่าไรเพื่อให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ดีที่สุด

1. 190uA
 2. 290uA
 3. 390uA
 4. 490uA
3. สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{I_B \sqrt{3}}{4V_T \pi C}$$

เมื่อกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3 = 1nF$ จงคำนวณหาค่ากระแส $I_B = I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$ ว่ามีค่าเท่าไร เมื่อต้องการความถี่ 100kHz

1. 18.8uA
2. 188uA
3. 18.8mA
4. 188mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้าต้องการควบคุมการปรับค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสควรทำการปรับกระแสไบอัสที่ตำแหน่งใดในวงจรเพื่อสะดวกในการใช้งานมากที่สุด
 1. ปรับกระแส I_{B1} และ I_{B2} ให้เท่ากันเพื่อให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ จากนั้นปรับให้ I_{B3} ให้เปลี่ยนแปลงเพื่อควบคุมค่าความถี่
 2. ปรับกระแส I_{B4} เพื่อควบคุมค่าความถี่ของวงจร และกำหนดให้ C_1, C_2 และ C_3 มีค่าเท่ากันให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้
 3. ปรับกระแส I_{B1}, I_{B2} และ I_{B3} ให้มีค่าเท่ากันและคงที่ให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ จากนั้นปรับกระแส I_{B4} เพื่อปรับค่าความถี่
 4. ปรับกระแส I_{B4} ให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้และตั้งค่าไว้คงที่ และปรับกระแส I_{B1}, I_{B2} และ I_{B3} ให้มีค่าเท่ากันเพื่อปรับค่าความถี่
5. หากต้องการวัดทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ V_{o4} ให้มีสัญญาณไซน์ที่ดีและมีค่าความถี่ 40kHz โดยกำหนดให้ค่า $C = 10\text{nF}$ และ $R_L = 2\text{k}\Omega$ จะต้องปรับค่ากระแสไบอัส I_B และ I_{B4} ตามลำดับ
 1. 75uA, 95uA
 2. 75uA, 195uA
 3. 175uA, 95uA
 4. 175uA, 195uA
6. หากต้องการความถี่ 100k Hz จากวงจรเลื่อนเฟสจากวงจรในการทดลองนี้ จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ใดบ้างและมีค่าเท่าไร
 1. $I_B = 288\text{uA}$
 2. $I_B = 188\text{uA}, C = 1\text{nF}$
 3. $I_B = 288\text{uA}, C = 10\text{nF}$
 4. $I_B = 188\text{uA}, C = 10\text{nF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

เรื่อง วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts) โดยใช้อุปกรณ์ OTA

วัตถุประสงค์ (เพื่อให้นักเรียนสามารถ)

1. อธิบายคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆของวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts) ได้ถูกต้อง
2. คำนวณหาค่าเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณของวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts) ได้ถูกต้อง
3. คำนวณหาค่าความถี่ของวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts) ได้ถูกต้อง
4. ต่อและปรับค่าวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts) ได้ถูกต้อง
5. วัดและทดสอบวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts) ได้ถูกต้อง
6. ออกแบบวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts) ได้ถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1. ชุดทดลองวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์ | จำนวน 1 ชุด |
| 2. ออสซิลโลสโคป | จำนวน 1 เครื่อง |
| 3. แหล่งจ่ายกำลัง | จำนวน 1 เครื่อง |
| 4. มัลติมิเตอร์ | จำนวน 1 เครื่อง |

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรมกำเนิดสัญญาณเป็นวงจรไฟฟ้าที่สามารถให้กำเนิดสัญญาณได้ในตัววงจรเองโดยไม่ต้องอาศัยสัญญาณทางด้านขาเข้าจากภายนอกโดยจะให้สัญญาณทางด้านขาออกมีรูปแบบเป็นสัญญาณแบบรายคาบ ไม่จำเป็นที่จะต้องมีส่วนสัญญาณทางด้านขาเข้าของวงจร

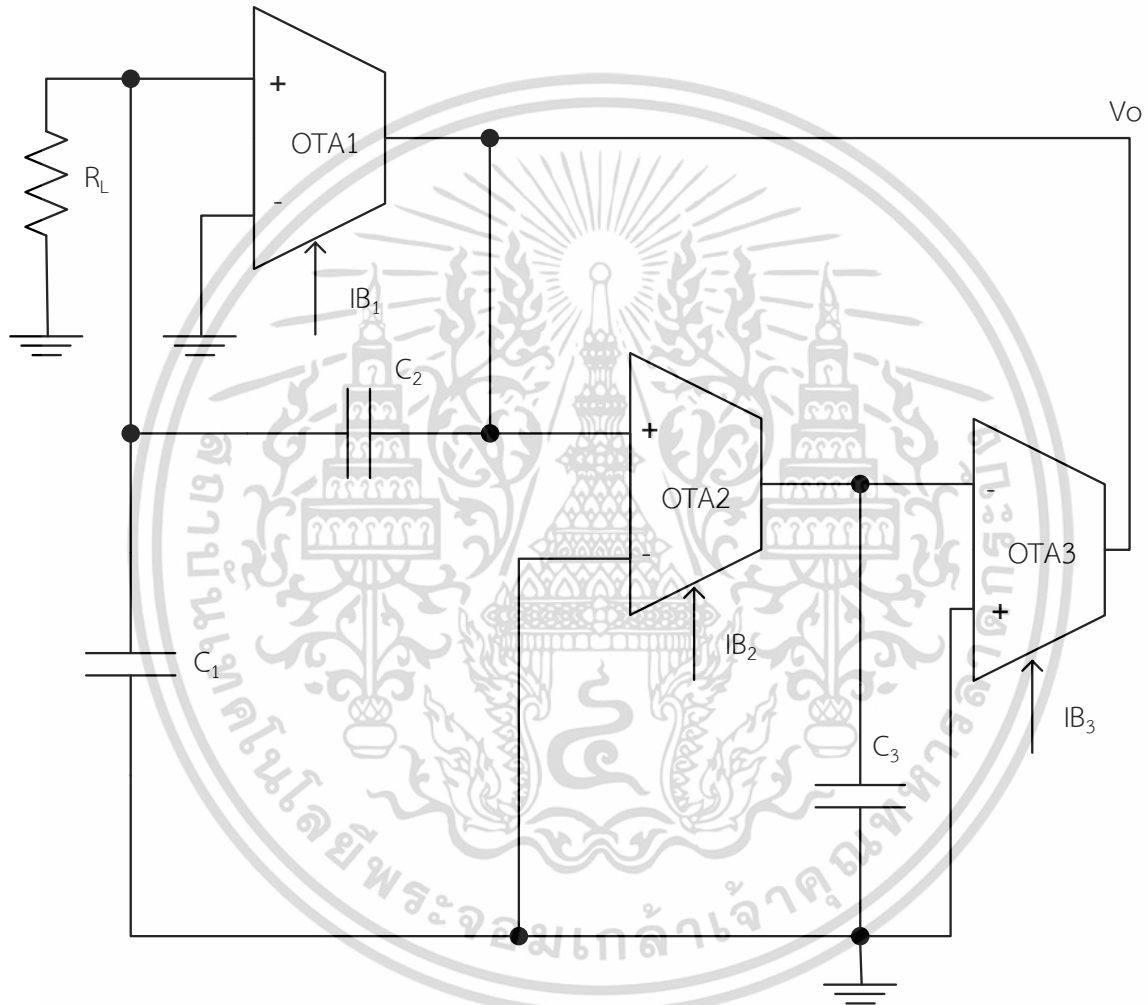
วงจรแบบโคลพิตตส์ (Colpitts) เป็นประเภทของ LC oscillator ซึ่งอยู่ภายใต้หมวดหมู่ของ Harmonic Oscillator แต่เดิมวงจรโคลพิตตส์มีการออกแบบขึ้นจากออปแอมป์ที่เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ (Active element) ต่อกับอุปกรณ์พาสซีฟ (Passive element) ที่เป็นตัวต้นทวน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำจำนวนมากทำให้วงจรมีขนาดใหญ่และไม่สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานซึ่งในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวงจรรวม (Integrated Circuit หรือ IC) มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีการออกแบบวงจรรวม ขึ้นมาใช้งานที่หลากหลาย พบว่าในการเลือกนำเอาวงจรรวม ที่สามารถไขการควบคุมวงจรมได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronically tunable) มักจะได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากว่าการใช้กระแสหรือแรงดันจากภายนอกสามารถนำไปควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆได้

โดยวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์โคลพิตตส์ (Colpitts) ก็เป็นหนึ่งในวงจรมกำเนิดสัญญาณไซน์ ซึ่งสร้างได้มาจากหลายอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์โอทีเอ (OTA : Operational -Transconductance Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์แอกทีฟชนิดหนึ่ง ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับออปแอมป์แต่สามารถควบคุมได้ด้วยทางอิเล็กทรอนิกส์และสามารถนำไปประยุกต์ได้หลากหลายเช่นเดียวกับออปแอมป์

โอทีเอสามารถทำงานผ่านทางขา I_B คือสามารถควบคุมเกณฑ์การกำเนิดสัญญาณและความถี่ของสัญญาณผ่านทางขา I_B ได้เราจึงสามารถทำการไบอัสแรงดันผ่านตัวต้านทานเพื่อให้ได้กระแสเข้าไปที่ขา I_B สามารถนำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณไซน์ที่สร้างจากอุปกรณ์โอทีเอได้โดยจะมีรูปวงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA)

ซึ่งในการออกแบบหรือกำหนดค่าต่างๆในวงจรถ่ายสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์นั้นมีสมการที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดให้ $g_m = g_{m2} = g_{m3}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3$ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการลักษณะสมบัติ คือ

$$s^3 C^2 L + s^2 CL(G_i - g_{m1}) + 2sC + G_i = 0 \quad (1)$$

แทนค่า $G_i = \frac{1}{R_i}$

$$s^3 C^2 L + s^2 CL\left(\frac{1}{R_i} - g_{m1}\right) + 2sC + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (2)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการที่ (1) จะได้

$$j\omega^3 C^2 L + j\omega^2 CL\left(\frac{1}{R_i} - g_{m1}\right) + 2j\omega C + \frac{1}{R_i} = 0 \quad (3)$$

จากสมการลักษณะสมบัติในสมการที่ (3) โดยนำส่วนของจำนวนจริงมาหาสมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และส่วนของจำนวนจินตภาพมาหาสมการเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณได้ดังต่อไปนี้จะได้

สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency Of Oscillation : FO) คือ

$$f = \frac{g_m \sqrt{2}}{2\pi C} \text{ หน่วย Hz} \quad (4)$$

หรือ

$$f = \frac{I_B \sqrt{2}}{4\pi V_T C} \quad (5)$$

สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition Of Oscillation : CO) คือ

$$2g_{m1} R_i \geq 1 \quad (5)$$

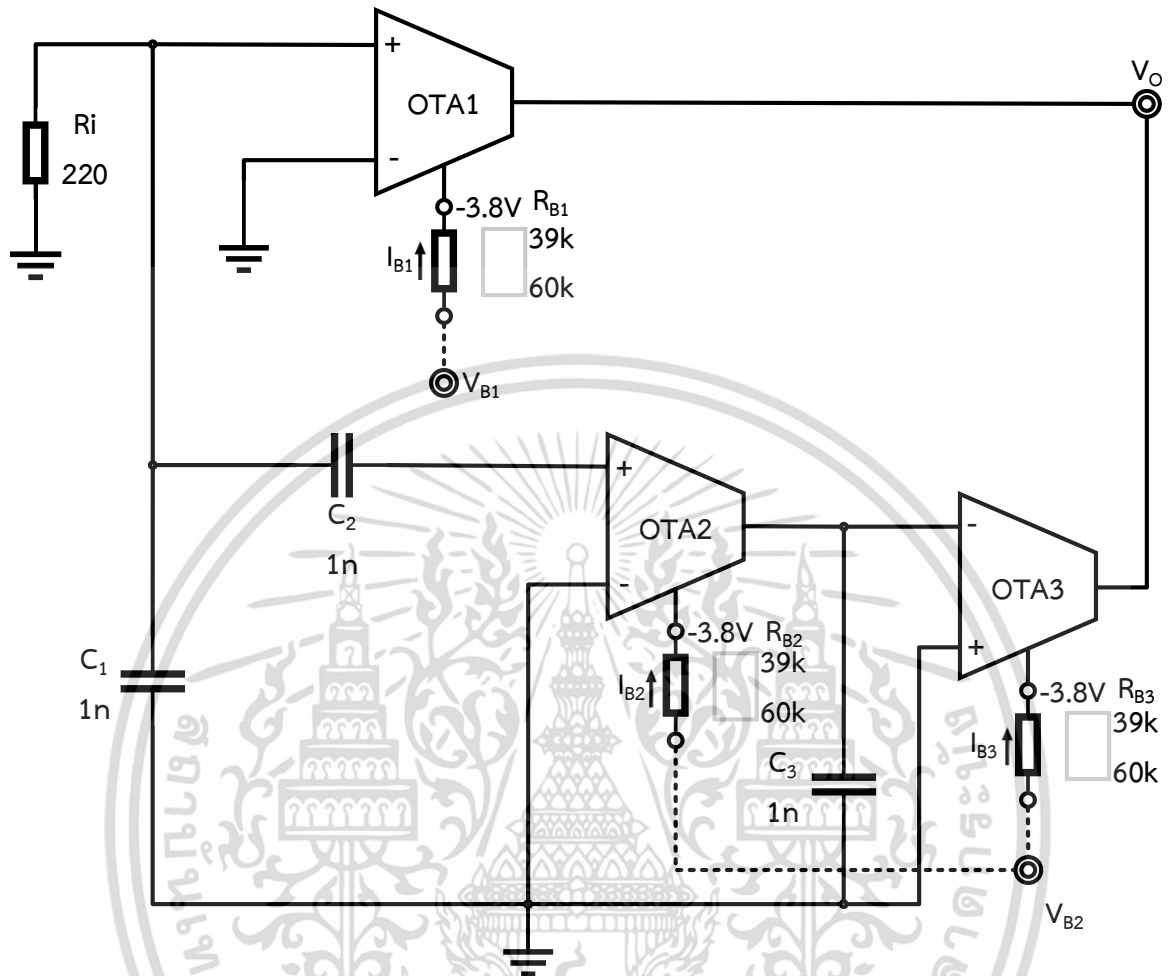
หรือ

$$\frac{I_{B1} R_i}{V_T} \geq 1 \quad (6)$$

ในทางปฏิบัติอาจมีการกำหนดสมการเงื่อนไขในสมการที่ (5) ให้มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย (อาจจะเป็น 1.5 หรือ 1.2) เพื่อวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณขึ้นได้ทันทีที่มีป้อนแหล่งจ่ายไฟให้วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA) ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 2 เราสามารถจ่ายแรงดันไบอัส V_{B1} ผ่านตัวต้านทาน R_{B1} เพื่อควบคุมเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition Of Oscillation : CO) และ V_{B2} ผ่านตัวต้านทาน R_{B2} และ R_{B3} เพื่อควบคุมความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency Of Oscillation : FO)

1. จากรูปที่ 1 จงคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

1.1 สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition Of Oscillation : CO) ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์คือ $2g_{m1}R_i \geq 1$ และกำหนดให้ $R_i = 220\Omega$ จงหาค่า g_{m1}

