

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอดเรเจอร์
โหมตกระแสน้อย่างง่ายที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

DESIGN OF SIMPLE CURRENT-MODE QUADRATURE SINUSOIDAL
OSCILLATOR WITH ELECTRONIC CONTROLLABILITY



กท.
ภา 14ก
2558

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 140215
รับเดือนปี..... 04 ส.ค. 2558



12734068

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-ED-M-231-104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF SIMPLE CURRENT-MODE QUADRATURE SINUSOIDAL
OSCILLATOR WITH ELECTRONIC CONTROLLABILITY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION
IN ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ KMITL-2015-ED-M-231-104 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูและเพื่อนครูเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายน้ควอดเรเจอร์
โหมดกระแสอย่างง่ายที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์
Design of Simple Current Mode Quadrature
Sinusoidal Oscillator with Electronic Controllability

นักศึกษา

นายภคพล ปิ่นแก้ว

รหัสประจำตัว

53630617

ปริญญา

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิสุทธิ	สุนทรภณภพวงศ์	
ผศ.ดร.วินัย	ใจกล้า	
รศ.ดร.พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	
รศ.ปิยะ	ศุภวาราสุวัฒน์	
ผศ.ดร.ศุภวัฒน์	ลาวัณย์วิสุทธิ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ

20 มิถุนายน 2558 เวลา 18:00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ

ณ ห้องเรียนปริญญาเอก คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

วันที่ 29 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชาน์ควอเดรเจอร์
โหมดกระแสอย่างง่ายที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทาง
อิเล็กทรอนิกส์

นักศึกษา

นายภคพล ปิ่นแก้ว

รหัสประจำตัว

53630617

ปริญญา

ครุศาสตรบัณฑิต สาขาบริหารการศึกษา

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.วินัย ใจกล้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชาน์ควอเดรเจอร์โหมดกระแสอย่างง่ายที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่ควบคุมด้วยกระแส (CCCDTA) วงจรที่นำเสนอสามารถให้สัญญาณชาน์ได้สองสัญญาณและมีเฟสต่างกัน 90 องศา เนื่องไขในการกำเนิดสัญญาณและควมถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้อิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ วงจรมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนประกอบด้วยอุปกรณ์แอกทีฟ จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟ จำนวน 3 ตัวซึ่งเหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม (ไอซี) มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์สูงงายต่อการนำไปต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ได้โดยไม่ต้องต่อวงจรกันชนกระแสเติมเพิ่ม ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE โดยใช้ CCCDTA มีโครงสร้างเป็นทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ที่แหล่งจ่ายแรงดัน ± 2.5 V พบว่าผลการจำลองสอดคล้องตามที่ไว้คราะห์ไว้
ในทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design of Simple Current-Mode Quadrature Sinusoidal Oscillators with Electronic Controllability
Student	Mr. Phakaphon Pinkaew
Student ID	53630617
Degree	Master of Science in Industrial Education
Program	Electrical Communications Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Winai Jaikla
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Peerawut Suwanjan

ABSTRACT

This thesis presents the current-mode quadrature sinusoidal oscillator employing single current controlled current different transconductance amplifier (CCCDTA) as the active element. The proposed oscillator can provide 2 sinusoidal waveforms with high impedance of current output and 90° phase difference. The condition of oscillation (CO) and frequency of oscillation (FO) can be orthogonally controlled by mean of electronic tuning. The circuit struction is very simple, consisting of merely one current controlled current different transconductance amplifier, one grounded resister and two grounded capacitors which is ideal for implementation on an integrated circuits (IC) chip. High output impedance of the configuration enables the circuit to be cascaded to the current mode circuit without additional current buffers. The workability of proposed configuration is demonstart by PSPICE simulation using bipolar junction transistor technology with ± 2.5 V supply voltage and agreed well with theoretical analysis.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์และลุล่วงได้ด้วยดี ตั้งแต่เริ่มต้นของการวิจัย โดยมีผู้ให้ความรู้ด้านวิชาการและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง ผศ.ดร.วินัย ใจกล้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ เสียสละเวลาสอนให้เกิดแนวคิด หลักวิชาที่ทำให้เกิดประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องช่วยเหลืออย่างดียิ่งแม้จะใช้เวลาในการอธิบายก็ไม่ทำให้ย่อท้อต่อการสอน ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์ รศ.ปิยะ ศุภวาราสวัสดิ์ ดร.ภมร ศิลาพันธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกในการสอบหัวข้อ และ ผศ.ดร.ศุภวัฒน์ ลาวัลย์วิสุทธิ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกในการสอบจบการวิจัยเป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความถูกต้องสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พรพิมล ฉายรัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาด้านวิชาการและอาจารย์ทุกท่านใน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนแง่คิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ และนำไปใช้ในการทำวิจัย ที่ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการวิจัยในครั้งนี้จนประสบผลสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ครอบครัวอันเป็นที่รักของผู้วิจัย ที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือในทุกด้านมาโดยตลอด สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร รุ่น 16 ทุกคน เพื่อนกลุ่ม Analog Lab Design ทุกคน ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ และทุนสนับสนุนการเสนอผลงานทางวิชาการ และที่จะลืมมิได้ น.ส.เกสร ปิ่นแก้ว ผู้ให้การสนับสนุนในทุกด้าน

คุณค่าและประโยชน์ ตลอดจนคุณงามความดีที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บรรพบุรุษ บิดา มารดา อันเป็นที่รักและเคารพ ครู อาจารย์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ให้กับผู้วิจัยตลอดเวลาในศึกษาจนทำให้ประสบผลสำเร็จในชีวิต ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยรักและความเคารพ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ภคพล ปิ่นแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณชายนัน.....	5
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่ควบคุมด้วยกระแส.....	13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 การสังเคราะห์และออกแบบวงจรการกำเนิดสัญญาณชายนัน.....	33
3.2 การวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณชายนันกรณีอุดมคติ.....	35
3.3 การวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณชายนันกรณีไม่เป็นอุดมคติ.....	40
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
4.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณชายนันควอเตอร์ที่นำเสนอ.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	60
5.2 อภิปรายผลงานวิจัย.....	61
5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก คำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผลการพิจารณาหัวข้อ และเค้าโครงวิทยานิพนธ์.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรที่นำเสนอ.....	51
5.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณชายนี้อื่นกับงานวิจัยที่นำเสนอ.....	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 บล็อกไดอะแกรมการสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์แบบควอดเรเจอร์โหมดกระแส.....	3
2.1 ส่วนประกอบหลักของวงจรกำเนิดสัญญาณ.....	6
2.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงของวงจรป้อนกลับแบบบวก.....	7
2.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงรอบปิดของวงจรกำเนิดสัญญาณ.....	8
2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณแอลซี.....	10
2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณอาร์ซี.....	11
2.6 สัญลักษณ์ของคริสตัลและวงจรสมมูลทางไฟฟ้า.....	12
2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้คริสตัล.....	12
2.8 วงจรออสซิลเลเตอร์โดยใช้ไอซีเบอร์ 555.....	13
2.9 สัญลักษณ์ของ CCCDTA.....	13
2.10 วงจรสมมูล CCCDTA.....	14
2.11 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ OTA จำนวน 2 ตัว.....	15
2.12 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ OTA จำนวน 3 ตัว.....	16
2.13 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ DVCC จำนวน 1 ตัว.....	17
2.14 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์โดยใช้วงจร CCIIr จำนวน 3 ตัว.....	18
2.15 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 2 ตัว.....	19
2.16 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 1 ตัว.....	20
2.17 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว.....	21
2.18 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CCII จำนวน 1 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 4 ตัว.....	22
2.19 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว.....	23
2.20 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ CDTA จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 4 ตัว.....	24
2.21 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ CC-CFA จำนวน 1 ตัว.....	25
2.22 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว.....	26
2.23 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ CDBA.....	27
2.24 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ CCCII จำนวน 2 ตัว.....	28
2.25 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ CCCDTA จำนวน 1 ตัว.....	29
2.26 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ OTA จำนวน 4 ตัว.....	30
2.27 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่ใช้ VDTA จำนวน 2 ตัว.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.2 บล็อกไดอะแกรมวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์โดยใช้วงจรอินทิเกรเตอร์.....	33
3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอดเรเจอร์ที่สังเคราะห์ตามบล็อกไดอะแกรม.....	35
3.4 วงจรวงจรเทียบเคียงของ CCDTA เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูง.....	45
3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูง.....	46
3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอดเรเจอร์กรณีวงจรทำงานที่ความถี่สูงแทนค่าแอดมิตแตนซ์.....	46
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์ที่ใช้ในการทดลอง PSPICE.....	52
4.2 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสภาวะเริ่มต้นที่ความถี่ 1.8619 MHz.....	52
4.3 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสภาวะเอาต์พุตอยู่ตัวที่ความถี่ 1.8619 MHz.....	52
4.4 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 1.8619 MHz.....	53
4.5 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสภาวะเริ่มต้นที่ความถี่ 216.002 KHz.....	53
4.6 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสภาวะเอาต์พุตอยู่ตัวที่ความถี่ 216.002 KHz.....	53
4.7 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 216.002 KHz.....	54
4.8 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสภาวะเริ่มต้นที่ความถี่ 38.801 KHz.....	54
4.9 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสภาวะเอาต์พุตอยู่ตัวที่ความถี่ 38.801 KHz.....	54
4.10 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 38.801 KHz.....	55
4.11 ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณ เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1} จากการจำลองผล.....	55
เปรียบเทียบกับทางทฤษฎี	
4.12 การทดสอบหาค่า THD ของกระแสเอาต์พุตที่ 1 เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}	56
4.13 การทดสอบหาค่า THD ของกระแสเอาต์พุตที่ 2 เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}	57
4.14 ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาเมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator Circuit) เป็นวงจรรอนาลอกฟังก์ชันที่สามารถให้กำเนิดสัญญาณได้ในตัวเองซึ่งสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) มีรูปสัญญาณเป็นรายคาบ (Periodic Signal) โดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณอินพุต (Input Signal) (สุเมธี พิสิฐเฉลิมพงษ์ 2550 : 5) สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปสัญญาณที่ต่างกัน เช่น สัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Wave) สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangle Wave) (จิรสุตา เกษร. 2542 : 28) ซึ่งวงจรกำเนิดสัญญาณชาวยน์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ระบบสื่อสาร โทรคมนาคม เครื่องมือวัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ในวิทยุโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ (อิทธิพงษ์ ชัยสายันท์ 2548 : 67) การมอดูเลตสัญญาณซิงเกิลไซด์แบนด์ (Single Side Band :SSB) การมอดูเลตเชิงขนาดแบบควอดเรเจอร์ (Quadrature Amplitude Modulator : QAM) (Khan and Khawaja 2000 : 1)

Jaikla and Siripruchyanun (2006 : 348-351) ได้นำเสนอวงจรรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่ควบคุมด้วยกระแส (Current Controlled Current Differencing Transconductance Amplifier : CCCDTA) เป็นวงจรรวมพื้นฐาน (Circuit Building Blocks : CBB) สามารถควบคุมค่าความต้านทานแฝงภายในได้ โดย CCCDTA มีคุณสมบัติโดดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบและสังเคราะห์วงจรประมวลผลสัญญาณ เนื่องจากสามารถแปรค่าอัตราการส่งผ่านกระแสของวงจรถ้าด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยการปรับค่ากระแสไบอัสจากภายนอก (จามรี ศิริรัตน์. 2555: 25-26) และที่น่าสนใจยิ่งขึ้น CCCDTA ทำงานในโหมดกระแสซึ่งได้รับการยืนยันว่า วงจรในโหมดกระแสคือมีช่วงพลัสพลวัตกว้าง (Dynamic Range) อัตราสูง (Slew Rate) บริโภคกำลังงานต่ำ (Lower Power Consumption) และแบนด์วิธกว้าง (Higher Bandwidth)(Toumazou et al. 1990)

จากการศึกษางานวิจัยการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชาวยน์พบว่า มีรูปแบบที่แตกต่างกันตามวงจรรวมพื้นฐานที่นำมาใช้โดยแบ่งตามประเภทของอุปกรณ์ที่ออกแบบวงจรถ้าได้ดังนี้ Operational Transconductance Amplifier (OTA); Current Differencing Transconductance Amplifier (CDTA); Current Controlled Current Conveyor (CCCII); Four Terminal Floating Nullor (FTFN); Current Controlled CFA (CC-CFA); Differential Voltage Current Conveyor (DVCC); Fully Differential Second Generation Current Conveyor (FDCCII) อย่างไรก็ตามพบว่าวงจรถ้าเหล่านี้ยังมีข้อด้อยอยู่ สามารถสรุปได้ดังนี้ (ก) จำนวนอุปกรณ์แอคทีฟที่ใช้มีจำนวน

มากกว่า 2 ตัวจึงทำให้ไม่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นวงจรรวม (Summart, et al, 2012 : 14-17; ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Piyatat, et. al, 2012 : 113-136; Na Songkla, et. al, 2011 : 212-215; Tanjaroen & Tangsrirat, 2009 : 4-7; Kumwachara & Surakamponorn, 2003 : 599-605;) (ข) ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรเป็นแบบลอยซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปพัฒนาสร้างวงจรรวม (Keskin & Biolek, 2003 : 214-218; Jin & Wang, 2012 : 1-4; Cam, et. al, 2000 : 231-238; Abuelma'atti, et. al, 1999 : 69-74; Jaikla, et. al, 2008 : 33-40; Prasad, et. al, 2008 : 257-259) (ค) ไม่สามารถให้สัญญาณควอเดรเจอร์มีเฟสต่างกัน 90 องศา (Cam, et. al, 2000 : 231-238; Abuelma'atti, et. al, 1999 : 69-74; Senani, 1989 : 286-287; Prasad, et. al, 2008 : 257-259) (ง) วงจรกำเนิดสัญญาณไม่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ (Piyatat, et al., 2005 : 113-136; Jin และ Wang, 2012 : 1-4; Keskin และ Biolek, 2003 : 214-218; Cam, et al., 2000 : 231-238; Abuelma'atti, et al., 1999 : 69-74; Prasad, et al., 2008 : 257-259) (จ) เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไม่สามารถปรับได้อิสระจากความสัมพันธ์ในการกำเนิดสัญญาณ (Piyatat, et. al, 2005 : 113-136; Jin & Wang, 2012 : 1-4; Keskin & Biolek, 2003 : 214-218; Jaikla, et. al, 2008 : 33-40; Prasad, et. al, 2008 : 257-259)

จากเหตุผลดังที่กล่าวมานั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ โหมดกระแส โดยใช้อุปกรณ์แอคทีฟ CCCDTA เป็นอุปกรณ์หลักเพื่อให้สามารถควบคุมค่าความถี่และเงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ อย่างเป็นอิสระจากกัน ใช้ตัวเก็บประจุต่อลงกราวนด์ รวมทั้งใช้อุปกรณ์ในการออกแบบวงจรจำนวนน้อยเพื่อลดความซับซ้อนของวงจร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

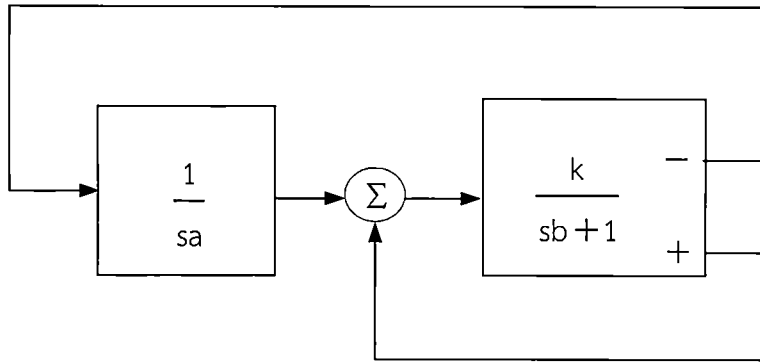
1.2.1 เพื่อสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ โหมดกระแสที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ CCCDTA

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ โหมดกระแสโดยใช้ CCCDTA

1.2.3 เพื่อทดสอบสมรรถนะวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ โหมดกระแสโดยใช้ CCCDTA ด้วยการจำลองผ่านโปรแกรม PSPICE

1.3 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

การสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณชายนในวิทยานิพนธ์นี้อาศัยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1.1 ซึ่งประกอบด้วยวงจรย่อย 2 ส่วน คือ วงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสียที่มีอัตราขยายชนิดกลับเฟส (Lossless Integrator) และวงจรอินทิเกรเตอร์แบบสูญเสีย (Lossy Integrator) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมการสังเคราะห์วงจรถ้าเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์โหมดกระแส

จากรูปที่ (1.1) ได้สมการลักษณะสมบัติ (Characteristic Equation) แสดงในสมการที่ (1.1)

$$s^2ab + sa(1-k) + k = 0 \quad (1.1)$$

จากสมการที่ (1.1) ได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency of Oscillation : FO) ตั้งสมการที่ (1.2)

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{ab}} \quad (1.2)$$

จากสมการที่ (1.1) ได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition of Oscillation : CO) ตั้งสมการที่ (1.3)

$$k=1 \quad (1.3)$$

จากสมการที่ (1.2) และ (1.3) พบว่าสามารถปรับความถี่ได้อย่างอิสระจากเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณที่ a และ b

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 วงจรถ้าเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ที่ออกแบบใช้อุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 1 ตัว

1.4.2 วงจรถ้าเนิดสัญญาณสามารถให้กำเนิดสัญญาณชายนจำนวนสองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน

90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่ออกแบบโดยใช้วงจรรวมพื้นฐานที่มีโครงสร้างทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ (Bipolar Junction Transistor: BJT)

1.4.4 สามารถปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากความถี่

1.4.5 วงจรทำงานในโหมดกระแส

1.4.6 ใช้ตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์ทั้งหมด

1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 สัญญาณควอเตรเจอร์ หมายถึง สัญญาณชายนสองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา

1.5.2 วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสควบคุมได้ด้วยกระแส (CCCDTA) หมายถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบแอคทีฟชนิดหนึ่งที่มีหลายขั้ว แบ่งเป็นขั้วสัญญาณทางด้านขาเข้าและขั้วสัญญาณทางด้านขาออกสามารถทำงานได้ในโหมดกระแส และควบคุมได้ทางอิเล็กทรอนิกส์

1.5.3 โหมดกระแส หมายถึง การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีอินพุตและเอาต์พุตเป็นกระแส

1.5.4 การสังเคราะห์ หมายถึง กระบวนการนำวงจรรวมพื้นฐานมาต่อร่วมกับตัวความต้านทานและเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์ เพื่อให้ได้วงจรมกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์

1.5.5 การออกแบบ หมายถึง การปรับค่าอุปกรณ์ในวงจรมกำเนิดสัญญาณชายนที่ได้สังเคราะห์ไว้แล้ว เพื่อให้ได้เงื่อนไขและความถี่ตามต้องการ

1.5.6 สมรรถนะ หมายถึง ความสามารถของวงจรมกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์โดยใช้วงจรรวมพื้นฐานร่วมกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์

1.5.7 โปรแกรม PSPICE หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ทดสอบการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้ อุปกรณ์ CCCDTA ครั้งนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณชายนที่น่าสนใจอีกประเภท ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถแยกรายละเอียดมีหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 หลักการกำเนิดสัญญาณ
- 2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสควบคุมได้ด้วยกระแส
- 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณชายน

วงจรกำเนิดสัญญาณเป็นวงจรที่สามารถให้กำเนิดสัญญาณเอาต์พุตได้เองไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณทางด้านอินพุต มีรูปแบบสัญญาณเป็นแบบรายคาบ (Periodic Signal) ที่มีขนาดและความถี่เท่ากันตลอดช่วงการทำงาน (สุเมธี พิสิฐเฉลิมพงษ์ 2550 : 5)

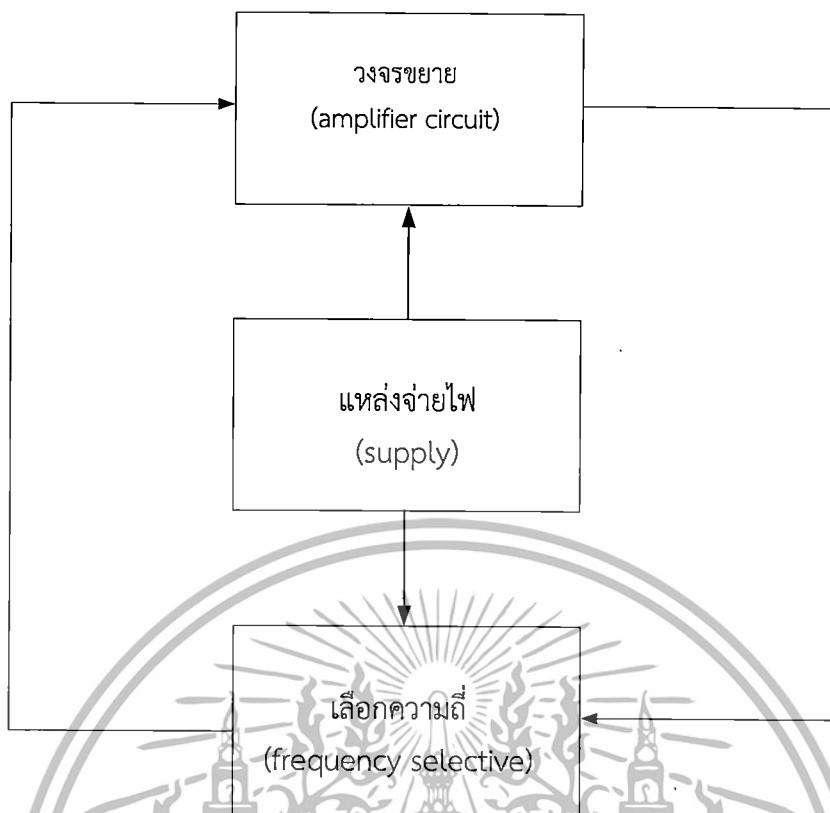
วงจรกำเนิดสัญญาณมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณแบบเลื่อนเฟส (Phase Shift Oscillator) วงจรกำเนิดสัญญาณแบบคริสตัล (Crystal Oscillator) วงจรกำเนิดสัญญาณแบบโคลพิทซ์ (Colpitts Oscillator) วงจรกำเนิดสัญญาณแบบฮาร์ทเลย์ (Hartley Oscillator) วงจรกำเนิดสัญญาณแบบวินบริดจ์ (Wien-Bridge Oscillator) รูปแบบในการกำเนิดสัญญาณที่สร้างขึ้นมีหลากหลายรูปแบบ เช่น สัญญาณชายน สัญญาณสามเหลี่ยม สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมและสัญญาณฟันเลื่อย (จิรสุตา เกษร. 2542 : 28)

การออกแบบเพื่อสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของวงจร เงื่อนไขสำคัญในการออกแบบ และต้องเข้าใจในหลักการการทำงานที่สำคัญในการกำเนิดรูปสัญญาณของวงจร ในบทนี้จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับรายละเอียดหลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณชายน จะมีการกล่าวถึงหัวข้อย่อยตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1.1 องค์ประกอบหลักของวงจรกำเนิดสัญญาณ (ตุลภาทร พูลทรัพย์ 2553 : 4-5)

วงจรกำเนิดสัญญาณจะออกสซิลเลตต้องเป็นการป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback Circuit) โดยการป้อนสัญญาณขาออกกลับไปยังขาเข้าของวงจรและสัญญาณที่ป้อนกลับต้องมีเฟส (Phase) ที่ตรงกันทั้งขาเข้าขาออก เมื่อแยกตามการทำงานของวงจรสามารถแบ่งได้ตามส่วนประกอบหลัก แสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของวงจรมำเนตสัญญาณ

จากรูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของวงจรมำเนตสัญญาณอธิบายได้ว่า

2.1.1.1 แหล่งจ่ายไฟ (Supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟกระแสตรง ที่ให้เอาต์พุต เป็นแรงดันคงที่ เช่น แบตเตอรี่ เป็นต้น

2.1.1.2 วงจรเลือกความถี่ (Frequency-Selective Circuit) ทำหน้าที่กำหนดความถี่ของวงจรมำเนตสัญญาณ เป็นวงจรที่ใช้เลือกความถี่ได้ในการำเนตสัญญาณของวงจรมำเนตความถี่ซึ่งอยู่ในลักษณะที่เป็นวงจรกรองแบบแถบความถี่ผ่าน เช่น วงจรจูนแบบอาร์ซี วงจรจูนแบบแอลซี วงจรแบบคริสตัล เป็นต้น

2.1.1.3 วงจรมขยาย (Amplifier Circuit) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และรักษาสภาพของการำเนตสัญญาณของวงจรมำเนตสัญญาณ ซึ่งเป็นวงจรประเภทแอกทีฟ อาจจะเป็นวงจรมขยายที่อยู่ในรูปของไอซีอย่างใดก็ได้ซึ่งวงจรมขยายจะทำหน้าที่ดำรงค์การำเนตของสัญญาณไว้ ด้วยการชดเชยพลังงานในส่วนที่สูญเสียภายในของวงจรมำเนตสัญญาณ

2.1.2 หลักการทำงานของวงจรมำเนตสัญญาณเงื่อนไขการำเนตสัญญาณของวงจรมสามารถแบ่งได้ 3 สภาวะ (จิรสุดา เกษร. 2542 : 33)

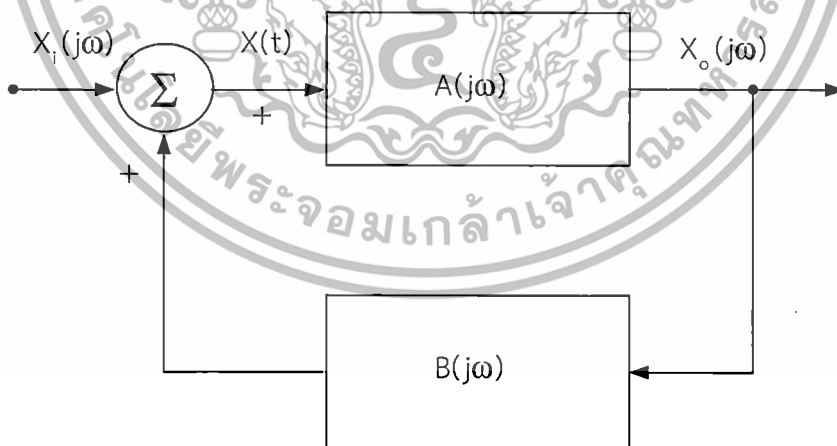
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 สภาวะเริ่มต้นการทำงานของวงจร (First Turn-on) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการจ่ายกำลังงานให้แก่วงจร ซึ่งการจ่ายกำลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอก ให้แก่วงจรอย่างทันทีทันใดนี้ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาวะเปลี่ยนย้าย (Transistion) ขึ้นทำให้มีสเปคตรัมของสัญญาณเกิดกระจายขึ้นมากมาย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวงจรกำเนิดสัญญาณนั้นจะมีวงจรกำหนดความถี่อยู่ภายใน ดังนั้นจึงมีความถี่เพียงความถี่เดียวเท่านั้นที่โดดเด่น และจะถูกเลือกให้ถูกป้อนย้อนกลับในกระบวนการป้อนกลับทำให้เกิดค่าพิกัดเป็นความถี่ของสัญญาณที่จะปรากฏเป็นสัญญาณขาออกของวงจร

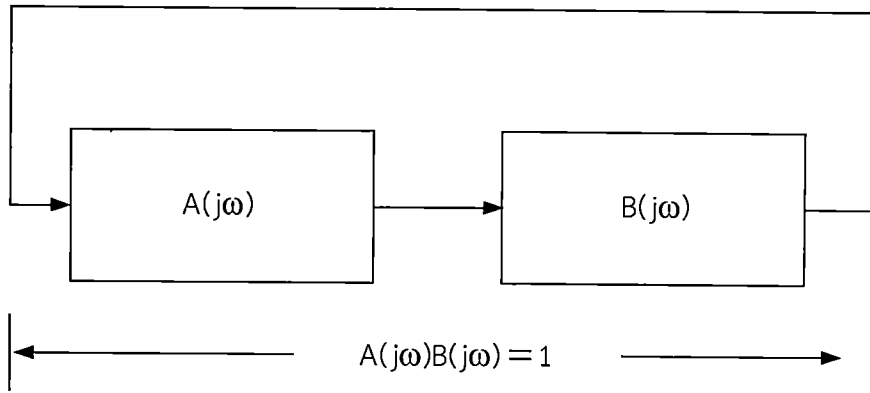
2.1.2.2 สภาวะสร้างสัญญาณ (Signal Build Up) เป็นสภาวะที่ ความถี่ของสัญญาณที่กำเนิดขึ้นถูกกำหนดความถี่โดยวงจรกำหนดความถี่แล้วสัญญาณทางด้านขาออกจะถูกนำกลับไปยังด้านขาเข้าของวงจร ซึ่งสัญญาณจะถูกจัดโดยวงจรกำหนดความถี่ให้มีเฟสตรงกันเพื่อเป็นการเสริมสัญญาณให้มีกำลังมากยิ่งขึ้น

2.1.2.3 สภาวะรักษาการสร้างสัญญาณ (Sustained Oscillation) ในการรักษาการกำเนิดสัญญาณให้คงอยู่นั้น จะเป็นไปตามเงื่อนไขของบาร์คเฮาเซน คือ ผลคูณค่าเกนธ์ของวงจรขยายและวงจรป้อนกลับ จะต้องมามีค่าเท่ากับหนึ่งในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติค่าเกนธ์รวมของระบบจะต้องมีค่ามากกว่าหนึ่งเล็กน้อยในสภาวะเริ่มแรก ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการชดเชยการลดทอนของสัญญาณมีค่ามากมาเป็นตัวรักษาลูปเกนธ์เท่ากับหนึ่ง เพื่อเป็นตัวมาจำกัดขนาดของสัญญาณ ที่ได้ออกมา โดยอาศัยหลักการที่กล่าวมาแล้วนี้ จะสามารถสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณขึ้นได้

วงจรกำเนิดสัญญาณเป็นวงจรที่มีการป้อนกลับแบบบวก สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมองค์ประกอบการไหลวนของสัญญาณดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงของวงจรป้อนกลับแบบบวก



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรถัดของวงจรถัดกำเนิดสัญญาณ

จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรถัดเป็นดังต่อไปนี้

$A(j\omega)$ คือ ค่าอัตราขยายของวงจรถัดขยาย

$B(j\omega)$ คือ ค่าอัตราขยายของวงจรถัดกำหนดความถี่

$X_i(j\omega)$ คือ สัญญาณทางด้านขาเข้าของวงจรถัด

$X_o(j\omega)$ คือ สัญญาณทางด้านขาออกของวงจรถัด

$X(t)$ คือ สัญญาณผลรวมสัญญาณ $X_i(j\omega)$ และ $B(j\omega)X_o(j\omega)$

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.2 ที่ $X(t)$ แสดงสมการดังต่อไปนี้

$$X(t) = X_i(j\omega) + B(j\omega)X_o(j\omega) \quad (2.1)$$

โดยที่

$$X_o(j\omega) = A(j\omega)X(t) \quad (2.2)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (2.1) ในสมการที่ (2.2) จะได้

$$\frac{X_o(j\omega)}{A(j\omega)} = X_i(j\omega) + B(j\omega)X_o(j\omega) \quad (2.3)$$

$$X_o(j\omega)[1 - A(j\omega)B(j\omega)] = X_i(j\omega)A(j\omega) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงจรถ้อนกลับแบบบวกดังสมการ (2.5)

$$\frac{X_o(j\omega)}{X_i(j\omega)} = \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega)B(j\omega)} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) บาร์คฮาวเซน (Barkhausen) สรุปเงื่อนไขของการออสซิลเลตของวงจรกำเนิดสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.3 เกณฑ์ของบาร์คฮาวเซน (Barkhausen Criterion) ดังนี้

1. อัตราขยายแบบเปิดลูป (Open-loop Gain) ของวงจรให้มีค่าเท่ากับหนึ่ง จากสมการที่ (2.5) เป็นวงจรที่ไม่มีสัญญาณ อินพุต $X_i(j\omega)$ ค่าฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) มีค่าเป็นอนันต์ (Infinity) สมการจะเป็นจริง $B(j\omega)A(j\omega)$ ต้องเท่ากับ 1

$$1 - [A(j\omega_0)B(j\omega_0)] = 0 \quad (2.6)$$

หรือ

$$A(j\omega_0)B(j\omega_0) = 1 \quad (2.7)$$

2. มุมเฟสของวงจรรอบปิด ต้องมีค่าเท่ากับ 0 หรือ $2n\pi$ โดย (n = เลขจำนวนเต็ม) ดังสมการ

$$\phi(j\omega) = \angle A(j\omega)B(j\omega) = 2n\pi, (n = 0, 1, 2) \quad (2.8)$$

เมื่อวิเคราะห์เงื่อนไขการออสซิลเลตของวงจรโดยการนำสมการที่ (2.6) แยกเป็นจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพแบ่งเป็นสมการย่อยได้สองสมการ คือ

$$\operatorname{Re} |A(j\omega)B(j\omega)| = 1 \quad (2.9)$$

$$\operatorname{Im} |A(j\omega)B(j\omega)| = 0 \quad (2.10)$$

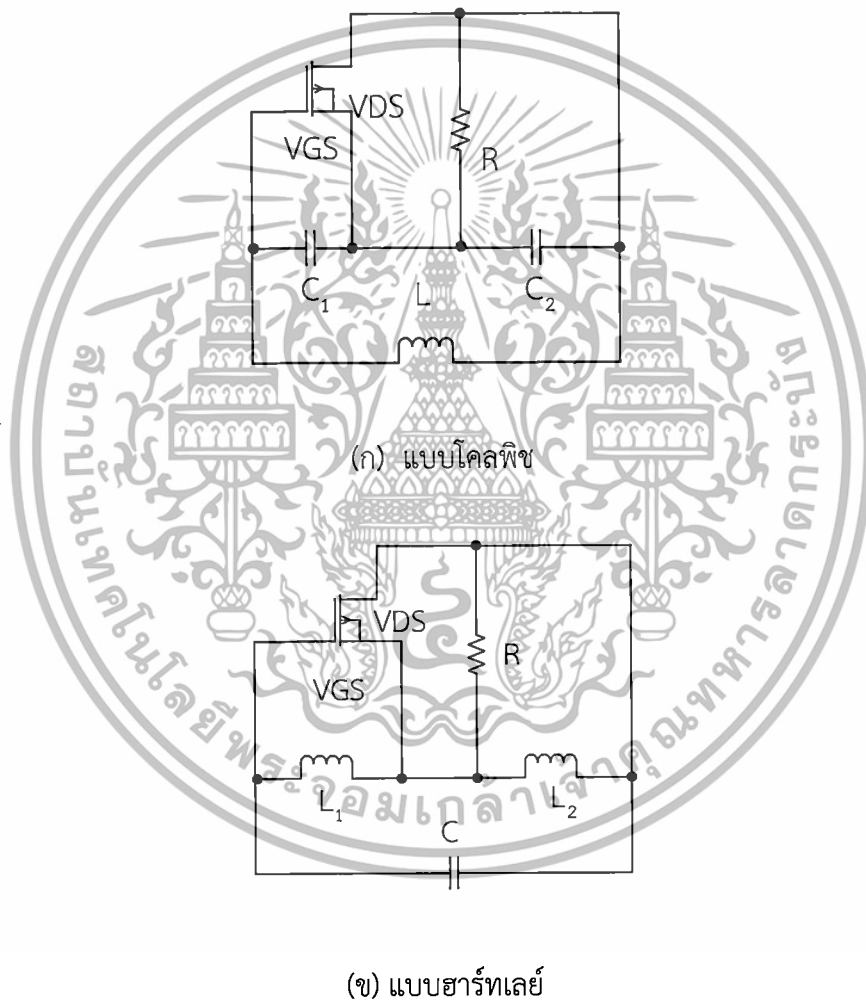
2.1.3 ประเภทของวงจรกำเนิดสัญญาณ

วงจรกำเนิดสัญญาณ จะมีชื่อที่ใช้เรียกตามอุปกรณ์ที่ประกอบใช้งาน ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้ (สุเมธี พิสิฐเฉลิมพงษ์ 2550 : 25-34)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบแอลซี (LC Oscillator Circuit)