เฉลย

$$2g_{m1}R_i = 1$$

$$g_{m1} = \frac{1}{(2)(220)}$$

$$g_{m1} = 2.27m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 จากข้อ 1.1 เมื่อคำนวณหาและได้ค่า g_{m1} แล้ว จงหาค่า I_{B1} โดยหาจากสมการ $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$

เฉลย $I_{B1} = g_{m1} 2V_T$

$$I_{B1} = (2.27m)(2)(26m)$$

$$I_{B1} = 118\mu A$$

1.3 จากข้อ 1.2 เมื่อคำนวณได้ค่า I_{B1} แล้ว จงหาแรงดันไบอัส V_{B1} (จากกฎของโอห์ม $V = IR$) เมื่อ

1.3.1 กำหนดให้ $R_{B1} = 39k\Omega$ (แรงดันไบอัสที่ขา 1 ของ OTA มีค่าเท่ากับ $-3.8V$)

$$V_{B1} = (I_{B1} \times R_{B1}) - 3.8 = \dots\dots\dots 0.80 \dots\dots\dots V$$

1.3.2 กำหนดให้ $R_{B1} = 60k\Omega$ (แรงดันไบอัสที่ขา 1 ของ OTA มีค่าเท่ากับ $-3.8V$)

$$V_{B1} = (I_{B1} \times R_{B1}) - 3.8 = \dots\dots\dots 3.28 \dots\dots\dots V$$

1.4 ถ้าต้องการกระแสไบอัส $I_{B1} = 100\mu A$ โดยกำหนดให้ความต้านทาน $R_{B1} = 60k\Omega$ จงหาแรงดันไบอัส V_{B1}

เฉลย $V_{B1} = (100\mu)(60k) - 3.8$

$$V_{B1} = 2.2V$$

2. ทดลองปรับค่าแรงดันไบอัสที่มีผลต่อการกำเนิดสัญญาณ

ขั้นตอนในการปรับแรงดันไบอัส V_{B1} และ V_{B2}

1) กดสวิตช์เพื่อเพิ่มและลดแรงดันโดย สวิตช์ UP เป็นการเพิ่มแรงดัน และ สวิตช์ DOWN เป็นการลดแรงดัน ให้แก่แรงดัน V_{B1} และ V_{B2}

2) นำมัลติมิเตอร์วัดแรงดันตรงจุด V_{B1} และ V_{B2} เทียบกับจุดกราวด์ (GND) บนบอร์ดทดลองทุกครั้ง ก่อนนำไปต่อเข้าวงจร

3) ต่อแรงดัน V_{B1} (VOUT1) เข้ากับ V_{B1} และต่อแรงดัน V_{B2} (VOUT2) เข้ากับ V_{B1} ในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ให้ถูกต้อง

ขั้นตอนในการปรับและทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์สโดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA)

2.1 กำหนดให้กระแสไบอัส I_{B2} และ I_{B3} เท่ากัน โดยในการทดลองนี้ให้เลือกความต้านทานบนวงจรให้ R_{B2} และ R_{B3} เท่ากับ $60k\Omega$ และปรับแรงดันไบอัส V_{B2} ประมาณ $0.3V$

2.2 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B1} ให้มีค่า g_{m1} น้อยกว่าเงื่อนไข คือ $2g_{m1}R_i = 0.5$

- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 1.13m$

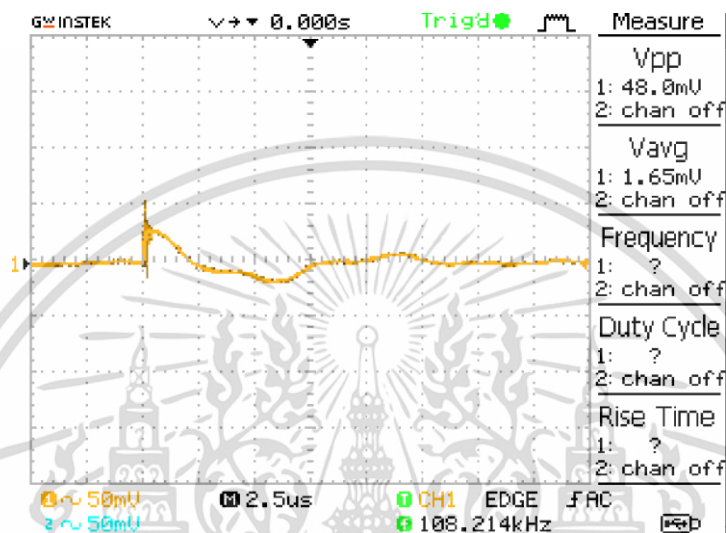
- จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B1} = \dots\dots\dots 58\mu \dots\dots\dots A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 60k\Omega$
- ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B1} = (I_{B1} \times R_{B1}) - 3.8 = \dots\dots\dots 0.32 \dots\dots V$ (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_O สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 3



CH1	CH2
VOLTS / DIV = 50mV	VOLTS / DIV = -
TIME / DIV 2.5us	TIME / DIV -
V_{p-p} 48m V, T = - s, f = 108k Hz	V_{p-p} - V, T = - s, f = - Hz

รูปที่ 3 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.2

จากรูปที่ 3 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

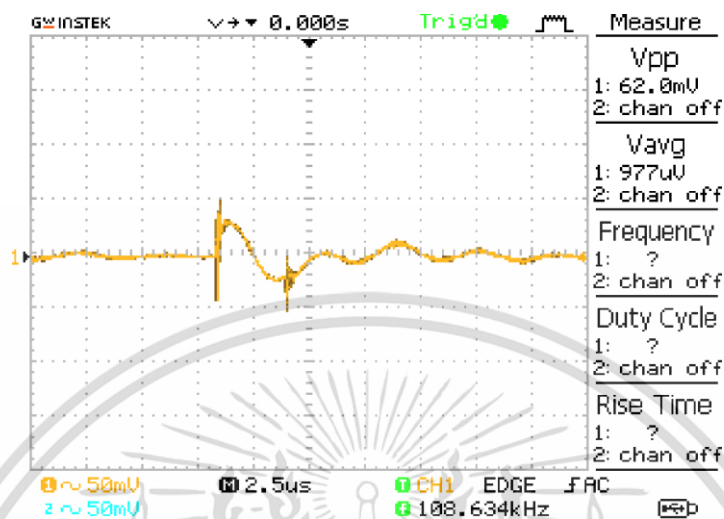
เฉลย วงจรจะยังไม่เกิดเป็นรูปสัญญาณไซน์

2.3 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B1} ให้มีค่า g_{m1} เท่ากับเงื่อนไข คือ $2g_{m1}R_i = 1$

- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 2.27m$
- จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B1} = \dots\dots\dots 118u \dots\dots A$
- เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 60k\Omega$
- ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B1} = (I_{B1} \times R_{B1}) - 3.8 = \dots\dots\dots 3.28 \dots\dots V$ (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 4



CH1	CH2
VOLTS / DIV = 50mV	VOLTS / DIV = -
TIME / DIV 2.5us	TIME / DIV -
V _{p-p} 62m V, T = - s, f = 108k Hz	V _{p-p} - V, T = - s, f = - Hz

รูปที่ 4 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.3

จากรูปที่ 4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

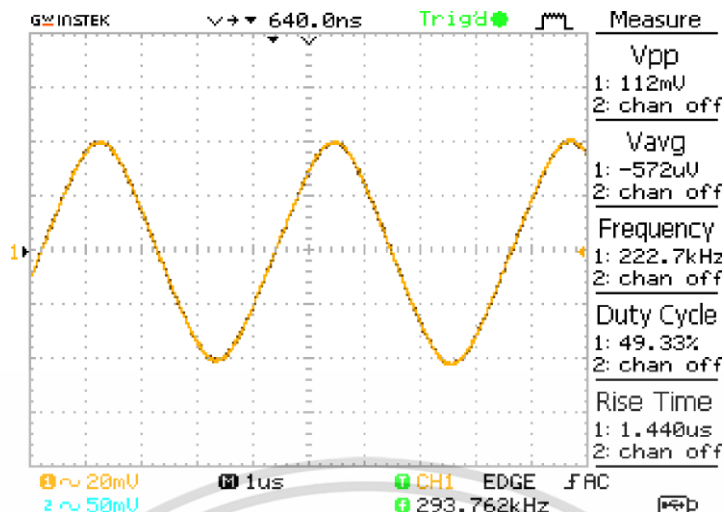
เฉลย วงจรจะยังไม่เกิดเป็นรูปสัญญาณไซน์

2.4 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B1} ให้มีค่า g_{m1} มากกว่าเงื่อนไข คือ $2g_{m1}R_i = 1.2$

- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 2.72m$
- จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B1} = 141u$ A
- เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 60k\Omega$
- ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B1} = (I_{B1} \times R_{B1}) - 3.8 = 4.66$ V (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_O สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH1 VOLTS / DIV = <u>20mV</u> TIME / DIV <u>1us</u> V _{p-p} <u>112m</u> V, T = <u>1.4u</u> s, f = <u>293k</u> Hz	CH2 VOLTS / DIV = <u>-</u> TIME / DIV <u>-</u> V _{p-p} <u>-</u> V, T = <u>-</u> s, f = <u>-</u> Hz
---	---

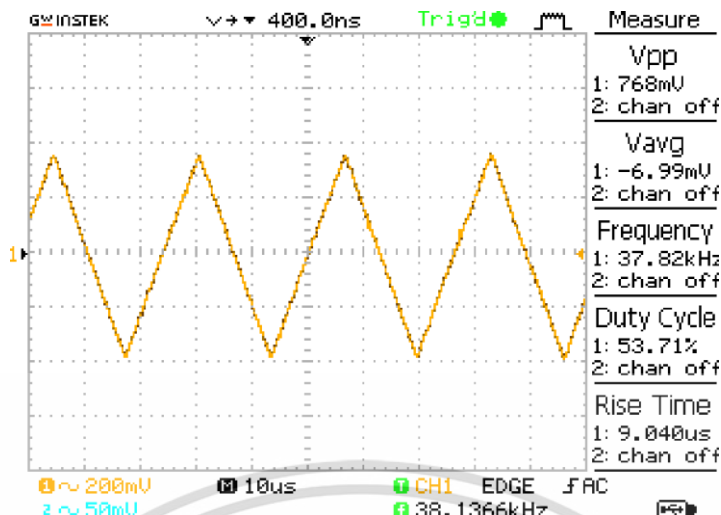
รูปที่ 5 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.4

จากรูปที่ 5 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย เกิดเป็นรูปสัญญาณไซน์ที่ดี ดังนั้นในทางปฏิบัติจริงจะต้องปรับให้มากกว่าเงื่อนไขเล็กน้อยและจะได้ค่าความถี่ใกล้เคียงกับทฤษฎี

- 2.5 ปรับค่าแรงดันไบอัส V_{B1} ให้มีค่า g_{m1} มากกว่าเงื่อนไขมากๆ คือ $2g_{m1}R_i = 1.8$
- ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ $g_m = 4m$
 - จากสมการ $I_B = g_m 2V_T$ จะได้กระแสไบอัส $I_{B1} = \dots 208u \dots A$
 - เลือกความต้านทานไปที่ค่า $R_{B4} = 39k\Omega$
 - ดังนั้น ต้องปรับค่าแรงดัน $V_{B1} = (I_{B1} \times R_{B1}) - 3.8 = \dots 4.31 \dots V$ (จากกฎของโอห์ $V = IR$)

จากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปและวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคปจากนั้นป้อนแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรและใช้ออสซิลโลสโคปและวัดสัญญาณโดยนำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_o สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 6



CH1	CH2
VOLTS / DIV = 200mV	VOLTS / DIV = -
TIME / DIV = 10us	TIME / DIV = -
V _{p-p} = 768mV, T = 9us, f = 38k Hz	V _{p-p} = - V, T = - s, f = - Hz

รูปที่ 6 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 2.5

จากรูปที่ 6 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย เนื่องจากค่าที่ปรับมากกว่าสมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมากเกินไปจึงเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณไม่เป็นรูปสัญญาณไซน์

3. ปรับค่าและทดสอบวงจรตามเงื่อนไขความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ

3.1 บันทึกค่าความถี่และค่าแรงดัน V_B ที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ลงในตารางที่ 1

เมื่อ $V_{B1} = V_{B2} = V_{B3}$ หลังจากได้ทำการทดลองเปลี่ยนค่ากระแสไบอัส I_B จากสมการความถี่ $f = \frac{I_B \sqrt{2}}{4\pi V_T C}$

เมื่อ $I_{B1} = I_{B2} = I_{B3}$ และกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3 = 1nF$, $V_T = 26mV$ เท่ากับเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลค่าความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์

ค่ากระแส (A) $I_{B2} = I_{B3}$	ค่าความต้านทาน (Ω) $R_{B2} = R_{B3}$	ค่าแรงดัน (V) V_B		ค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (f)	
		จำนวน	มิลติเมตร	จำนวน	ออสซิลโลสโคป
84u	60k	1.24	1.24	363.58k	363.58k
104u	60k	2.44	2.44	450.15k	450.15k
110u	60k	2.80	2.80	476.12k	476.12k
120u	39k	0.88	0.88	519.41k	519.41k
136u	39k	1.50	1.50	588.66k	588.66k
144u	39k	1.81	1.81	623.29k	623.29k

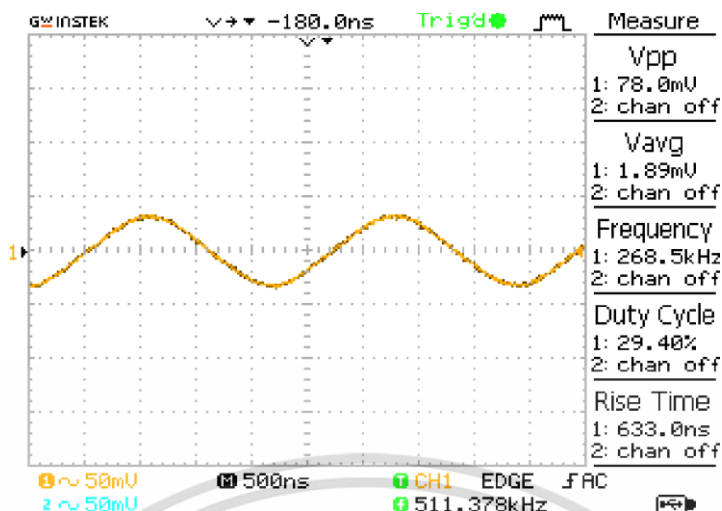
3.2 จากสมการความถี่ $f = \frac{I_B \sqrt{2}}{4\pi V_T C}$ กำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3 = 1\text{nF}$ จงคำนวณหาค่า I_B

เมื่อ $I_{B2} = I_{B3}$ และเป็นค่าที่ทำให้ได้ค่าความถี่ที่ 510kHz จากนั้นปรับค่าต่างๆในวงจรให้ได้ความถี่ที่ต้องการและเปรียบเทียบค่าที่เกิดจากการคำนวณและที่วัดได้จริง

$$I_{B1} = \frac{(510\text{k})(4)(\pi)(26)(10^{-3})(10^{-9})}{\sqrt{2}}$$

$$I_{B1} = 118\mu\text{A}$$

นำสายออสซิลโลสโคป CH1 วัดที่จุด V_O สังเกตสัญญาณที่ได้และบันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 7



CH1	CH2
VOLTS / DIV = <u>50mV</u> TIME / DIV <u>500ns</u>	VOLTS / DIV = <u> </u> TIME / DIV <u> </u>
V_{p-p} <u>78m</u> V, T = <u>633n</u> s, f = <u>511k</u> Hz	V_{p-p} <u> </u> V, T = <u> </u> s, f = <u> </u> Hz