วงจรถูกกำเนิดสัญญาณแบบแอลซีมีหลายแบบเช่น แบบโคลทวิช และแบบฮาร์ทลีย์ วงจรประเภทนี้มีข้อดี คือ สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ง่าย และใช้งานในย่านความถี่สูงได้ดี แต่ก็มีข้อเสีย คือ เสถียรภาพทางความถี่ยังไม่ดีนัก ไม่เหมาะสมกับแนวทางการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม เนื่องจากการออกแบบและสร้างขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรรวมนั้นกระทำได้ยาก การทำงานของวงจรจะเกิดขึ้นเมื่อแรงดัน V_{DS} มีค่าสูงพอ ที่จะทำให้มอสทรานซิสเตอร์อยู่ในบริเวณการทำงานแบบอิ่มตัว (Saturation Region) ดังนั้นเมื่อค่า V_{GS} มีค่าเป็นบวก วงจรก็จะเกิดการออสซิลเลตขึ้น ตัวอย่างของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณแอลซี สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 (ก) แบบโคลทวิช (ข) แบบฮาร์ทลีย์

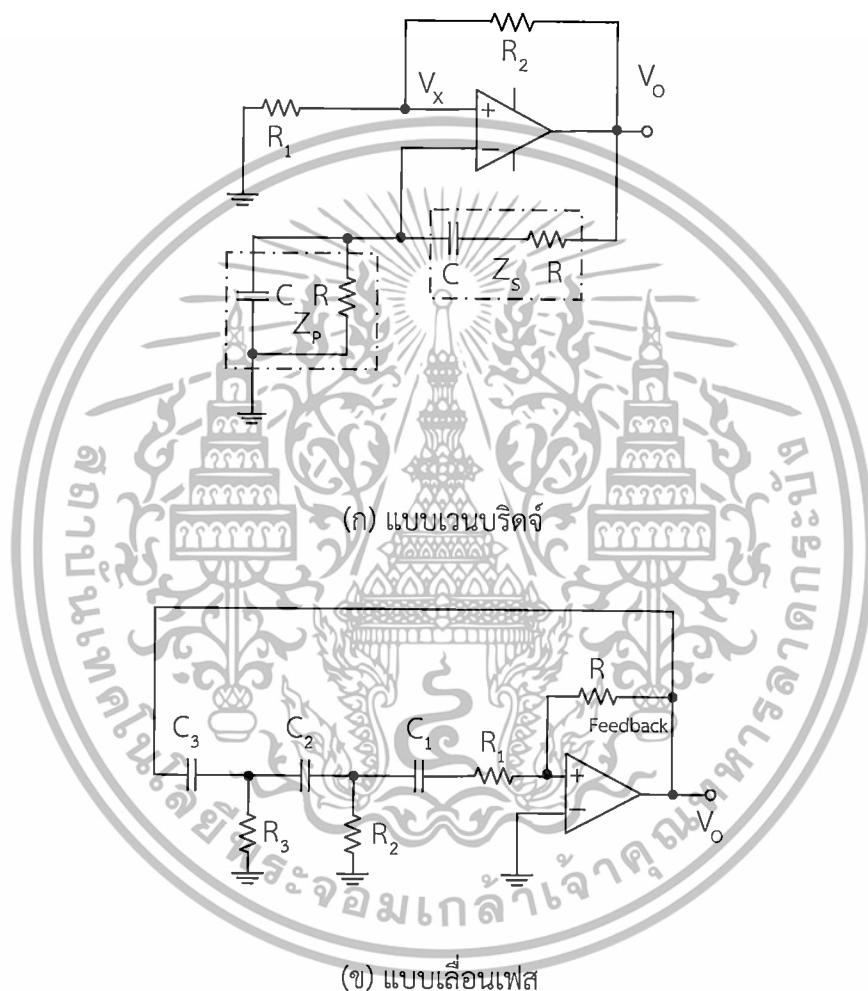


รูปที่ 2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณแอลซี

2.1.3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบอาร์ซี (RC Oscillator Circuit)

วงจรถูกกำเนิดสัญญาณแบบอาร์ซี มีอยู่ด้วยกันหลายแบบและที่จะกล่าวถึงในงานวิจัยครั้งนี้มีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบเวนบริดจ์ และแบบเล็อนเฟส วงจรออสซิลเลเตอร์แบบอาร์ซีที่นิยมใช้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายกรณี ในกรณีที่ไม่ต้องการเสถียรภาพของความถี่ระยะสั้นสูงมาก และค่าความถี่ที่ได้ก็จะต้องมีค่าไม่สูงมาก โดยทั่วไปความถี่สูงสุดของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณแบบอาร์ซี ออสซิลเลเตอร์ทำงานได้ดีจะอยู่ในระดับไม่เกิน 5 MHz เมื่อทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรและจะเกิดการออสซิลเลต มุมเฟสของวงจรจะเปลี่ยนไปตามชุดอาร์ซี มุมเฟสรวมของวงจรถูกหักกลับเริ่มยังจุดเดิม เพราะวงจรถูกกลับเฟส (Inverting Amplifier Circuit) วงจรถูกกำเนิดสัญญาณแบบอาร์ซีแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 (ก) แบบเวนบริดจ์ (ข) แบบเลื่อนเฟส

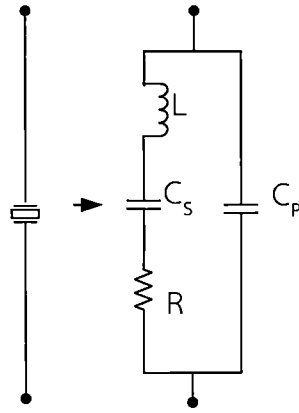


รูปที่ 2.5 วงจรถูกกำเนิดสัญญาณอาร์ซี

2.1.3.3 วงจรถูกกำเนิดสัญญาณโดยใช้คริสตัล (Crystal Oscillator Circuit)

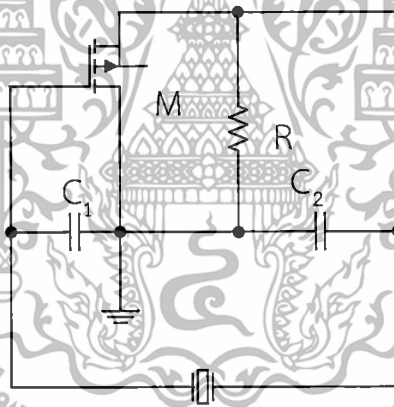
วงจรถูกกำเนิดสัญญาณโดยใช้คริสตัล มีข้อดี คือ เสถียรภาพทางความถี่ดีมากและยังสามารถนำไปใช้งานในย่านความถี่สูงได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ การเปลี่ยนแปลงความถี่จะทำได้ยาก ถ้าหากต้องการที่จะทำการเปลี่ยนแปลงความถี่จะต้องใช้วงจรอื่นเข้ามาช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ของคริสตัลและวงจรสมมูลทางไฟฟ้า

จากวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรออสซิลเลเตอร์โดยใช้คริสตัลในรูปที่ 2.6 ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าสูงประมาณ 100 H ตัวเก็บประจุ C_s มีค่าต่ำ และความต้านทาน R มีค่าประมาณ 10 Ω โดยที่ C_p เป็นค่าตัวเก็บประจุระหว่างอิเล็กโทรด ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1-10 pF สำหรับการนำคริสตัลมาใช้งานเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.7

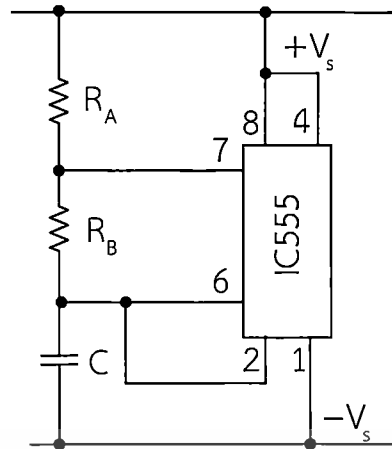


รูปที่ 2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้คริสตัล

2.1.3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณในรูปแบบวงจรรวม (Integrated Oscillator Circuit)

วงจรถ่ายสัญญาณในรูปแบบวงจรรวม อยู่ในรูปแบบของไอซีสำเร็จรูปหรือที่เรียกว่า ไอซีฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ (IC Function Generator) จะผลิตขึ้นมาในการสร้างสัญญาณโดยเฉพาะมีข้อดี คือ ใช้งานได้ง่ายและปรับค่าความถี่ในการออสซิลเลตได้ โดยใช้หลักการ VCO (Voltage Control Oscillator) และสามารถเลือกรูปร่างของสัญญาณได้หลายรูปแบบ มีข้อเสีย คือ สามารถนำไปใช้งานได้ ในย่านความถี่ต่ำเท่านั้น เช่น ไอซีเบอร์ XR-2240 เบอร์ XR-8038 และเบอร์ 555 เป็นต้น เมื่อมีสัญญาณไฟเลี้ยงจ่ายให้กับไอซีจะเกิดการ ออสซิลเลตขึ้นมาทันที ค่าความถี่ในการออสซิลเลตปรับได้โดยผ่านค่าความต้านทานที่ต่ออยู่ภายนอก ตัวอย่างวงจรสำหรับการนำไอซีเบอร์ 555 ไปใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.8

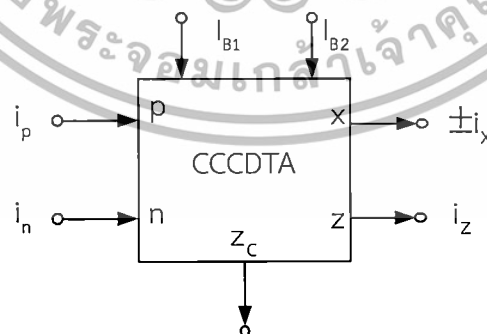
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 วงจรออสซิลเลเตอร์โดยใช้ไอซีเบอร์ 555

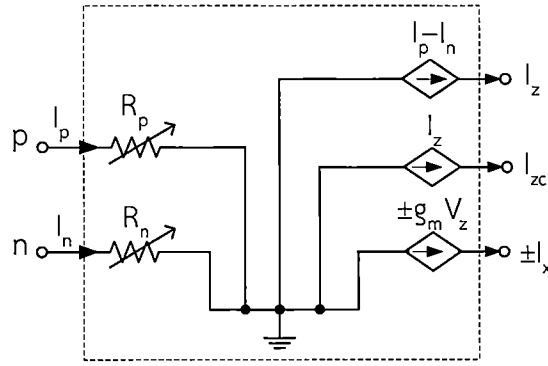
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสควบคุมได้ด้วยกระแส

Jaikla and Siripruchyanun (2006 : 348 -351) ได้นำเสนอวงจขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสควบคุมได้ด้วยกระแส (Current Controlled Current Differencing Transconductance Amplifier : CCCDTA) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานในโหมดกระแสจากรูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ อุปกรณ์ CCCDTA และสามารถทำการแบ่งขั้วออกได้เป็นสามกลุ่ม ได้แก่ ขั้วป้อนสัญญาณอินพุต คือ ขั้ว n และขั้ว p ขั้วป้อนสัญญาณควบคุม คือ I_{B1} และ I_{B2} ขั้วสัญญาณเอาต์พุตมี 3 ขั้ว คือ ขั้ว X ขั้ว Z และขั้วกระแส Z Copy วงจรสมมูลของ CCCDTA แสดงดังรูปที่ 2.10 ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์ CCCDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูล CCCDTA

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาเบื้องต้นสามารถแสดงคุณสมบัติของ CCCDTA ด้วยสมการเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_z \\ I_x \\ I_{zc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pm g_m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_x \\ V_z \\ I_z \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

CCCDTA จะมีค่าความต้านทานแฝงอินพุต R_n และ R_p ได้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.12)

$$R_p = R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}} \tag{2.12}$$

และความนำถ่ายไอออนสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.13)

$$g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T} \tag{2.13}$$

เมื่อ g_m คือ ค่าความนำถ่ายไอออนของ CCCDTA และ V_T คือ ค่าศักดาความร้อน (Thermal voltage) ซึ่งจะมีค่าประมาณ 26 mV ที่อุณหภูมิห้อง และ I_{B1} คือ ค่ากระแสไบแอส ส่วนค่าความนำถ่ายไอออน สามารถควบคุมได้ที่กระแสไบแอส I_{B2}

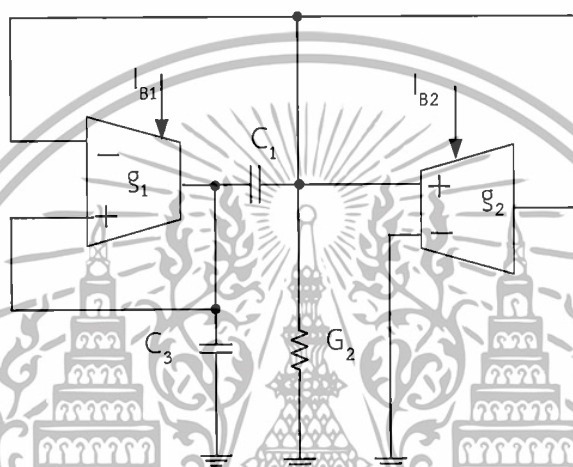
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานเบื้องต้นไปแล้ว ผู้วิจัยขอแนะนำผลงานวิจัยของผู้วิจัยท่านอื่นในส่วนที่เกี่ยวข้องกับวงจรกำเนิดสัญญาณชานน์แบบควอเตรเจอร์ ที่ได้มีผู้แนะนำมาพอสังเขปดังนี้

2.3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ OTA จำนวน 2 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว

Abuelma'atti and Almaskati (1988 : 320-322) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ OTA เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ จำนวน 2 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรกำเนิดสัญญาณชานน์ที่ใช้ OTA จำนวน 2 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_2 = G_2 \quad (2.14)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

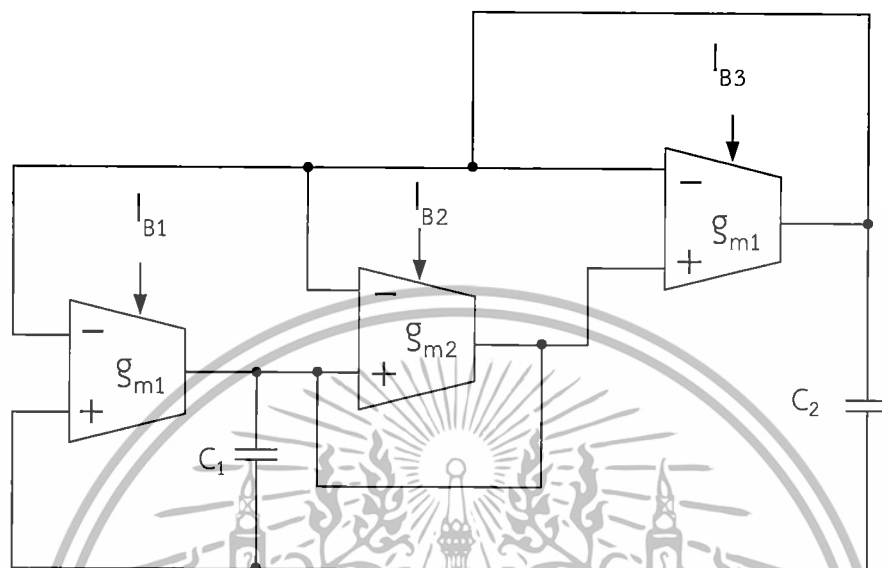
$$\omega = \sqrt{\frac{g_1(g_2 - G_2)}{C_1 C_3}} \quad (2.15)$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.11 คือ สามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ จุดด้อยคือ ใช้อุปกรณ์แอคทีฟจำนวน 2 ตัว ตัวเก็บประจุไม่ต่อลงกราวด์ เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณไม่สามารถปรับได้อิสระจากกัน ไม่สามารถให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ OTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

Senani (1989 : 286-287) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ OTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 3 ตัว และ อุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรกำเนิดสัญญาณขายน้ที่ใช้ OTA จำนวน 3 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$(g_{m3} - g_{m2}) = 0 \quad (2.16)$$

เมื่อ $C = C_1 = C_2$ และ $g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = g_m$ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

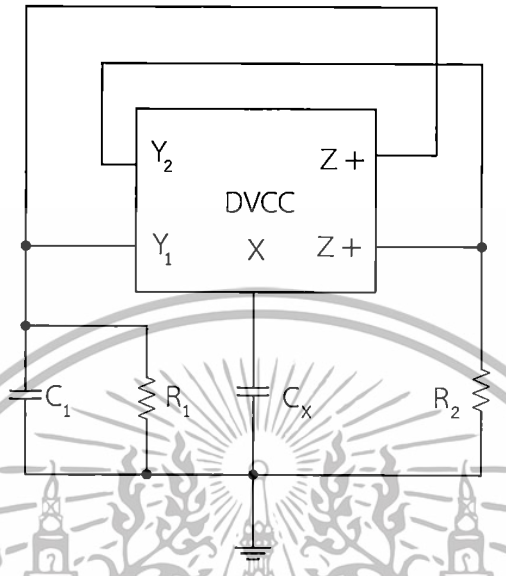
$$\omega = \frac{I_B}{4\pi C V_T} \quad (2.17)$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.12 คือ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทั้งหมดทำให้ประหยัดเนื้อที่ของวงจรรวม เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้อิสระจากกันได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ DVCC และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 4 ตัว

Hou, et. al. (2003 : 183-187) ได้นำเสนอวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณที่ใช้ DVCC เป็นอุปกรณ์แอคทีฟจำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 4 ตัวแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรกำเนิดสัญญาณขายนต์ที่ใช้ DVCC จำนวน 1 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$\frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_x} \cong 1 \tag{2.18}$$

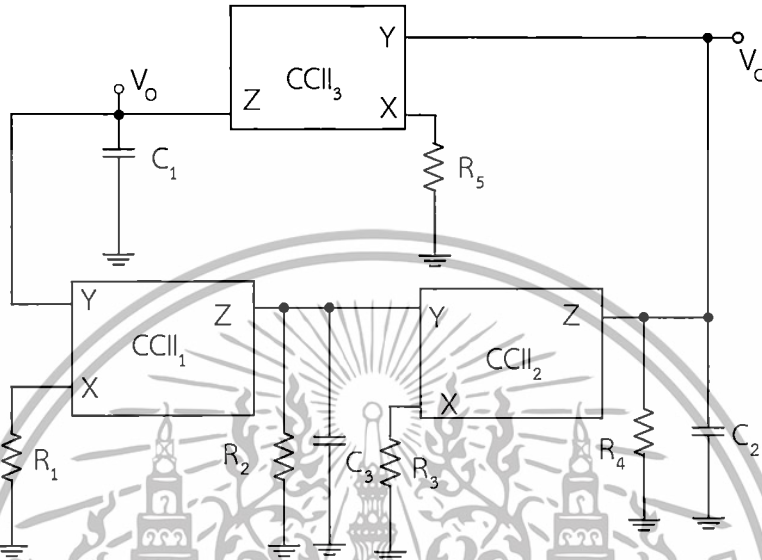
ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{C_1 C_x R_1 R_2}} \tag{2.19}$$

จุดเด่นของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.13 คือ ใช้อุปกรณ์แอคทีฟจำนวน 1 ตัว ส่วนจุดด้อยของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณไม่สามารถให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ไม่สามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ใช้อุปกรณ์พาสซีฟจำนวนมาก ไม่สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกัน

2.3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้ CCI จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 8 ตัว

Horng, et. al. (2005 : 31-21) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้วงจร CCI เป็นอุปกรณ์แอกทีฟ จำนวน 3 ตัว และ อุปกรณ์พาสซีฟประกอบด้วยตัวเก็บประจุจำนวน 3 ตัวและตัวต้านทานจำนวน 5 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรกำเนิดสัญญาณสามขั้วที่ใช้วงจร CCI จำนวน 3 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$R_5 = \frac{C_1 C_2 R_3^2 R_4^2}{C_3 R_1 R_3 (C_1 R_2 + C_2 R_4)} \quad (2.20)$$

ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

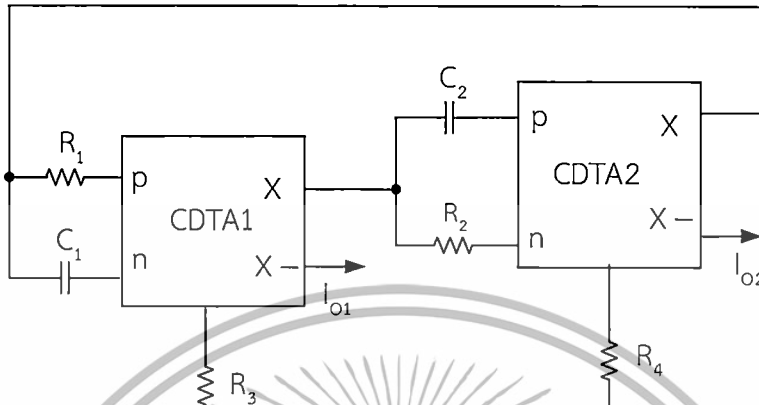
$$\omega = \frac{1}{\sqrt{(C_1 C_2 R_2 R_4)}} \quad (2.21)$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.14 คือ เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้โดยอิสระ ส่วนจุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวนมาก ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปสร้างวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 2 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 6 ตัว

Keskin and Biolek (2006 : 214-218) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟ จำนวน 2 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 6 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรกำเนิดสัญญาณชาวยน์ที่ใช้ CDTA จำนวน 2 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_{m1}g_{m2}R_3R_4 = 1 \tag{2.22}$$

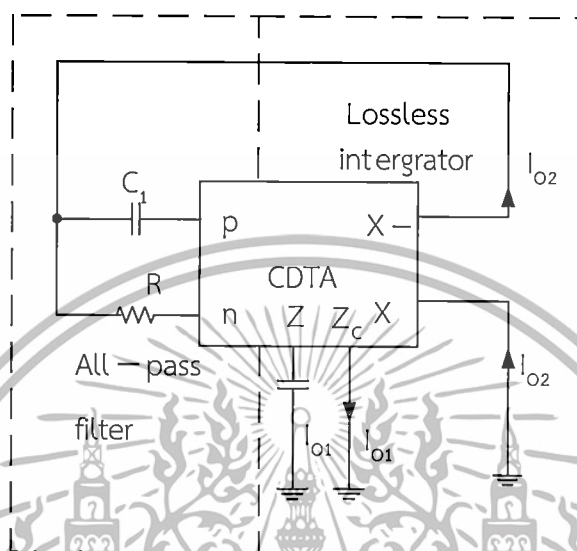
ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{C_1C_2R_2R_1}} \tag{2.23}$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.15 คือ สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกัน สัญญาณเอาต์พุตมีเฟสต่างกัน 90 องศา ความต้านทานที่เอาต์พุตสูงจึงสามารถขับโหลดได้โดยตรง จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรประกอบด้วยอุปกรณ์แอกทีฟ และพาสซีฟจำนวนมากทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปสร้างวงจรรวม

2.3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 1 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว

Jaikla, et. al. (2008 : 33-40) ได้นำเสนอวงจรถูกกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟโดยวงจรประกอบด้วย CDTA จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 3 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรกำเนิดสัญญาณชายนที่ใช้ CDTA จำนวน 1 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_m R = \frac{C_2}{C_1} \quad (2.24)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

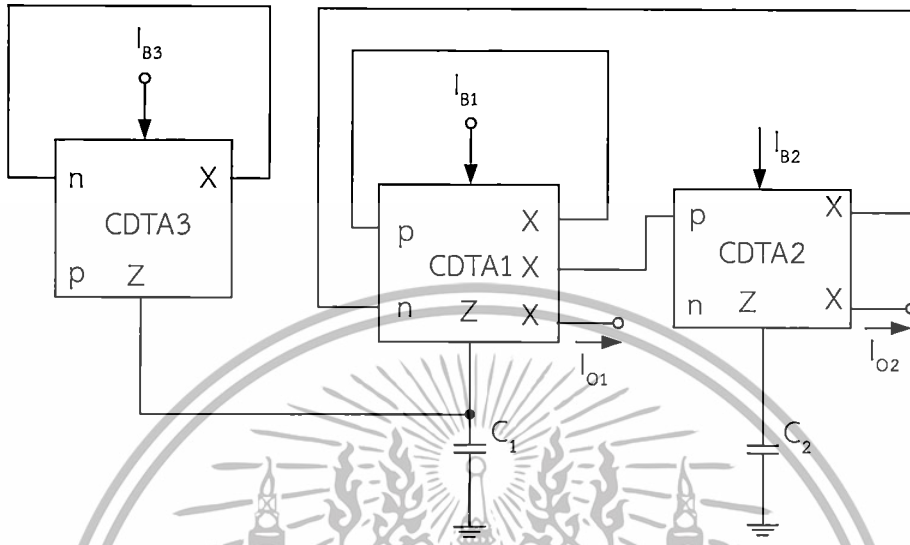
$$\omega = \sqrt{\frac{g_m}{C_1 C_2 R}} \quad (2.25)$$

จุดเด่นของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.16 คือ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟเพียง 1 ตัวส่งผลให้ง่ายต่อการนำไปต่อใช้งานจริง สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณเอาต์พุตมีเฟสต่างกัน 90 องศา จุดด้อยของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ ไม่สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกัน ตัวเก็บประจุแบบลอยทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปสร้างวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

Tanjaroen and Tangsirat (2009 : 307-310) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 3 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรกำเนิดสัญญาณขายนต์ที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_{m1} = g_{m3} \tag{2.26}$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

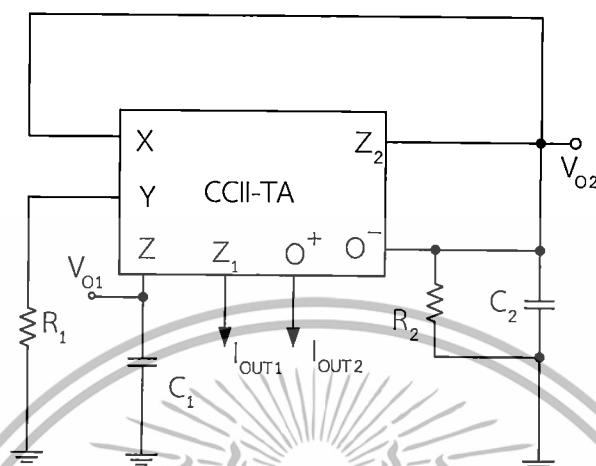
$$\omega = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \tag{2.27}$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.17 คือ ความต้านทานที่เอาต์พุตสูง สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทุกตัวทำให้ประหยัดเนื้อที่วงจรรวม สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณใช้อุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CCII จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 4 ตัว

Lahiri (2009 : 522-526) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CCII เป็นอุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรกำเนิดสัญญาณขายน้ที่ใช้ CCII จำนวน 1 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 4 ตัว

เงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$R_2 = R_1 \quad (2.28)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

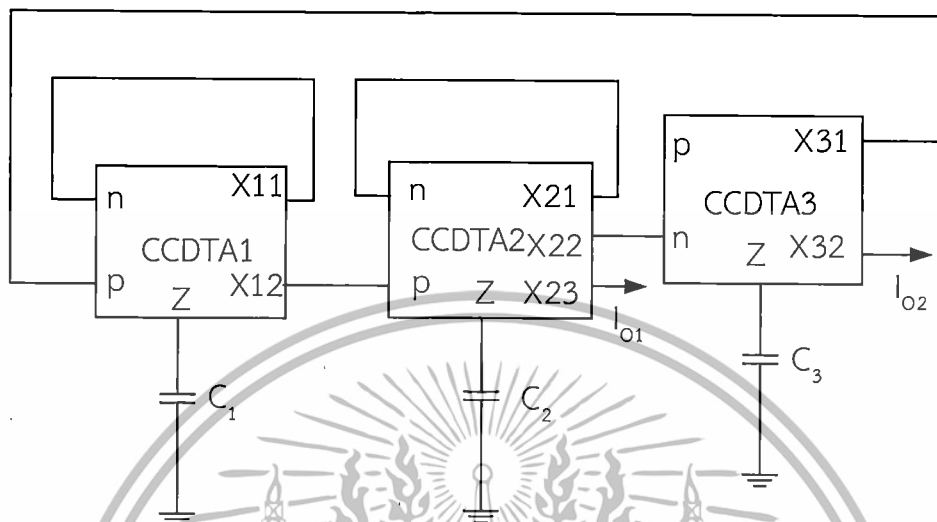
$$\omega = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g_m}{C_1 C_2 R_1}} \quad (2.29)$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.18 คือ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟเพียง 1 ตัวส่งผลให้ง่ายต่อการนำไปต่อใช้งานจริง ความต้านทานที่เอาต์พุตสูง เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้โดยอิสระ สามารถควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถให้กำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ได้ จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานหลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.9 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว

Hornng, et. al. (2010 : 326-330) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA เป็นอุปกรณ์แอคทีฟจำนวน 3 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 3 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 วงจรกำเนิดสัญญาณขายนี่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_{m3} = \frac{C_3 g_{m1}}{C_1} \quad (2.30)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

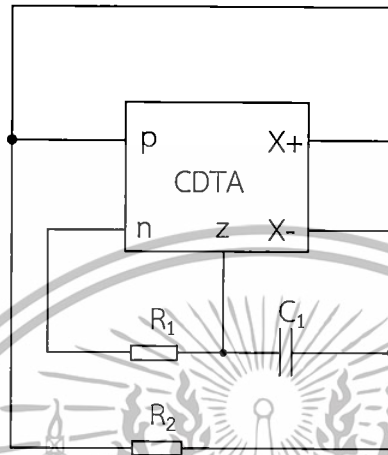
$$\omega = \sqrt{\frac{g_{m1} g_{m2}}{C_1 C_2}} \quad (2.31)$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.19 คือ ค่าความต้านทานที่เอาต์พุตสูง สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทุกตัว จุดต่อของวงจรกำเนิดสัญญาณใช้อุปกรณ์แอคทีฟจำนวน 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.10 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 4 ตัว

Bhaskar, et. al. (2008 : 257-25) ได้นำเสนอวงจรที่ใช้ CDTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอก ประกอบด้วยตัวเก็บประจุจำนวน 2 ตัว และตัวต้านทานจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 วงจรกำเนิดสัญญาณขายนที่ใช้ CDTA จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 4 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$\left\{ 2 \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right) - R_1 g_m \right\} \leq 0 \quad (2.32)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

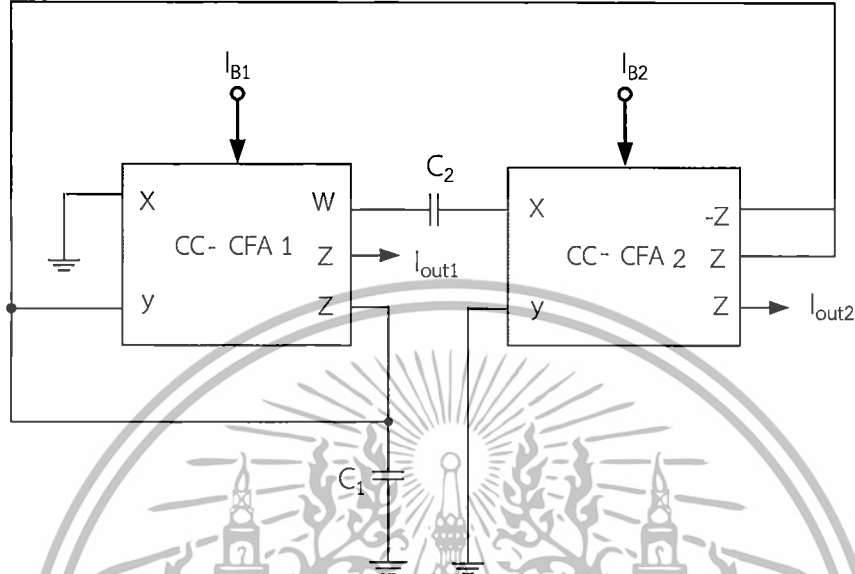
$$\omega = \sqrt{\frac{2}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.33)$$

จุดเด่นของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.20 คือ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟเพียง 1 ตัวส่งผลให้ง่ายต่อการนำไปต่อใช้งานจริง เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้โดยอิสระจากกัน ให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จุดด้อยคือ ใช้อุปกรณ์พาสซีฟจำนวนมาก ตัวเก็บประจุต่อแบบลอยจึงไม่เหมาะในการนำไปต่อใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.11 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CC-CFA

Kumbun, et. al. (2009 : 4-7) ได้นำเสนอวงจรที่ใช้ CC-CFA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 2 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอก ประกอบด้วยตัวเก็บประจุจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 วงจรกำเนิดสัญญาณซายน์ที่ใช้ CC-CFA จำนวน 1 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$k=2$$

(2.34)

เมื่อ $R_x = R_{x1} = R_{x2}$ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$\omega = \frac{1}{R_x C}$$

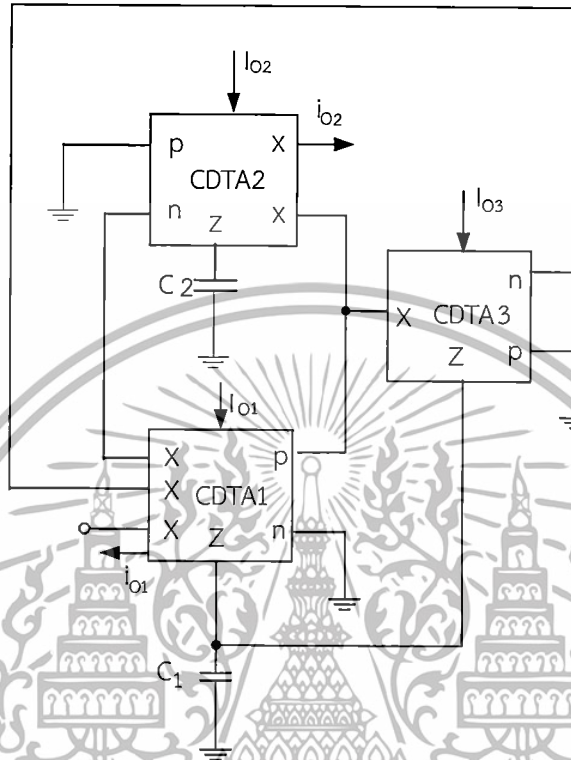
(2.35)

จุดเด่นของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.21 คือ ความต้านทานที่เอาต์พุตสูงและสามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งยังให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา อย่างไรก็ตามพบจุดด้อยคือ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟ จำนวน 2 ตัว และใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยทำให้ไม่สะดวกต่อการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.12 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

Tangsriat, et. al. 2010 : 363-366 ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟ จำนวน 3 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 1 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDTA จำนวน 3 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_{m1} = g_{m3} \tag{2.36}$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

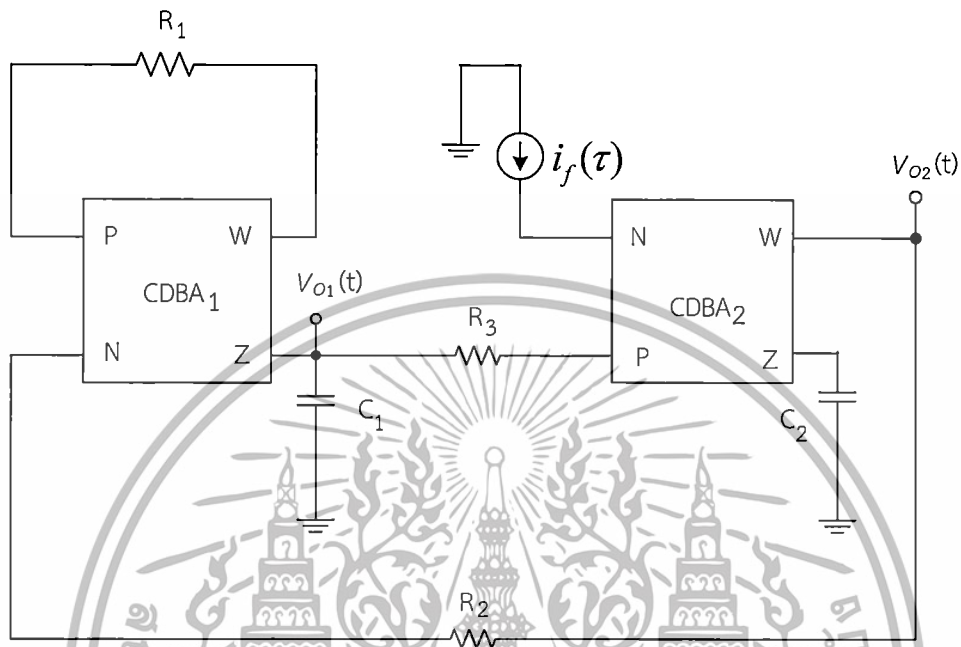
$$\omega = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \tag{2.37}$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.22 คือ ความต้านทานที่เอาต์พุตสูงและสามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวนด์ทุกตัวทำให้ประหยัดเนื้อที่วงจรรวม ให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ อุปกรณ์แอกทีฟจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.13 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้แบบควอเดรนเจอร์ที่ใช้ CDBA