รูปที่ 7 ผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดตามข้อ 3.2

จากรูปที่ 7 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือไม่และมีลักษณะอย่างไร

เฉลย เมื่อปรับค่ากระแส I_b ที่เกี่ยวข้องกับสมการความถี่รูปคลื่นสัญญาณจะไม่มีเปลี่ยนแปลงแต่จะเปลี่ยนแค่ความถี่ซึ่งค่าความถี่ต้องมีความใกล้เคียงกับที่โจทย์กำหนด

สรุปผลการทดลอง

เฉลย ในการทดลองของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์นี้พบว่าสามารถปรับค่าความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณอิสระจากกัน กล่าวคือเมื่อปรับค่ากระแส I_b ที่เกี่ยวข้องกับความถี่ (f)

รูปคลื่นสัญญาณจะไม่มีเปลี่ยนแปลงโดยจะเปลี่ยนแค่ความถี่ (f) ซึ่งค่าความถี่มีความใกล้เคียงกันระหว่างทฤษฎีและปฏิบัติซึ่งในทางปฏิบัติสามารถคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีได้เล็กน้อย และการปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณนั้นในทางปฏิบัติจะต้องให้ค่ามีค่ามากกว่าเงื่อนไขเล็กน้อย และเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์วงจรและการปรับค่าจึงกำหนดให้ค่าความถี่ประจวบเท่ากันทุกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฝึกหัดท้ายการทดลองใบงานที่ 4

เรื่อง วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส (Colpitts) โดยใช้อุปกรณ์ OTA

คำสั่ง กากบาท ✕ คำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

- ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับหน้าที่ของกระแส I_{B1} ในปรับกระแสไบอัสให้แก่วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส

1. เพื่อควบคุมการกำเนิดสัญญาณไซน์เท่านั้น
2. เพื่อควบคุมความถี่ของสัญญาณไซน์เท่านั้น
3. เพื่อให้ส่งผลต่อรูปคลื่นและความถี่ของสัญญาณไซน์
4. เพื่อให้ส่งผลให้รูปคลื่น ความถี่ และแอมพลิจูดของสัญญาณไซน์

2. สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$2g_{m1}R_i \geq 1 \text{ เมื่อกำหนดให้ } R_i = 1k\Omega$$

จงคำนวณหาค่ากระแส I_{B1} ว่าต้องมีค่าเท่าไรเพื่อให้วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ดีที่สุด

1. 190uA
 2. 139uA
 3. 39uA
 4. 19uA
3. สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ คือ

$$f = \frac{I_B \sqrt{3}}{4V_T \pi C}$$

เมื่อกำหนดให้ $C = C_1 = C_2 = C_3 = 1nF$ จงคำนวณหาค่ากระแส $I_B = I_{B2} = I_{B3}$ ว่ามีค่าเท่าไรเมื่อต้องการความถี่ 100kHz

1. 23uA
2. 230uA
3. 53uA
4. 530uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้าต้องการควบคุมการปรับค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์สควรทำการปรับกระแสไบอัสที่ตำแหน่งใดในวงจรเพื่อสะดวกในการใช้งานมากที่สุด
 1. ปรับกระแส I_{B1} และ I_{B2} ให้เท่ากันเพื่อให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ จากนั้นปรับให้ I_{B3} ให้เปลี่ยนแปลงเพื่อควบคุมค่าความถี่
 2. ปรับกระแส I_{B1} เพื่อควบคุมค่าความถี่ของวงจร และกำหนดให้ C_1, C_2 และ C_3 มีค่าเท่ากันให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้
 3. ปรับกระแส I_{B1}, I_{B2} และ I_{B3} ให้มีค่าเท่ากันและคงที่ให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ จากนั้นปรับกระแส I_{B4} เพื่อปรับค่าความถี่
 4. ปรับกระแส I_{B1} ให้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ได้และตั้งค่าไว้คงที่ และปรับกระแส I_{B2} และ I_{B3} ให้มีค่าเท่ากันเพื่อปรับค่าความถี่

5. หากต้องการวัดทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ V_o ให้มีสัญญาณไซน์ที่ดีและมีค่าความถี่ 100kHz โดยกำหนดให้ค่า $C = 10\text{nF}$ และ $R_1 = 2\text{k}\Omega$ จะต้องปรับค่ากระแสไบอัส I_{B1} และ $I_B = I_{B2} = I_{B3}$ ตามลำดับ
 1. 19.5uA, 31uA
 2. 19.5uA, 231uA
 3. 195uA, 31uA
 4. 195uA, 231uA

6. หากต้องการความถี่ 500k Hz จากวงจรแบบโคลพิตต์สในการทดลองนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ใดบ้าง และมีค่าเท่าไร
 1. $I_B = 215\text{uA}$
 2. $I_B = 115\text{uA}, C = 1\text{nF}$
 3. $I_B = 215\text{uA}, C = 10\text{nF}$
 4. $I_B = 115\text{uA}, C = 10\text{nF}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินคุณภาพ

ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

คำชี้แจง แบบตรวจและประเมินคุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับนี้ประกอบด้วย 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ เกี่ยวกับชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

แบบประเมินคุณภาพชุดนี้ทำขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับคุณภาพของชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ทรงคุณวุฒิ

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ในกรอบ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริงและเติมข้อความลงในช่องว่าง

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. ระดับการศึกษา
 - ปริญญาตรี
 - ปริญญาโท
 - ปริญญาเอก
 - อื่นๆ (โปรดระบุ).....
3. ตำแหน่งปัจจุบัน

ตำแหน่ง.....

สังกัด.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ เกี่ยวกับชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยแต่ละช่องรายการประเมินได้ กำหนดค่าระดับคะแนนไว้ดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

ระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย

ระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
บอร์ดทดลอง					
1.ด้านกราฟฟิก ตัวอักษร สี					
1.1 ความเหมาะสมของแบบตัวอักษร					
1.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร					
1.3 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร					
1.4 ความเหมาะสมของขนาดบอร์ดทดลอง					
1.5 ความเหมาะสมในการวางอุปกรณ์					
2. ด้านการใช้งาน					
2.1 การเตรียมติดตั้งอุปกรณ์และการทดลองทำได้สะดวก					
2.2 มีความคล่องตัวในการใช้และการปฏิบัติการทดลอง					
2.3 มีประสิทธิภาพในการทดลองและผลการทดลองถูกต้องตามทฤษฎี					
2.4 ใช้งานสะดวกปลอดภัยในขณะปฏิบัติการทดลอง					
ใบงานการทดลอง					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง					
1.2 ความเหมาะสมของขั้นตอนการทดลอง					
1.3 ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน					
1.4 ความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหา					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการประเมินคุณภาพ

ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการประเมิน	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่				
	1	2	3	4	5
บอร์ดทดลอง					
1.ด้านกราฟฟิก ตัวอักษร สี					
1.1 ความเหมาะสมของแบบตัวอักษร	5	5	5	4	5
1.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร	4	4	4	4	4
1.3 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร	5	5	5	4	5
1.4 ความเหมาะสมของขนาดบอร์ดทดลอง	5	5	5	5	5
1.5 ความเหมาะสมในการวางอุปกรณ์	4	5	5	5	5
2. ด้านการใช้งาน					
2.1 การเตรียมติดตั้งอุปกรณ์และการทดลองทำได้สะดวก	5	5	5	4	5
2.2 มีความคล่องตัวในการใช้และการปฏิบัติการทดลอง	4	4	5	4	5
2.3 มีประสิทธิภาพในการทดลองและผลการทดลองถูกต้องตามทฤษฎี	5	5	5	5	5
2.4 ใช้งานสะดวกปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติการทดลอง	5	5	5	5	5
ใบงานการทดลอง					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง	5	5	4	4	5
1.2 ความเหมาะสมของขั้นตอนการทดลอง	3	5	5	4	5
1.3 ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4	5	5	4	5
1.4 ความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหา	5	5	5	4	5
ค่าเฉลี่ย	4.5	4.8	4.8	4.3	4.9