Prasertsom, et. al. (2010 : 187-191) ได้นำเสนอวงจรถูกกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CDBA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟ จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 5 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วงจรกำเนิดสัญญาณชานันที่ใช้ CDBA

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$R_1 = R_3 \quad (2.38)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

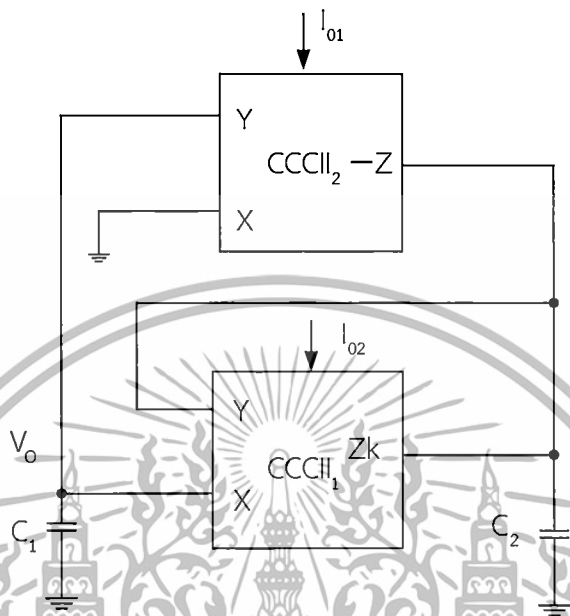
$$\omega = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_3 C_1 C_2}} \quad (2.39)$$

จุดเด่นของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.23 คือ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทุกตัว สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จุดด้อยของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณคืออุปกรณ์แอกทีฟจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.14 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CCCII จำนวน 1 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

Kumngern and Junnapiya (2010 : 740-743) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CCCII เป็นอุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 2 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 วงจรกำเนิดสัญญาณชายนท์ที่ใช้ CCCII จำนวน 2 ตัว

เงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$C_2 = k_1 C_1 \quad (2.40)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

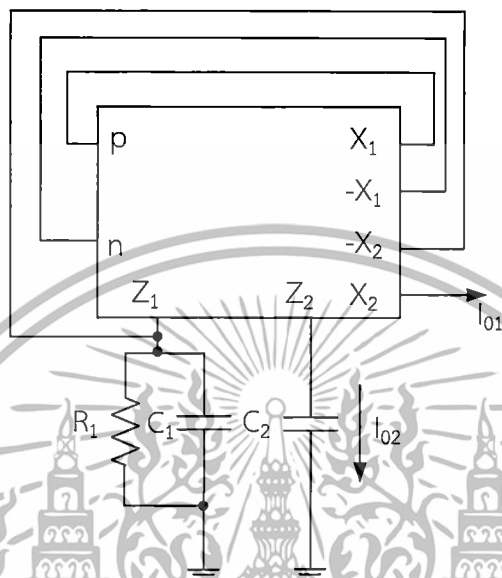
$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_{x1} R_{x2}}} \quad (2.41)$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.24 คือ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทั้งหมดทำให้ประหยัดเนื้อที่ของวงจรรวม เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้อิสระจากกัน ความต้านทานที่เอาต์พุตสูง จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟจำนวนมาก ไม่สามารถให้กำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.15 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ CCCDTA จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว

Prasad, et. al. (2011 : 354–359) ได้นำเสนอวงจรที่ใช้ CCCDTA เป็นอุปกรณ์แอคทีฟจำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 3 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 วงจรกำเนิดสัญญาณขายนที่ใช้ CCCDTA จำนวน 1 ตัว

เงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$R_{1min} > \frac{1}{2g_{m1}} \tag{2.42}$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

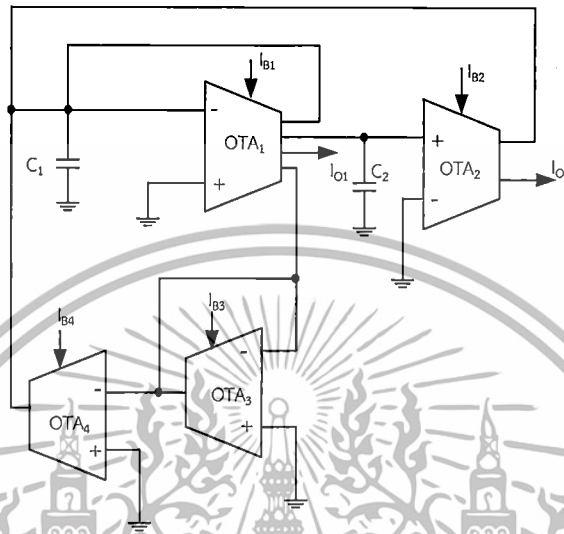
$$\omega = \sqrt{\frac{2g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \tag{2.43}$$

จุดเด่นของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.25 คือ ใช้อุปกรณ์แอคทีฟเพียง 1 ตัว ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทั้งหมดทำให้ประหยัดเนื้อที่ของวงจรรวม เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้อิสระจากกันได้ ความต้านทานที่เอาต์พุตสูง จุดด้อยคือ สัญญาณเอาต์พุตสามารถขับโหลดได้โดยตรงเพียง 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.16 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ OTA จำนวน 4 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

Summart, et. al. (2012 : 14-17) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นซายน์ที่ทำงานในแบบกระแสที่สร้างจากวงจรที่ใช้ OTA เป็นอุปกรณ์แอคทีฟจำนวน 4 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 วงจรกำเนิดสัญญาณซายน์ที่ใช้ OTA จำนวน 4 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_{m3} = g_{m4} \quad (2.44)$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

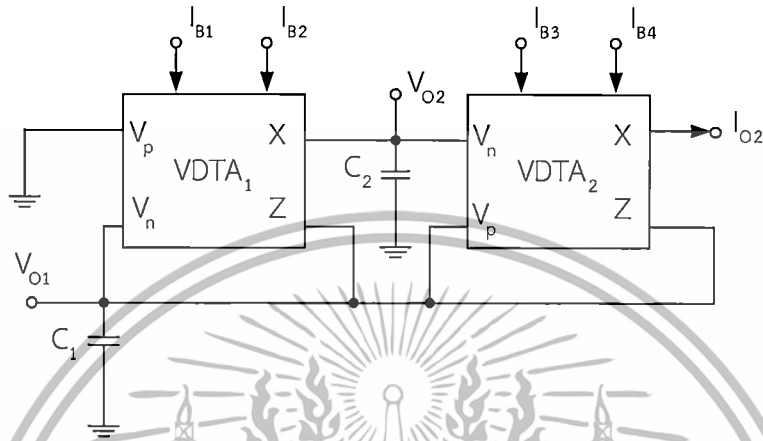
$$\omega = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (2.45)$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.26 คือ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทั้งหมดทำให้ประหยัดเนื้อที่ของวงจรรวม เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้อิสระจากกัน ปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ความต้านทานที่เอาต์พุตสูง สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ ใช้อุปกรณ์แอคทีฟจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.17 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้ VDTA จำนวน 2 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 2 ตัว

Chandee, et. al. (2014 : 4-7) ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ทำงานในแบบกระแสที่สร้างจากวงจรที่ใช้ VDTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟจำนวน 2 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกจำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ใช้ VDTA จำนวน 2 ตัว

เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$g_{m1} = g_{m3} \tag{2.46}$$

ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ

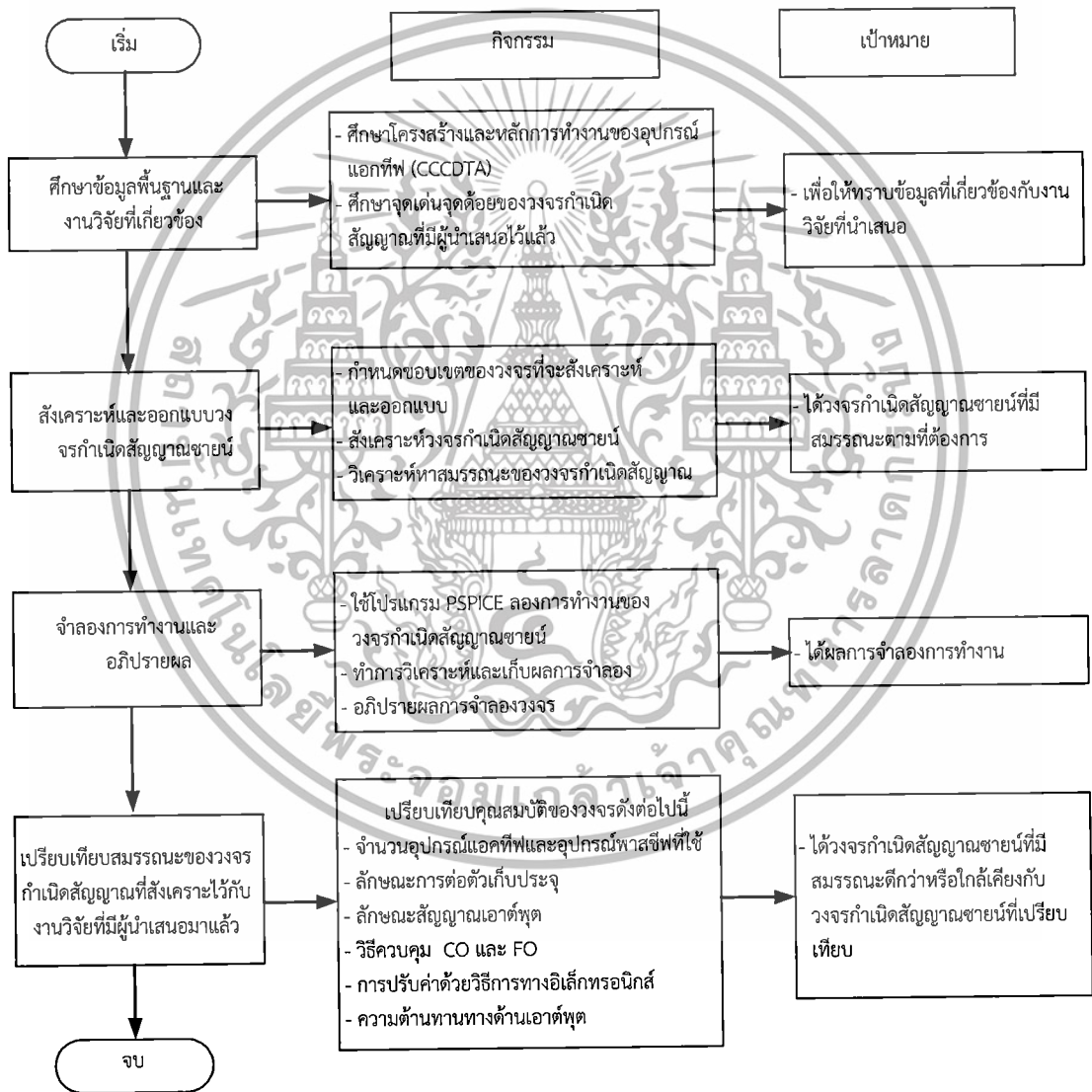
$$\omega = \sqrt{\frac{g_{m2}g_{m3}}{C_1C_2}} \tag{2.47}$$

จุดเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณในรูปที่ 2.27 คือ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์ทั้งหมดทำให้ประหยัดเนื้อที่ของวงจรรวม เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้อิสระจากกันปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ความต้านทานที่เอาต์พุตสูง สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จุดด้อยของวงจรกำเนิดสัญญาณ ใช้อุปกรณ์แอกทีฟจำนวนมาก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากที่ได้ศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ในโหมดกระแสรวมถึงการวิเคราะห์หาสมรรถนะของวงจรที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ โดยการดำเนินงานวิจัยนี้มีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3.1



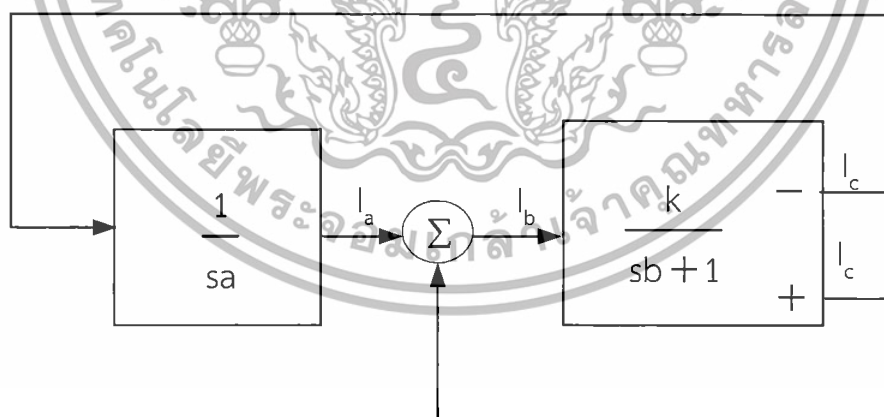
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการวิจัยนี้มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 เริ่มต้นศึกษาข้อมูลพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่สังเคราะห์และออกแบบว่ามีลักษณะเด่น รวมทั้งมีข้อจำกัดของงานวิจัยชิ้นนั้นอย่างใดบ้าง ซึ่งในส่วนนี้ได้กระทำมาแล้วในบทที่ 2 ต่อไปจะทำการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายนี้อยู่โดยเริ่มต้นจากการกำหนดขอบเขต สมรรถนะของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณชายนี้อยู่ได้ตามที่ ต้องการ แล้วทำการสังเคราะห์และออกแบบ จากนั้นจึงใช้โปรแกรม PSPICE จำลองการทำงานเพื่อ ตรวจสอบและทดสอบวงจร พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์แก้ไขปรับแต่งโครงสร้างวงจรเพื่อให้ได้ขอบเขต ตามที่กำหนดไว้ และจำลองการทำงานของวงจร และอภิปรายผลการจำลองของวงจร จากนั้นนำ วงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมาเปรียบเทียบกับด้านสมรรถนะกับวงจรอื่นๆ ที่ได้มีผู้วิจัยได้ นำเสนอไว้ โดยถ้าวงจรที่นำเสนอมีสมรรถนะที่ดีกว่าวงจรที่มีผู้นำเสนอมาแล้วนั้นต้องทำการ วิเคราะห์หาเหตุผลเพิ่มเติม ในส่วนของผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรทั้งหมดนั้นจะแสดงในบทที่ 4 และ บทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลการวิจัย

3.1 การสังเคราะห์และออกแบบวงจรการกำเนิดสัญญาณชายนี้อยู่

3.1.1 การสังเคราะห์และออกแบบวงจรการกำเนิดสัญญาณชายนี้อยู่ในวิทยานิพนธ์นี้จะอาศัย บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยวงจรร้อยย 2 ส่วน คือ วงจรอินทิเกรเตอร์แบบสูญเสียที่มี อัตราขยายชนิดกลับเฟส (Lossy Integrator) และวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสีย (Lossless Integrator)



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมวงจรถูกกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นชายนี้อยู่โดยใช้วงจรถูกอินทิเกรเตอร์

จากบล็อกไดอะแกรมวงจรถูกกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นชายนี้อยู่แบบควอดเรเตอร์ สามารถหาคุณสมบัติ จากรูปที่ 3.2 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_b = I_a + I_c \quad (3.1)$$

$$I_c = \frac{k}{sb+1} I_b \quad (3.2)$$

$$I_a = \frac{-I_c}{sa} \quad (3.3)$$

แทนค่าสมการที่ (3.1) ลงในสมการที่ (3.2) จะได้

$$I_c = (I_a + I_c) \frac{k}{sb+1} \quad (3.4)$$

แทนค่าสมการที่ (3.3) ลงในสมการที่ (3.4) จะได้

$$I_c = \left(\frac{-I_c}{sa} + I_c \right) \left(\frac{k}{sb+1} \right) \quad (3.5)$$

จากสมการที่ (3.5) จะได้สมการลักษณะสมบัต

$$s^2 ab + sa(1-k) + k = 0 \quad (3.6)$$

จากสมการที่ (3.6) เมื่อ $s = j\omega$ ทำให้ทราบค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณดังสมการที่ (3.7) และสมการที่ (3.8)

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{ab}} \quad (3.7)$$

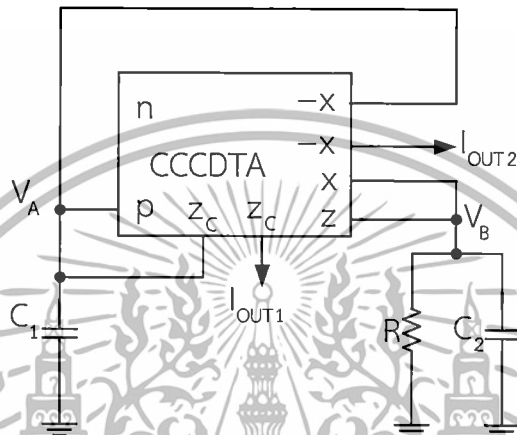
เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณดังสมการที่ (3.8)

$$k=1 \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณชายนกรณีอุดมคติ

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.2 จะได้ว่าวงจรกำเนิดสัญญาณชายนกรณี ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์แอกทีฟ 1 ตัว คือ CCCDTA ที่ใช้ขั้วอินพุต 1 ขั้ว คือ ขั้ว p ขั้วเอาต์พุต 4 ขั้ว คือขั้ว X, -X, Z และ Z_C โดยใช้ Z_C เป็น I_{OUT1} และขั้ว -X เป็น I_{OUT2} อุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว คือ ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์จำนวน 2 ตัว ตัวต้านทานที่ต่อลงกราวด์จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณชายนกรณีควอเตอร์ที่สังเคราะห์ตามบล็อกไดอะแกรม

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.3 และจากคุณสมบัติของ CCCDTA ที่ได้กล่าวในบทที่ 2 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ โดยพิจารณาโหนด V_A กำหนดให้ $V_Z = V_B$ จะได้

$$I_{ZC} = I_p + I_{C1} + I_X \quad (3.9)$$

เมื่อ $I_{ZC} = I_p$ จะได้

$$-I_X = I_{C1} \quad (3.10)$$

เมื่อ $I_X = g_m V_B$ จะได้

$$-g_m V_B = I_{C1} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $I_{C1} = V_A sC_1$ จะได้

$$-g_m V_B = V_A sC_1 \quad (3.12)$$

$$V_B = -\frac{V_A sC_1}{g_m} \quad (3.13)$$

พิจารณาโนด V_B จากรูปที่ 3.3 จะได้

$$I_X + I_Z = I_{C2} + I_R \quad (3.14)$$

แทนค่า $I_{C2} = V_B sC_2$ ในสมการ (3.14) จะได้

$$I_X + I_Z = V_B sC_2 + I_R \quad (3.15)$$

แทนค่า $I_X = g_m V_B$ ในสมการ (3.15) จะได้

$$g_m V_B + I_Z = V_B sC_2 + I_R \quad (3.16)$$

แทนค่า $I_Z = \frac{V_A}{R_p}$ ในสมการ (3.16) จะได้

$$g_m V_B + \frac{V_A}{R_p} = V_B sC_2 + I_R \quad (3.17)$$

แทนค่า $I_R = \frac{V_B}{R}$ ในสมการ (3.17) จะได้

$$g_m V_B + \frac{V_A}{R_p} = V_B sC_2 + \frac{V_B}{R} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่า $V_B = -\frac{V_A s C_1}{g_m}$ จากสมการ (3.13) ลงในสมการที่ (3.18) จะได้

$$-V_A s C_1 + \frac{V_A}{R_p} = -V_A \frac{s C_1 s C_2}{g_m} - \frac{V_A s C_1}{g_m R} \quad (3.19)$$

กำจัด V_A โดยนำ $\frac{1}{V_A}$ คูณตลอดทั้งสมการ (3.19) จะได้

$$-s C_1 + \frac{1}{R_p} = -\frac{s^2 C_1 C_2}{g_m} - \frac{s C_1}{g_m R} \quad (3.20)$$

กำจัด g_m โดยนำ g_m คูณทั้งสมการ (3.20) จะได้

$$-g_m s C_1 + \frac{g_m}{R_p} = -s^2 C_1 C_2 - \frac{s C_1}{R} \quad (3.21)$$

กำจัด $R R_p$ โดยนำ $R R_p$ คูณทั้งสมการ (3.21) จะได้

$$-g_m s C_1 R R_p + R g_m = s^2 C_1 C_2 R R_p - s C_1 R_p \quad (3.22)$$

จากสมการที่ (3.22) จัดรูปสมการใหม่ ได้สมการลักษณะคุณสมบัติ คือ

$$s^2 C_1 C_2 R R_p + s C_1 R_p - s C_1 R R_p g_m + R g_m = 0 \quad (3.23)$$

จากสมการที่ (3.23) จะได้สมการลักษณะสมบัติ

$$s^2 + \frac{s}{C_2 R} - \frac{s g_m}{C_2} + \frac{g_m}{C_1 C_2 R_p} = 0 \quad (3.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s^2 + s \left(\frac{1 - Rg_m}{C_2 R} \right) + \frac{g_m}{C_1 C_2 R_p} = 0 \quad (3.25)$$

จากสมการที่ (3.25) จะได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณคือ

$$\omega = \sqrt{\frac{g_m}{C_1 C_2 R_p}} \quad (3.26)$$

จากสมการที่ (3.25) จะได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณคือ

$$1 = Rg_m \quad (3.27)$$

แทนค่า $R_p = R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}}$ และ $g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T}$ ในสมการ (3.26) และ (3.27) ตามลำดับเพื่อหาเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณโดยได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition of Oscillation : CO) ดังสมการที่ (3.28)

$$1 = R \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (3.28)$$

ส่วนความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency of Oscillation : FO) ดังสมการที่ (3.29)

$$\omega = \frac{1}{V_T} \sqrt{\frac{I_{B1} I_{B2}}{C_1 C_2}} \quad (3.29)$$

ในการวิเคราะห์ห้วงจรกรณีเป็นอุดมคติ สามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} ได้ดังนี้ จากคุณสมบัติวงจรในรูปที่ 3.3 พบว่า $I_p = I_{ZC} = I_{OUT1}$ และ $I_{C1} = I_{OUT2}$ แทนค่า

$$I_{ZC} = \frac{V_A}{R_p} \quad \text{จะได้}$$

$$I_{OUT1} = \frac{V_A}{R_p} \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $I_{C1} = V_A sC_1 = I_{OUT2}$ จะได้

$$I_{OUT2} = sC_1 V_A \quad (3.31)$$

จากสมการที่ (3.30) และสมการที่ (3.31) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอน I_{OUT1} และ I_{OUT2} ดังสมการที่ (3.32)

$$\frac{I_{OUT2}}{I_{OUT1}} = \frac{sC_1 V_A}{\frac{V_A}{R_p}} \quad (3.32)$$

$$\frac{I_{OUT2}}{I_{OUT1}} = sC_1 R_p \quad (3.33)$$

เมื่อพิจารณาในช่วง (Steady Stage) ของสัญญาณชายน้จากสมการ (3.33) สามารถเขียนสมการใหม่ดังนี้

$$\frac{I_{OUT2}}{I_{OUT1}} = \omega C_1 R_p e^{j90^\circ} \quad (3.34)$$

สรุปได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกำเนิดสัญญาณชายน้ในรูปที่ 3.3 เป็นสัญญาณแบบควอเดรเจอร์โดยเฟสเซอร์ของสัญญาณทั้งสองมีมุมต่างกัน

$$\phi = 90^\circ \quad (3.35)$$

จากสมการที่ (3.28) และ (3.29) แสดงให้เห็นว่าวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอสามารถปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากความถี่พร้อม ทั้งสามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยปรับค่าเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้ที่ I_{B2} และความถี่ในการกำเนิดสัญญาณที่ I_{B1} ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมีเฟสต่างกันประมาณ 90 องศา ตามสมการที่ (3.35) วงจรกำเนิดสัญญาณที่สังเคราะห์และออกแบบสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณชายน้แบบควอเดรเจอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณชายนกรณีนี้อุดมคติ

กรณีที่วงจร CCCDTA ที่ใช้ในวงจรเกิดความไม่เป็นอุดมคติ จะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดในการส่งผ่านกระแสและแรงดันจากอินพุตไปยังเอาต์พุต ค่าความจุและความต้านทานแฝงที่อยู่ในตัว CCCDTA ดังนั้นในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์หาผลกระทบของพารามิเตอร์เหล่านี้

3.3.1 การวิเคราะห์ผลกระทบจากความผิดพลาดในการส่งผ่านกระแสและแรงดันจากอินพุตไปยังเอาต์พุต

เมื่อ CCCDTA เกิดความผิดพลาดในการส่งผ่านกระแสและแรงดันจากอินพุตไปยังเอาต์พุตสามารถที่จะแสดงคุณสมบัติของ CCCDTA ได้ดังสมการที่ 3.31

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_z \\ I_x \\ I_{zc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_p & -\alpha_n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm\beta g_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_x \\ V_z \\ I_z \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

เมื่อ α_p, α_n คือ ค่าผิดพลาดของการส่งผ่านกระแสจากขั้ว p และขั้ว n ไปขั้ว z ตามลำดับ β คือค่าผิดพลาดของการส่งผ่านค่าความนำแรงดันจากขั้ว z ไปขั้ว x ส่วน γ คือ ค่าผิดพลาดของการส่งผ่านค่าส่งผ่านกระแสจากขั้ว z ไปขั้ว z_c ทางปฏิบัติแล้ว พารามิเตอร์ α_p, α_n และ γ เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุและความต้านทานแฝงในตัว CCCDTA ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของวงจร เมื่อความถี่และอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากพารามิเตอร์เหล่านี้ ควรที่จะออกแบบ CCCDTA ให้มีค่าใกล้เคียงอุดมคติมากที่สุด เมื่อนำพารามิเตอร์เหล่านี้มาพิจารณาสมการความถี่และเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณของวงจรสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$I_z = \alpha_p I_p - \alpha_n I_n \quad (3.37)$$

เมื่อ $I_n = 0$ จะได้

$$I_z = \alpha_p I_p \quad (3.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_x = \beta g_m V_z \quad (3.39)$$

พิจารณาสมการที่ (3.9) $I_{zC} - I_p - I_{c1} - I_x = 0$ เมื่อแทนค่า $I_z = \alpha_p I_p$ ในสมการที่ (3.9) จะได้

$$I_{zC} - \frac{I_z}{\alpha_p} - I_{c1} - I_x = 0 \quad (3.40)$$

แทนค่า $I_{zC} = \gamma I_z$ ในสมการที่ (3.40) จะได้

$$I_z \left(\gamma - \frac{1}{\alpha_p} \right) - I_{c1} - I_x = 0 \quad (3.41)$$

$$I_x = I_z \left(\gamma - \frac{1}{\alpha_p} \right) - I_{c1} \quad (3.42)$$

แทนค่า $I_x = \beta g_m V_b$ และ $I_{c1} = V_A s C_1$ ในสมการที่ (3.42)

$$\beta g_m V_b = I_z \left(\gamma - \frac{1}{\alpha_p} \right) - V_A s C_1 \quad (3.43)$$

จากสมการ (3.43) จะได้ V_b ดังสมการ (3.44)

$$V_b = \frac{I_z}{\beta g_m} \left(\gamma - \frac{1}{\alpha_p} \right) - \frac{V_A s C_1}{\beta g_m} \quad (3.44)$$

เมื่อ $I_z = \alpha_p I_p$ และ $I_p = \frac{V_A}{R_p}$ จะได้ $I_z = \alpha_p \frac{V_A}{R_p}$ แทนค่า I_z ลงในสมการสมการที่ (3.44) จะได้ค่า

V_b ดังแสดงในสมการที่ (3.45)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_B = \frac{V_A}{\beta g_m R_p} \left(\gamma - \frac{1}{\alpha_p} \right) - \frac{V_A s C_1}{\beta g_m} \quad (3.45)$$

พิจารณาโนด V_B จะได้

$$I_x + I_z = I_{C2} + I_R \quad (3.46)$$

แทนค่า $I_x = \beta g_m V_B$ ในสมการ (3.46) จะได้

$$\beta g_m V_B + I_z = I_{C2} + I_R \quad (3.47)$$

แทนค่า $I_z = \alpha_p \frac{V_A}{R_p}$ ในสมการ (3.47) จะได้

$$\beta g_m V_B + \alpha_p \frac{V_A}{R_p} = I_{C2} + I_R \quad (3.48)$$

แทนค่า $I_{C2} = V_B s C_2$ ในสมการ (3.48) จะได้

$$\beta g_m V_B + \alpha_p \frac{V_A}{R_p} = V_B s C_2 + I_R \quad (3.49)$$

แทนค่า $I_R = \frac{V_B}{R}$ ในสมการ (3.49) จะได้

$$\beta g_m V_B + \alpha_p \frac{V_A}{R_p} = V_B s C_2 + \frac{V_B}{R} \quad (3.50)$$

แทนค่า V_B จากสมการที่ (3.45) ลงในสมการ (3.50) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\gamma V_A}{R_p} - \frac{V_A}{\alpha_p R_p} - V_A s C_1 + \frac{\alpha_p V_A}{R_p} = \begin{pmatrix} \frac{s C_2 \gamma V_A}{\beta_{g_m} R_p} - \frac{s C_2 V_A}{\alpha_p \beta_{g_m} R_p} - \frac{s^2 C_1 C_2 V_A}{\beta_{g_m}} + \\ \frac{\gamma V_A}{\beta_{g_m} R R_p} - \frac{V_A}{\alpha_p \beta_{g_m} R R_p} - \frac{V_A s C_1}{\beta_{g_m} R} \end{pmatrix} \quad (3.51)$$

กำจัด V_A โดยนำ $\frac{1}{V_A}$ คูณตลอดทั้งสมการ (3.51) จะได้

$$\frac{\gamma}{R_p} - \frac{1}{\alpha_p R_p} - s C_1 + \frac{\alpha_p}{R_p} = \begin{pmatrix} \frac{s C_2 \gamma}{\beta_{g_m} R_p} - \frac{s C_2}{\alpha_p \beta_{g_m} R_p} - \frac{s^2 C_1 C_2}{\beta_{g_m}} + \\ \frac{\gamma}{\beta_{g_m} R R_p} - \frac{1}{\alpha_p \beta_{g_m} R R_p} - \frac{s C_1}{\beta_{g_m} R} \end{pmatrix} \quad (3.52)$$

กำจัด $\alpha_p \beta_{g_m} R R_p$ โดยนำ $\alpha_p \beta_{g_m} R R_p$ คูณทั้งสมการ (3.52) จะได้

$$\begin{pmatrix} \alpha_p \beta_{g_m} R \gamma - \beta_{g_m} R - \alpha_p \beta_{g_m} R_p R s C_1 \\ + \alpha_p^2 \beta_{g_m} R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_p R s C_2 \gamma - R s C_2 - s^2 \alpha_p R_p R C_1 C_2 \\ + \alpha_p \gamma - 1 - \alpha_p R_p s C_1 \end{pmatrix} \quad (3.53)$$

จัดรูปสมการที่ (3.53) โดยการย้ายข้างสมการ จะได้

$$\begin{pmatrix} s^2 \alpha_p R_p R C_1 C_2 + s \alpha_p R_p C_1 - \alpha_p \beta_{g_m} R_p R s C_1 - \alpha_p R s C_2 \gamma \\ + R s C_2 + \alpha_p \beta_{g_m} R \gamma - \beta_{g_m} R + \alpha_p^2 \beta_{g_m} R - \alpha_p \gamma + 1 \end{pmatrix} = 0 \quad (3.54)$$

จากสมการที่ (3.54) จัดรูปสมการใหม่ ได้สมการลักษณะคุณสมบัตินี้ คือ

$$\left\{ \begin{array}{l} s^2 \alpha_p R_p R C_1 C_2 + s \left(\alpha_p R_p C_1 - \alpha_p \beta_{g_m} R_p R C_1 - \alpha_p R C_2 \gamma + R C_2 \right) \\ + \alpha_p \beta_{g_m} R \gamma - \beta_{g_m} R + \alpha_p^2 \beta_{g_m} R - \alpha_p \gamma + 1 \end{array} \right\} = 0 \quad (3.55)$$

จากสมการที่ (3.55) ทำให้ทราบ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega = \sqrt{\frac{\alpha_p \beta g_m R \gamma - \beta g_m R + \alpha_p^2 \beta g_m R - \alpha_p \gamma + 1}{\alpha_p R_p R C_1 C_2}} \quad (3.56)$$

จากสมการที่ (3.55) ทำให้ทราบ เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณคือ

$$\alpha_p R_p C_1 - \alpha_p \beta g_m R_p R C_1 - \alpha_p R C_2 \gamma + R C_2 = 0 \quad (3.57)$$

ในการวิเคราะห์วงจรกรณีไม่เป็นอุดมคติ จากคุณสมบัติ CCCDTA สามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$I_{out2} = I_x = \beta g_m V_z \quad (3.58)$$

$$I_{out1} = I_{zc} = \gamma I_z \quad (3.59)$$

พิจารณาที่โหนด V_A จะได้

$$I_{zc} = I_p - I_{c1} + I_x \quad (3.60)$$

แทนค่า $I_{zc} = I_{out1}$ และ $I_x = I_{out2}$ ในสมการที่ (3.58) จะได้

$$I_{out1} = I_p - I_{c1} + I_{out2} \quad (3.61)$$

พิจารณา $I_{out1} = I_{zc} = \gamma I_z = \alpha_p \gamma I_p$ จะได้

$$I_p = \frac{I_{out1}}{\alpha_p \gamma} \quad (3.62)$$

จากวงจรพบว่า

$$I_{c1} = V_A S C_1 \quad (3.63)$$

แทนค่า $V_A = I_p R_p$ ลงในสมการที่ (3.63) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{C1} = I_p sC_1 R_p = I_{OUT1} \frac{sC_1 R_p}{\alpha_p \gamma} \quad (3.64)$$

แทนค่าสมการที่ (3.62) และสมการที่ (3.64) ตามลำดับลงในสมการที่ (3.61) จะได้

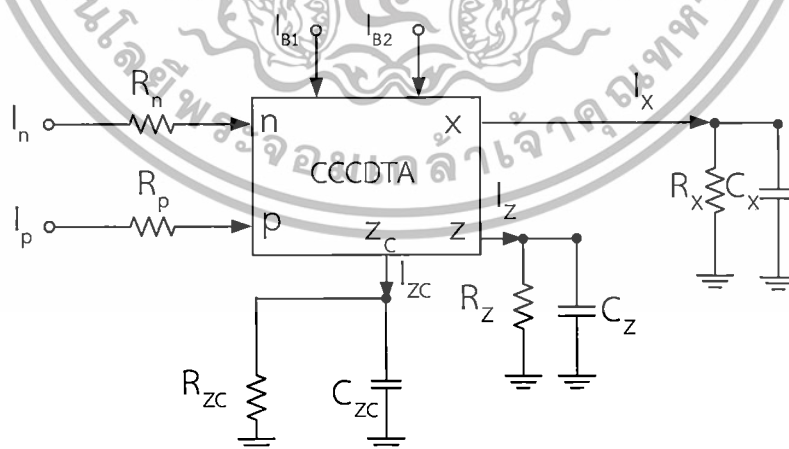
$$I_{OUT1} = \frac{I_{OUT1}}{\alpha_p \gamma} - \frac{sC_1 R_p}{\alpha_p \gamma} I_{OUT1} + I_{OUT2} \quad (3.65)$$

$$I_{OUT1} \left(1 - \frac{1}{\alpha_p \gamma} + \frac{sC_1 R_p}{\alpha_p \gamma}\right) = I_{OUT2} \quad (3.66)$$

$$\frac{I_{OUT2}}{I_{OUT1}} = 1 - \frac{1}{\alpha_p \gamma} + \frac{sC_1 R_p}{\alpha_p \gamma} \quad (3.67)$$

3.3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของค่าความต้านทานแฝงและค่าความจุแฝง