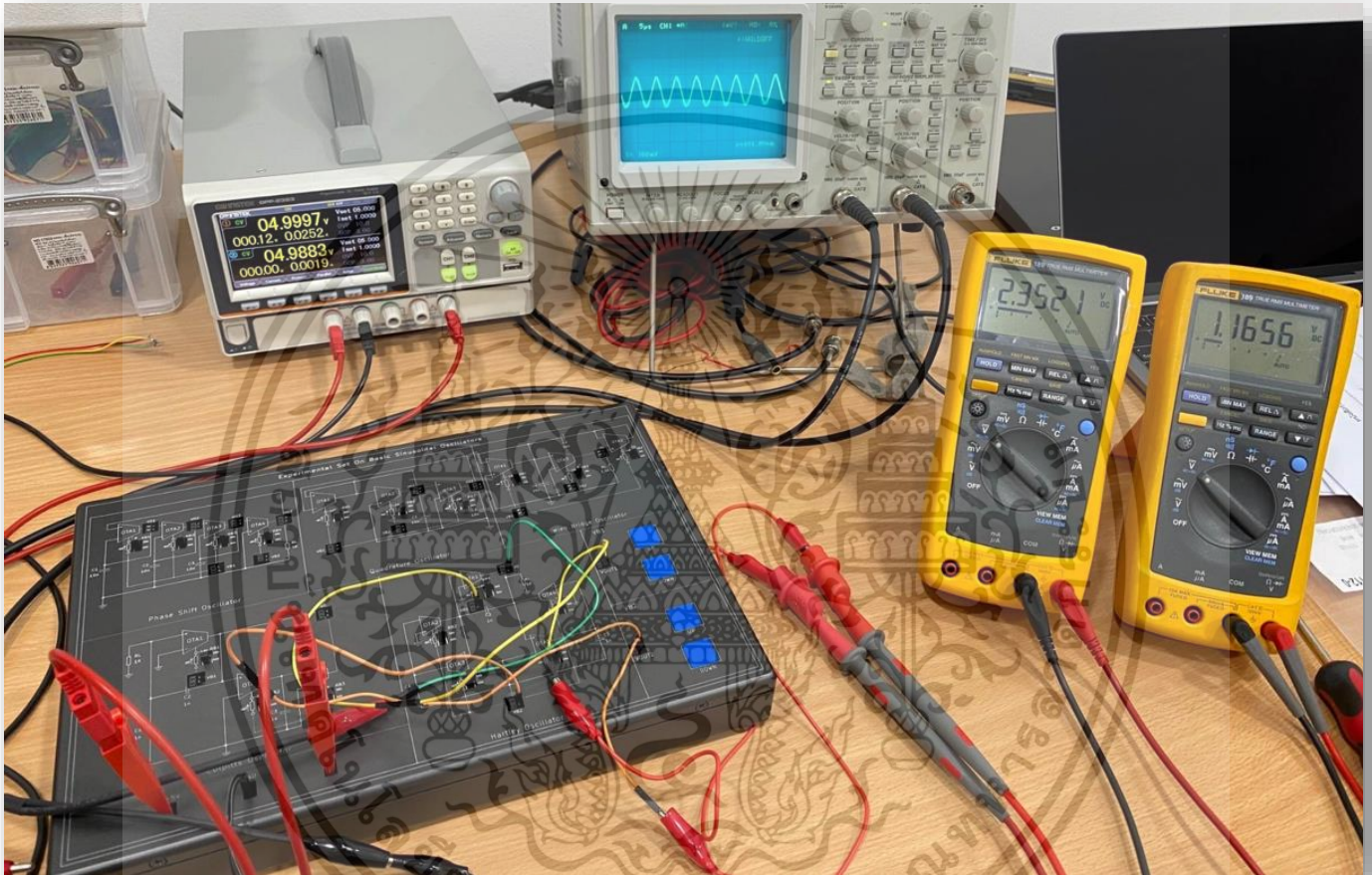
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งานชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
คู่มือการใช้งานชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธี
ทางอิเล็กทรอนิกส์



โดย

เกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์

บัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

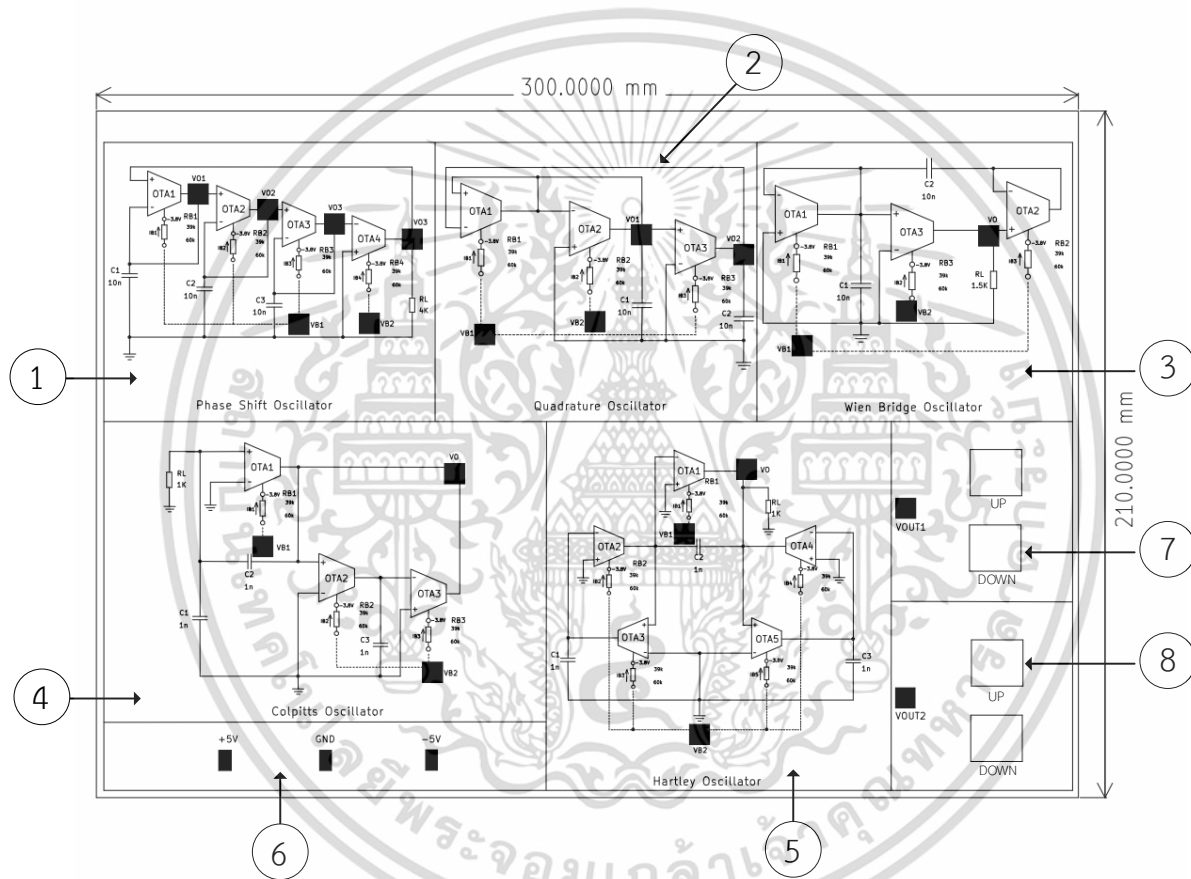
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร พ.ศ.2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้ชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควรทำการศึกษารูปร่างการใช้งานจากคู่มือก่อนการทดลองใช้งาน เพื่อให้ผู้ทดลองจะได้รับทราบตำแหน่ง ปุ่มต่าง ๆ ภายในตัวชุดทดลองและสามารถทำการทดลองได้อย่างถูกต้องรวมทั้งเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ 1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ ด้านหน้า