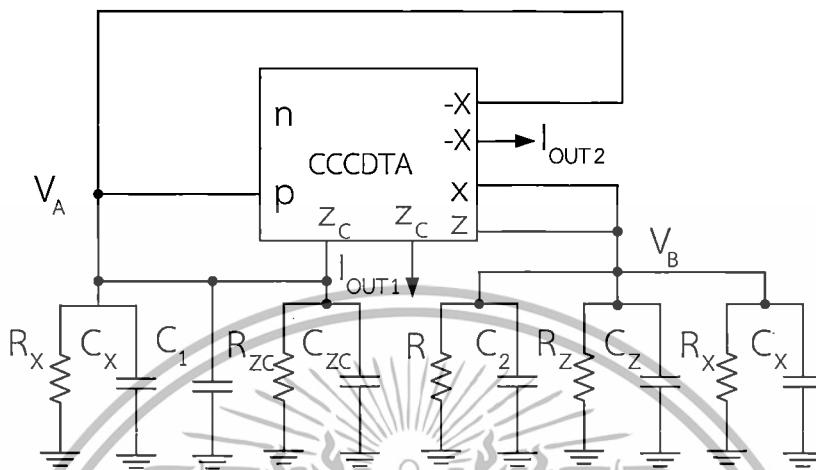
จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ได้ออกแบบไว้ สิ่งที่จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของวงจรเมื่อค่าความต้านทานและค่าความจุแฝงในตัวอุปกรณ์ CCCDTA เมื่อคำนึงถึงค่าอุปกรณ์แฝงนั้นสามารถเขียนวงจรเทียบเคียงของ CCCDTA ได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรเทียบเคียงของ CCCDTA เมื่อพิจารณาที่ค่าความต้านทานแฝงและค่าความจุแฝง

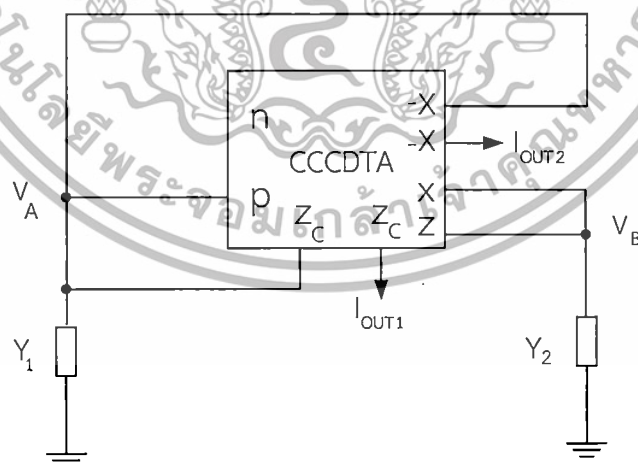
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูงนั้นนำตัวเก็บประจุและตัวต้านทานมาต่อขนานกันจึงสามารถเขียนวงจรได้ใหม่แสดงดังรูปที่ 3.5 เมื่อพิจารณาโหนดมาต่อที่ขั้วเอาต์พุตทั้งสองมีค่าต่ำมากๆ ดังนั้นค่าอุปกรณ์แฝงจะไม่ส่งผลต่อขั้วเอาต์พุตทั้งสอง



รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน้แบบควอเตรเจอร์เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูง

จากรูปที่ 3.5 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณชายน้แบบควอเตรเจอร์ เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูงทำการยุบรวมค่าความต้านทานและความจุให้อยู่ในรูปของแอดมิแตนซ์ เพื่อง่ายต่อการพิจารณาสามารถเขียนวงจรได้ใหม่แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน้ควอเตรเจอร์กรณีวงจรทำงานที่ความถี่สูงแทนค่าแอดมิแตนซ์

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.6 จะได้สมการ Y_1 และ Y_2 ดังสมการที่ (3.68) และสมการที่ (3.69) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_1 = s(C_1 + C_x + C_{zc}) + G_x + G_{zc} \quad (3.68)$$

$$Y_2 = s(C_2 + C_z + C_x) + G_x + G_z + G \quad (3.69)$$

โดยกำหนดให้

$$C_A = C_1 + C_x + C_{zc} \quad (3.70)$$

$$C_B = C_2 + C_z + C_x \quad (3.71)$$

$$G_A = G_x + G_{zc} \quad (3.72)$$

$$G_B = G + G_x + G_z \quad (3.73)$$

แทนค่าสมการ (3.70) และสมการ (3.72) ลงในสมการ (3.68) จะได้สมการดังนี้

$$Y_1 = sC_A + G_A \quad (3.74)$$

แทนค่าสมการ (3.71) และสมการ (3.73) ลงในสมการ (3.69) ได้สมการดังนี้

$$Y_2 = sC_B + G_B \quad (3.75)$$

จากรูปที่ 3.5 จะได้สมการดังนี้

$$I_{zc} = I_p + I_{y1} + I_x \quad (3.76)$$

แทนค่า $I_{zc} = I_p$ ลงในสมการที่ (3.746) จะได้

$$I_x = -I_{y1} \quad (3.77)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $I_x = g_m V_B$ และ $I_{Y1} = -V_A Y_1$ ลงในสมการที่ (3.77) จะได้

$$g_m V_B = -V_A Y_1 \quad (3.78)$$

$$V_B = \frac{-V_A Y_1}{g_m} \quad (3.79)$$

พิจารณาที่โหนด V_B

$$I_x + I_p = I_{Y2} \quad (3.80)$$

แทนค่า $I_x = g_m V_B$ และ $I_p = \frac{V_A}{R_p}$, $I_{Y2} = V_B Y_2$ ลงในสมการที่ (3.80) จะได้

$$g_m V_B + \frac{V_A}{R_p} = V_B Y_2 \quad (3.81)$$

แทนค่า $V_B = \frac{-V_A Y_1}{g_m}$ ลงในสมการที่ (3.81) จะได้

$$-V_A Y_1 + \frac{V_A}{R_p} = -\frac{V_A Y_1}{g_m} Y_2 \quad (3.82)$$

นำ V_A หารตลอดจะได้

$$-Y_1 + \frac{1}{R_p} = -\frac{Y_2 Y_1}{g_m} \quad (3.83)$$

$$\frac{R_p Y_1 - 1}{R_p} = -\frac{Y_2 Y_1}{g_m} \quad (3.84)$$

เอกสารนี้ R_p และ g_m ถูกมองไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_m R_p Y_1 - g_m = R_p Y_2 Y_1 \quad (3.85)$$

แทนสมการที่ (3.74) และ (3.75) ในสมการที่ (3.85) จะได้

$$g_m R_p (sC_A + G_A) - g_m = R_p (sC_A + G_A)(sC_B + G_B) \quad (3.86)$$

จากสมการที่ (3.86) ได้สมการลักษณะสมบัติคือ

$$s^2 + s \frac{C_A + \frac{C_B G_A}{G_B} - \frac{C_A g_m}{G_B}}{G_B} + \frac{G_A R_p (G_B - g_m) + g_m}{C_A C_B R_p} = 0 \quad (3.87)$$

จากสมการที่ (3.87) ได้สมการความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ

$$\omega = \sqrt{\frac{G_A R_p (G_B - g_m) + g_m}{C_A C_B R_p}} \quad (3.88)$$

จากสมการที่ (3.87) ได้สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ

$$C_A G_B + C_B G_A = C_A g_m \quad (3.89)$$

แทนสมการ (3.70), (3.71), (3.72), (3.73) ลงในสมการที่ (3.88) จะได้สมการความถี่ดังสมการที่ (3.90)

$$\omega = \sqrt{\frac{R_p (G_x + G_{zC}) ((G + G_x + G_z) - g_m) + g_m}{(C_1 + C_x + C_{zC})(C_2 + C_z + C_x) R_p}} \quad (3.90)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนสมการ (3.70), (3.71), (3.72), (3.73) ลงในสมการที่ (3.89) จะได้สมการเงื่อนไขดังสมการที่ (3.91)

$$\left(\frac{(C_2 + C_z + C_x)(G_2 + G_x + G_2) +}{(C_1 + C_x + C_{zc})(G_x + G_{zc})} \right) = (C_2 + C_z + C_x)g_m \quad (3.91)$$

ในการวิเคราะห์ห้วงจรความถี่สูงสามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ได้
 ดังนี้ เมื่อกำหนดให้ $I_{out1} = \frac{V_p}{R_p}$ และ $I_{out1} = V_p Y_1$

$$\frac{I_{out2}}{I_{out1}} = \frac{V_p Y_1}{\frac{V_p}{R_p}} = R_p Y_1 \quad (3.92)$$

แทนค่า $Y_1 = s(C_1 + C_x + C_{zc}) + G_x + G_{zc}$ ในสมการที่ (3.92) จะได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอน
 ดังสมการที่ (3.93)

$$\frac{I_{out2}}{I_{out1}} = R_p [s(C_1 + C_x + C_{zc}) + G_x + G_{zc}] \quad (3.93)$$

วงจรถ่ายโอนสัญญาณชานแบบตัวอเนกเจอร์ เมื่อวิเคราะห์ห้วงจรกรณีที่มีความถี่สูง พิจารณาจาก
 สมการที่ (3.90) และ (3.91) พบว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นผลมาจากค่าความต้านทานและความจุ
 แผงในตัวทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรถ่ายโอน ส่งผลกระทบต่อเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณในทางปฏิบัติ
 ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ ควรที่จะออกแบบ CCCDTA ให้มีค่าใกล้เคียงอุดมคติมาก
 ที่สุด

บทที่ 4

ผลการวิจัยข้อมูล

การทดสอบและพิสูจน์สมรรถนะการทำงานของวงจร ด้วยวิธีการจำลองการทำงานและวัดผลตอบสนองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม PSPICE เพื่อนำผลการทดสอบนั้นมาทำการยืนยันสมรรถนะ อีกทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้กับการคำนวณและวิเคราะห์ในทางทฤษฎี ของวงจรถักกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ในบทที่ 3 พร้อมทั้งอภิปรายผลของงานวิจัยดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

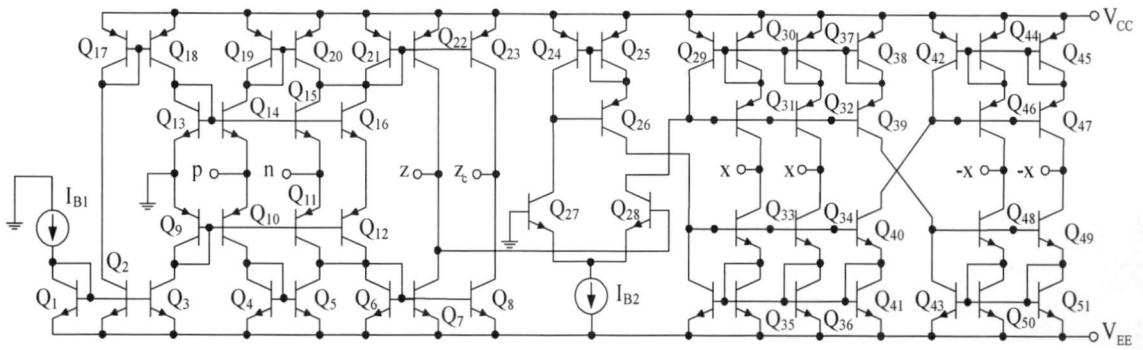
4.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรถักกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ที่น่าเสนอ

การจำลองการทำงานของวงจรถักกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติการทำงานของวงจรที่มีโครงสร้างภายในของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสควบคุมด้วยกระแส โดยใช้โปรแกรม PSPICE ในการจำลองนี้เลือกทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T โดยพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.1 และ วงจรถักกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์ที่ใช้ในการทดลอง PSPICE แสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานวงจรถักกำเนิดสัญญาณชายน

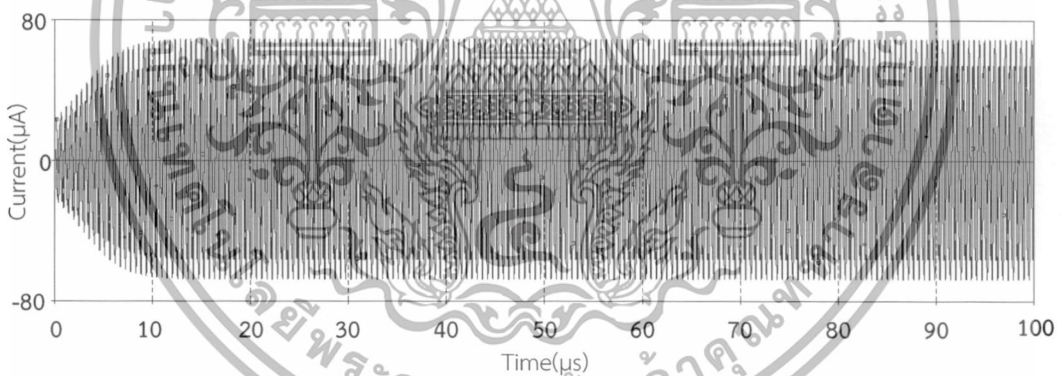
NPN	PNP
+RB=524.6 IRB=0 RBM=25 RC=50 RE=1	+RB=327 IRB=0 RBM=24.55 RC=50 RE=3
+IS=121E-18 EG=1.206 XTI=2 B=1.538 BF=137.5	+IS=73.5E-18 EG=1.206 XTI=1.7 XTB=1.866 BF=110
+IKF=6.974E-3 NF=1 VAF=159.4 ISE=36E-16 E=1.713	+IKF=2.359E-3 NF=1 VAF=51.8 ISE=25.1E-16 NE=1.650
+BR=0.7258 IKR=2.198E-3 NR=1 VAR=10.73 ISC=0 NC=2	+BR=0.4745 IKR=6.478E-3 NR=1 VAR=9.96 ISC=0 NC=2
+TF=0.425E-9 TR=0.425E-8 JE=0.214E-12 VJE=0.5	+TF=0.610E-9 TR=0.610E-8 CJE=0.180E-12 VJE=0.5
+MJE=0.28 CJC=0.983E-13 VJC=0.5 MJC=0.3 XCJC=0.034	+MJE=0.28 CJC=0.164E-12 VJC=0.8 MJC=0.4 XCJC=0.037
+CJS=0.913E-12 VJS=0.64 MJS=0.4 C=0.5	+CJS=1.03E-12 VJS=0.55 MJS=0.35 FC=0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

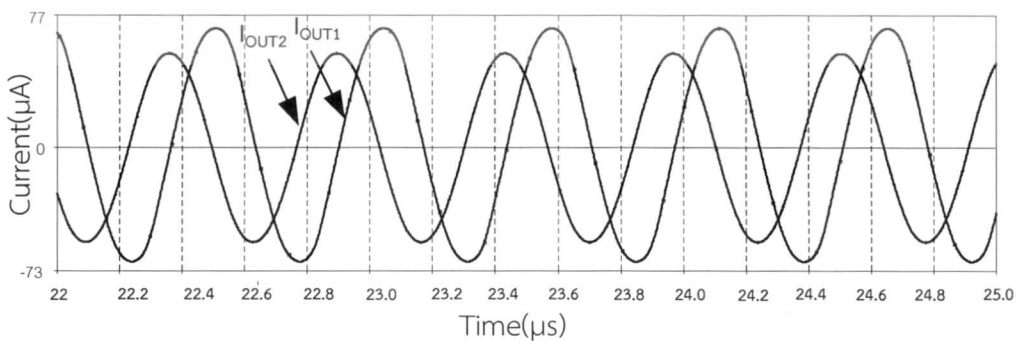


รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบคอเดรเจอร์ที่ใช้ในการทดลอง PSPICE

ลำดับแรกปรับค่าอุปกรณ์ในการทดสอบการทำงานดังนี้ $I_{B1}=50\mu A$, $I_{B2}=122\mu A$ ตัวเก็บประจุ $C_1=C_2=0.2nF$ ตัวต้านทาน $R=400\Omega$ ผลจากการจำลองการทำงานแสดงในรูปที่ 4.2 เป็นกระแสเอาต์พุตสถานะเริ่มต้น (Initial State) รูปที่ 4.3 เป็นกระแสเอาต์พุตของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} ซึ่งมีสถานะอยู่ตัว (Steady State) โดยพบว่าทั้ง 2 สัญญาณมีเฟสต่างกัน 90 องศาซึ่ง I_{OUT2} เป็นเฟสที่นำหน้า และ I_{OUT1} เป็นเฟสล้าหลัง ดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการ (3.35) รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โดยทำการวัดค่าความผิดพลาดทางฮาร์มอนิกสรรวม ที่ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 1.8619MHz ของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} มีค่าเท่ากับ 2.9527% และ 1.6780% ตามลำดับ

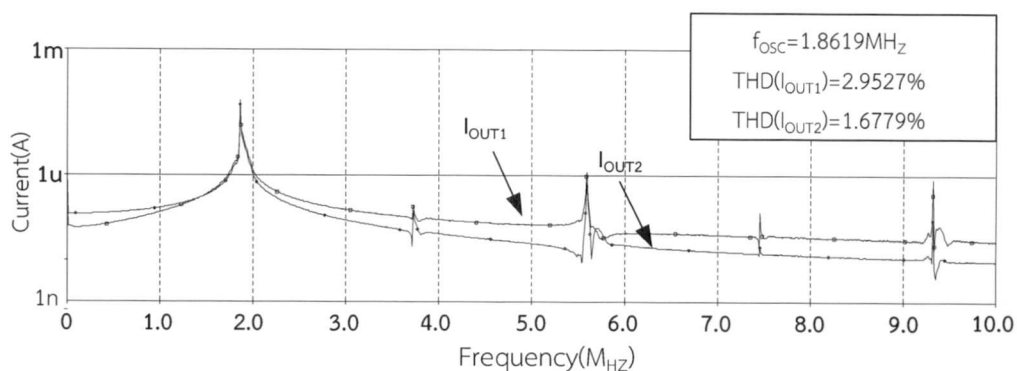


รูปที่ 4.2 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้นที่ความถี่ 1.8619MHz



รูปที่ 4.3 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสถานะเอาต์พุตอยู่ตัวที่ความถี่ 1.8619MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