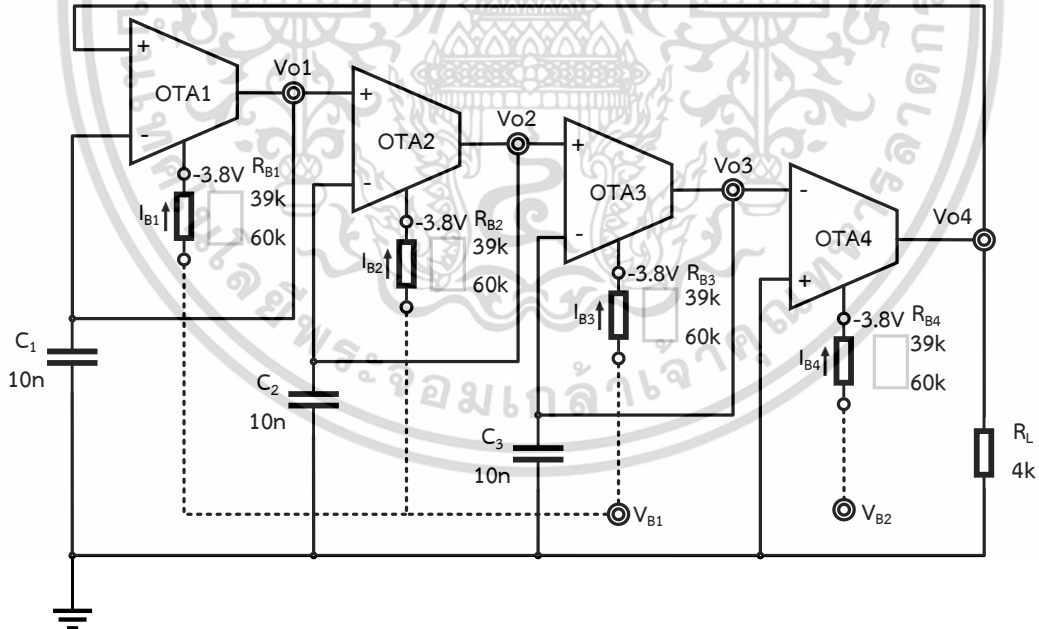
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ ด้านหลัง

จากรูปที่ 1 และรูปที่ 2 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

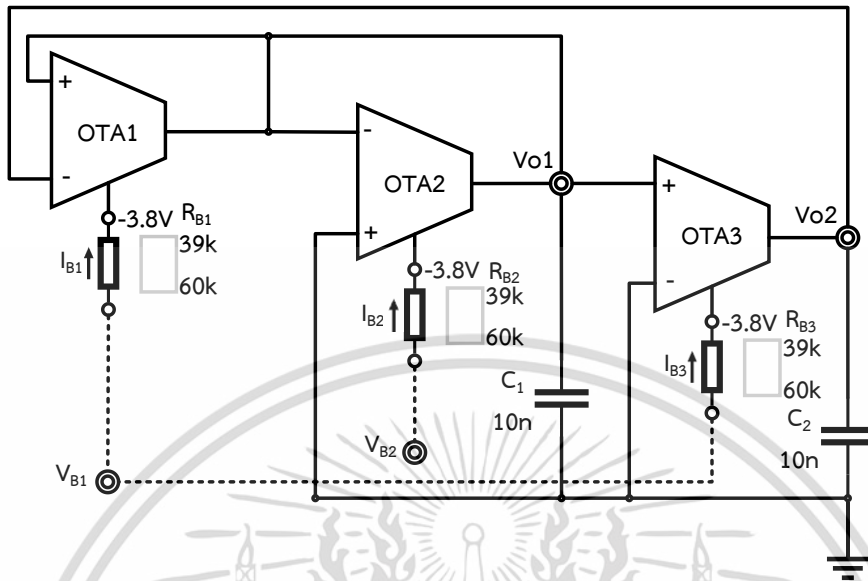
- ① วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift)



รูปที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟสโดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA) ที่ใช้ในการทดลอง

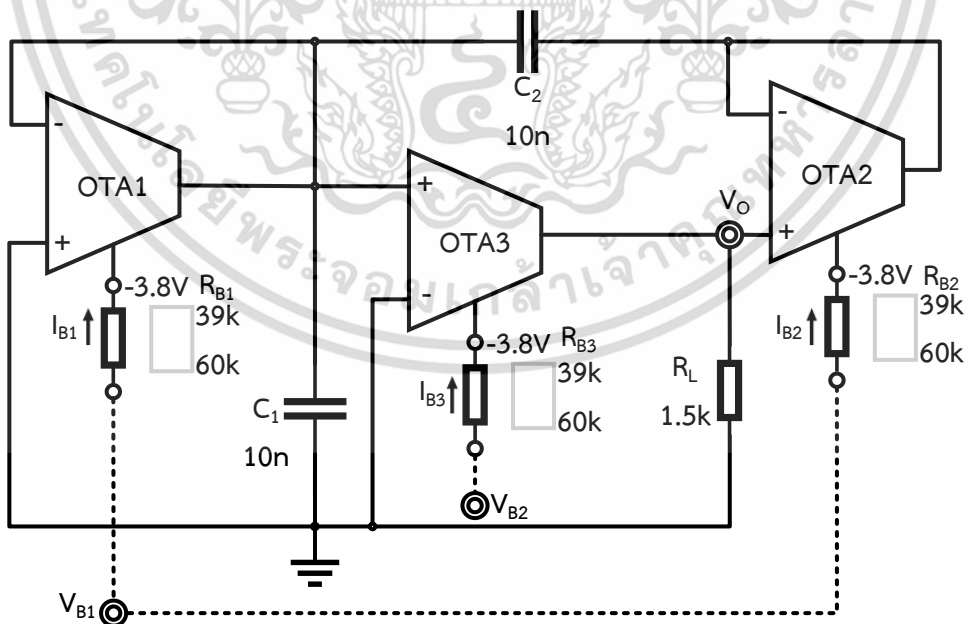
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์ (Quadrature)



รูปที่ 4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA) ที่ใช้ในการทดลอง

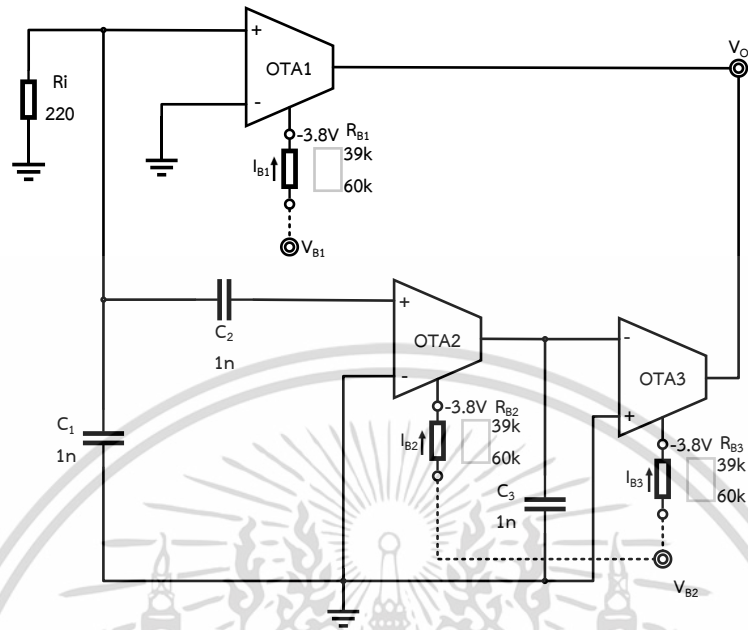
3 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์ (Wien Bridge)



รูปที่ 5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA) ที่ใช้ในการทดลอง

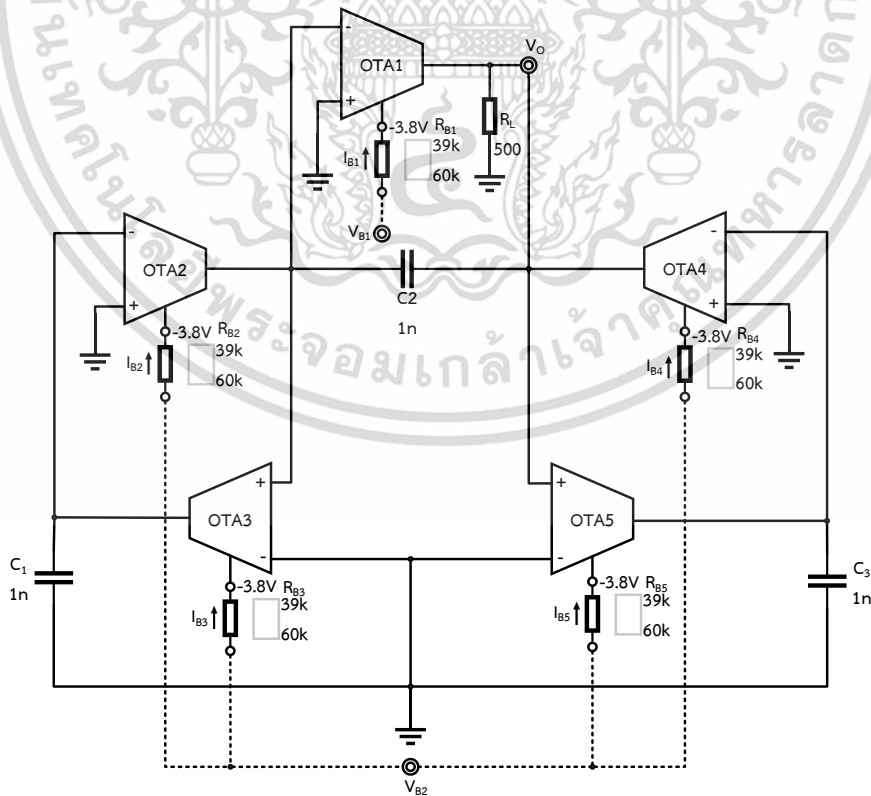
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์ (Colpitts)



รูปที่ 6 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตตส์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA) ที่ใช้ในการทดลอง

5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ตเลย์ (Hartley)



รูปที่ 7 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ตเลย์โดยใช้อุปกรณ์โอทีเอ (OTA) ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ⑥ ส่วนของแหล่งจ่ายไฟ
- ⑦ แหล่งจ่ายแรงดันจุด VOUT1
- ⑧ แหล่งจ่ายแรงดันที่จุด VOUT2
- ⑨ ฐานกล่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์
- ⑩ กล่องชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

3. การติดตั้งและใช้งาน

3.1 เริ่มต้นจากการทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟขนาด $\pm 5V$ และ Ground

3.2 ทำการเลือกวงจรที่ต้องการทำการทดลองให้ตรงกับใบงานการทดลองที่ได้เลือกนำมาทำการทดลอง

3.3 ทำการต่อวงจรตามใบงานการทดลองที่เลือกทดลองและปรับค่าความต้านทานต่างๆให้ตรงกับค่าที่อยู่ในใบงาน

หมายเหตุ

ใบงานการประกอบการทดลองประกอบทั้งหมด มีจำนวน 5 ใบงาน ประกอบด้วย

1. ใบงานที่ 1 เรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบเลื่อนเฟส (Phase Shift) โดยใช้อุปกรณ์ OTA
2. ใบงานที่ 2 เรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์ (Quadrature) โดยใช้อุปกรณ์ OTA
3. ใบงานที่ 3 เรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวินบริดจ์ (Wien Bridge) โดยใช้อุปกรณ์ OTA
4. ใบงานที่ 4 เรื่อง วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบโคลพิตต์ส (Colpitts) โดยใช้อุปกรณ์ OTA
5. ใบงานที่ 5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบฮาร์ตเลย์ (Hartley) โดยใช้อุปกรณ์ OTA

4. การแก้ปัญหา

เมื่อท่านประสบปัญหาที่เกิดจากการใช้งานชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ท่านสามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้ตามตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น

อาการ	สาเหตุและ/หรือการแก้ไข
1. สวิตช์เลื่อนไม่ทำงานไปในย่านที่ต้องการ	ให้สังเกตบริเวณสวิตช์เลื่อนว่าเลื่อนได้ปกติหรือไม่ หากเลื่อนไม่ได้ในย่านที่ต้องการให้ทำการเปลี่ยนสวิตช์ใหม่
2. สวิตช์กดติดปล่อยดับกดไม่ติด	ให้วัดแรงดันไฟตอนกดสวิตช์สวิตช์ว่ามีการเปลี่ยนหรือไม่ ถ้าไม่เปลี่ยนควรตรวจสอบดูที่สวิตช์ว่าเสียหรือไม่ ถ้าไม่เสียให้ตรวจสอบดูวงจร

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

5.1.1 ใช้ผ้าแห้งสะอาดในการทำความสะอาดบริเวณหน้าปัดของวงจรให้สะอาดหลังจากใช้งานเสร็จแล้ว

5.1.2 ตรวจสอบขั้วต่อสายไฟของวงจรภายในเครื่องให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอยู่เสมอ

5.1.3 ควรมีการซ่อมบำรุงตัวเครื่องเป็นระยะเพื่อเป็นการป้องกันและลดอัตราการเสื่อมสภาพของตัวชุด

ทดลอง

5.1.4 ควรตรวจสอบตัวชุดทดลองให้พร้อมสำหรับการใช้งานและหมั่นตรวจสอบการทำงาน

5.2 ข้อควรระวัง

5.2.1 ควรศึกษาคู่มือการใช้งานของเครื่องก่อนใช้งานตัวชุดทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

5.2.2 ในการใช้สายไฟเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อทุกครั้งในขณะที่ทำการทดลองควรระวังในการเชื่อมต่อสายไฟทุกครั้งเนื่องจากหากเสียบสายไฟที่มีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไฟจะทำให้มีผลต่อสัญญาณไซน์ที่เกิดขึ้น

5.2.3 การเคลื่อนย้ายควรรวมมัดระวางอย่าให้มีการตกหรือกระแทกเพื่อป้องกันความเสียหายของระบบกลไกต่างๆของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
1. แรงดันไฟที่จ่าย	แรงดันไฟที่จ่ายขนาด $\pm 5V$
2. อุปกรณ์โอทีเอ	IC : LM13700
3. บอร์ดที่ใช้ควบคุมแรงดัน	Arduino Nano
4. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ Digital-to-Analog	MCP4725



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางสาวเกศสิรินทร์ เหมือนพงษ์
- ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) KETSIRIN MHUENPONG
- วัน-เดือน-ปีเกิด 20 กันยายน พ.ศ. 2536
- สถานที่เกิด จังหวัดบึงกาฬ
- ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. 2551-2554
สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาครุศาสตร์แขนงวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2555-2560
- ประวัติการทำงาน Quality Assurance Engineer บริษัท ชัมมิติอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด พ.ศ. 2560-2563
ครูผู้ช่วย เอกอุตสาหกรรมศิลป์ โรงเรียนมาบยางพรวิทยาคม จังหวัดระยอง พ.ศ. 2563-2566
ครู เอกอุตสาหกรรมศิลป์ โรงเรียนบ้านบางฉาง จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2566-ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้