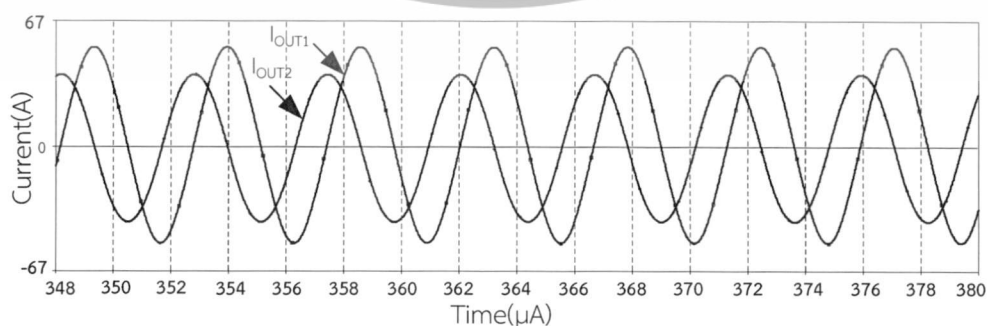


รูปที่ 4.4 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 1.8619MHz

เมื่อปรับตัวเก็บประจุ $C_1=C_2=2\text{nF}$, $I_{B1}=50\mu\text{A}$, $I_{B2}=122\mu\text{A}$ มีตัวต้านทานภายในมีค่า $R=400\Omega$ ผลการจำลองการทำงานแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกระแสเอาต์พุตสถานะเริ่มต้น ส่วนรูปที่ 4.6 แสดงกระแสเอาต์พุต I_{OUT1} และ I_{OUT2} พบว่าสัญญาณทั้ง 2 มีเฟสต่างกัน 90 องศา ซึ่ง I_{OUT2} เป็นเฟสที่นำหน้า และ I_{OUT1} เป็นเฟสล่าหลัง ดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการ (3.35) รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โดยทำการวัดค่าความผิดพลาดทางฮาร์มอนิกสรวม ที่ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 216.002kHz ของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} มีค่าเท่ากับ 1.5107% และ 1.4965% ตามลำดับ

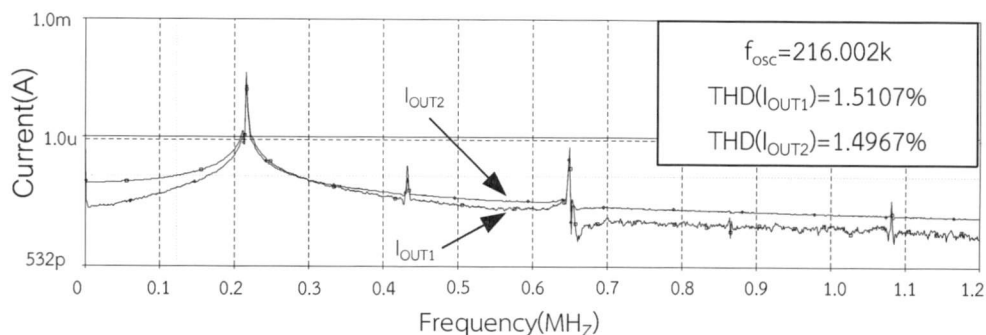


รูปที่ 4.5 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้นที่ความถี่ 216.002kHz



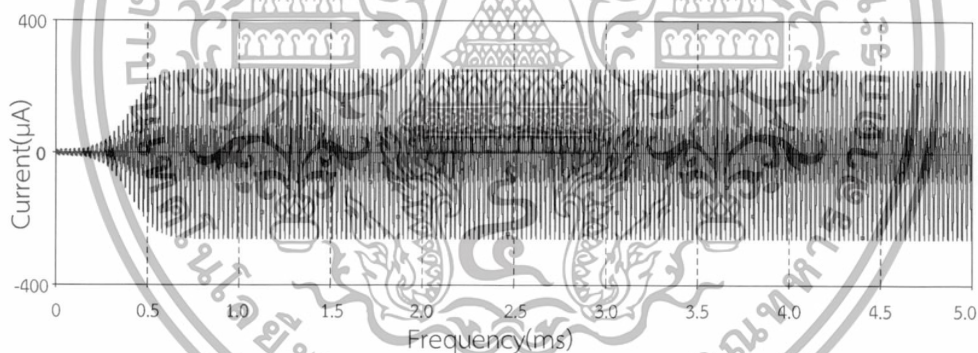
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสถานะเอาต์พุตอยู่ที่ความถี่ 216.002kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

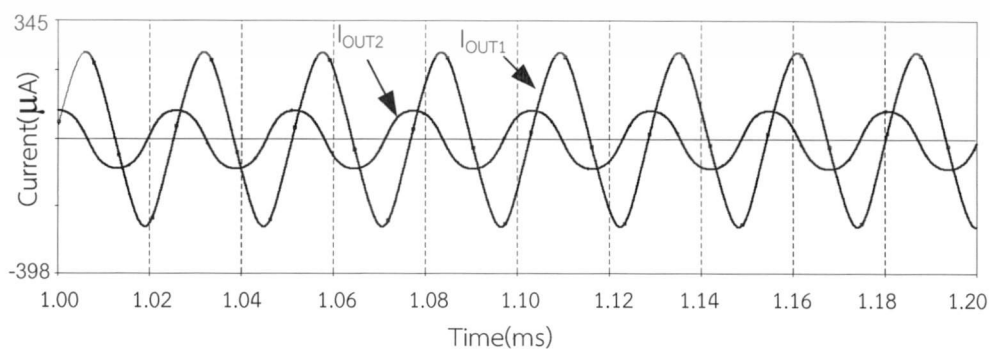


รูปที่ 4.7 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 216.002kHz

เมื่อปรับตัวเก็บประจุ $C_1=C_2=20\text{nF}$, $I_{B1}=200\mu\text{A}$, $I_{B2}=122\mu\text{A}$ มีตัวต้านทานภายในมีค่า $R=860\Omega$ ผลการจำลองการทำงานแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นกระแสเอาต์พุตสถานะเริ่มต้น ส่วนรูปที่ 4.9 แสดงกระแสเอาต์พุต I_{OUT1} และ I_{OUT2} พบว่าสัญญาณทั้ง 2 มีเฟสต่างกัน 90 องศาซึ่ง I_{OUT2} เป็นเฟสที่นำหน้า และ I_{OUT1} เป็นเฟสล่าหลัง ดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการ (3.35) รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โดยทำการวัดค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกสรวม ที่ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 38.801kHz ของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} มีค่าเท่ากับ 4.1237% และ 7.2967% ตามลำดับ

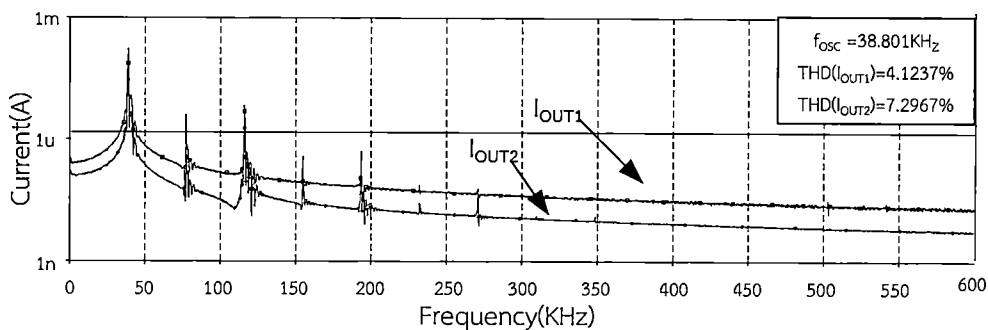


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้นที่ความถี่ 38.801kHz

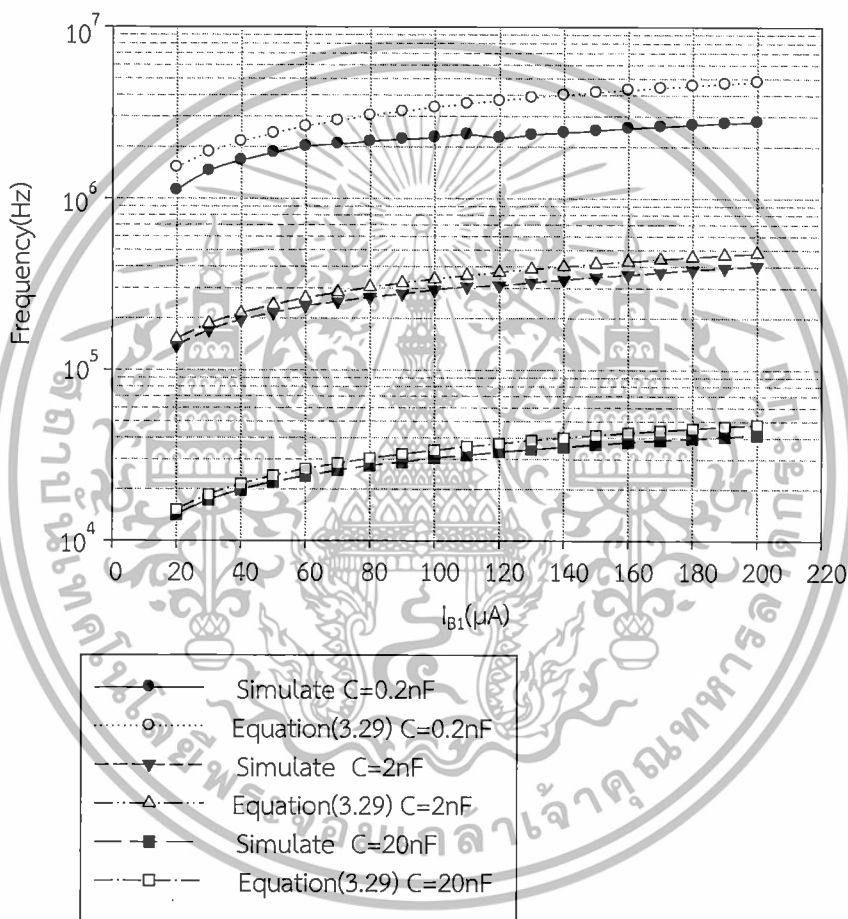


รูปที่ 4.9 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสถานะเอาต์พุตอยู่ที่ความถี่ 38.801kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



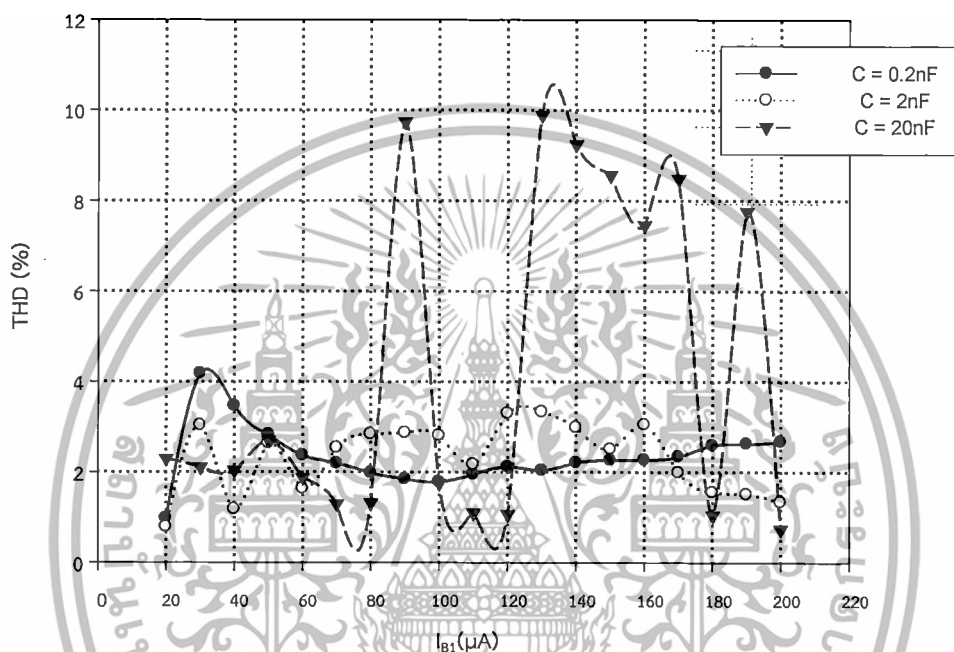
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่ 38.801kHz



รูปที่ 4.11 ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณ เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1} จากการจำลองผลเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=20-200\mu A$ และ $I_{B2}=122\mu A$ โดยได้เปลี่ยนตัวเก็บประจุ 3 ค่า ได้แก่ 0.2nF, 2nF และ 20nF ต่อร่วมกับความต้านทาน 400Ω พบว่าความถี่ที่คำนวณได้ในทางทฤษฎีมีค่ามากกว่าค่าความถี่ที่ได้จากผลการทดสอบทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดพารามิเตอร์ทางกายภาพของทรานซิสเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแสดงผลดังรูปที่ 4.11 พบว่าผลการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณชายน้ควอเดรเจอร์ โดยการเปรียบเทียบความถี่ที่ได้จากการจำลองผลโปรแกรม PSPICE มีผลสอดคล้องกับค่าทางทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 กล่าวคือ เมื่อค่าตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นส่งผลให้ค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าน้อยลงตามที่ได้วิเคราะห์ดังสมการที่ (3.29) และค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก ได้ค่าความถี่น้อยทำให้กราฟมีลักษณะที่ไม่ต่างกัน แต่ค่าความถี่ที่มากขึ้นทำให้กราฟมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.12 การทดสอบหาค่า THD ของกระแสเอาต์พุตที่ 1 เมื่อปรับค่ากระแส I_{b1}

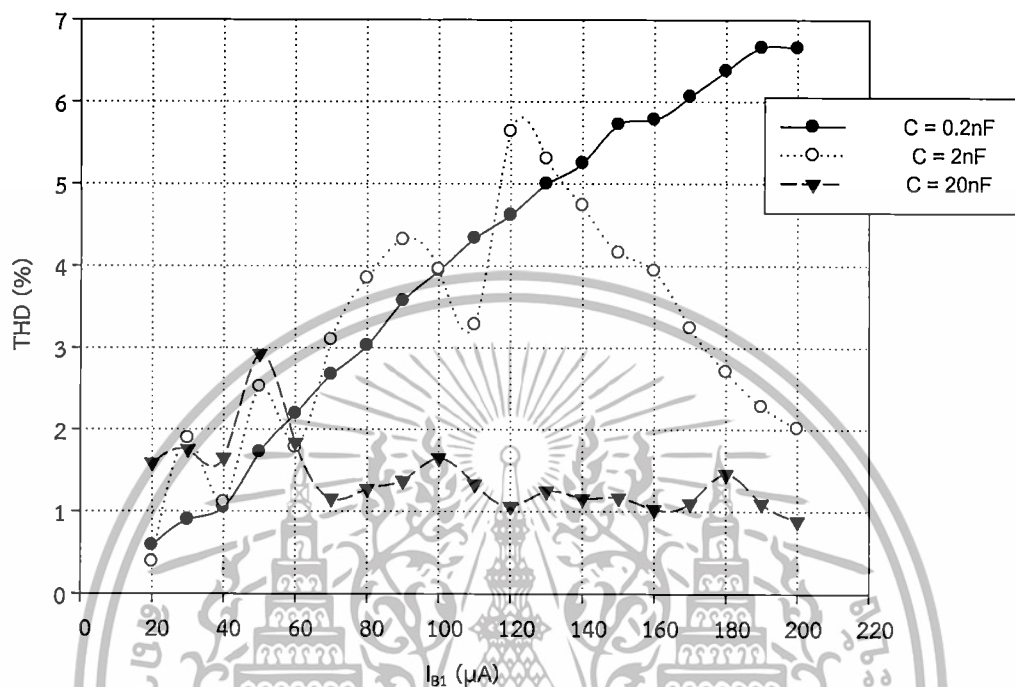
ในรูปที่ 4.12 เป็นการทดสอบวัดค่า THD ของ I_{out1} โดยเปลี่ยนตัวเก็บประจุจำนวน 3 ค่าคือ 0.2nF, 2nF, 20nF ต่อกับความต้านทาน 400 Ω ในการจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งพบว่า

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 0.2nF กระแสไบอัส $I_{b1} = 20$ ถึง 200 μA ค่า THD ของ I_{out1} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.9728% ถึง 4.1736% หาค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{b1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.9728% ที่การกำเนิดสัญญาณ 1.212MHz

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 2nF กระแสไบอัส $I_{b1} = 20$ ถึง 200 μA ค่า THD ของ I_{out1} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.7840% ถึง 3.3292% หาค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{b1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.7840% ที่การกำเนิดสัญญาณ 137.517kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 20nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT1} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.7447% ถึง 9.8882% หาค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=200\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.7447% ที่การกำเนิดสัญญาณ 41.600kHz



รูปที่ 4.13 การทดสอบหาค่า THD ของกระแสเอาต์พุตที่ 2 เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}

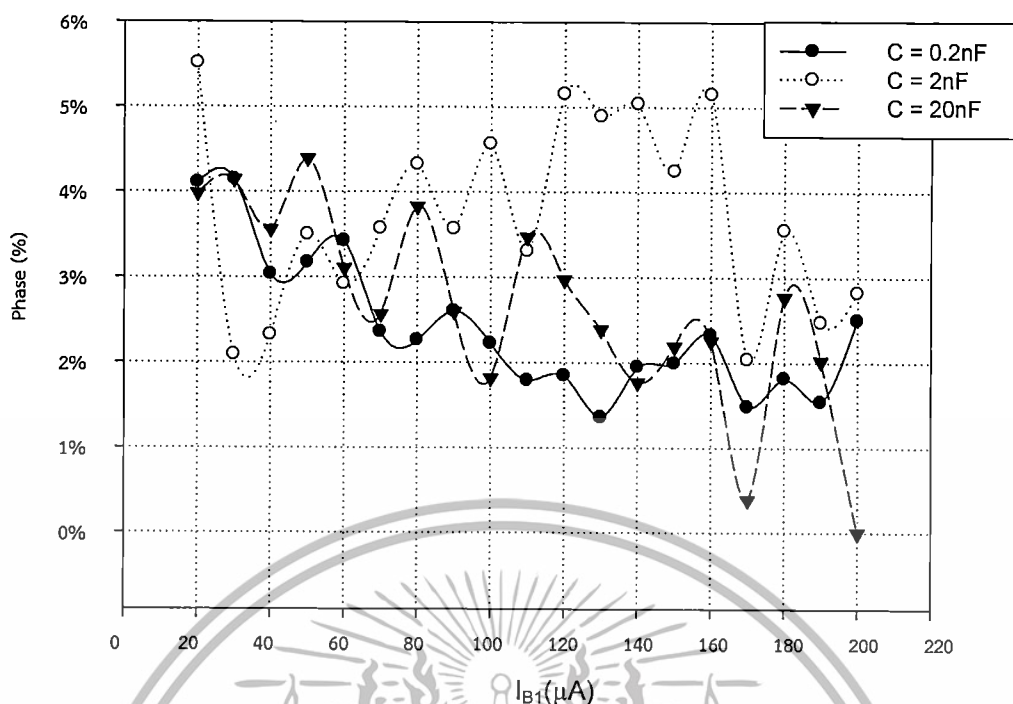
ในรูปที่ 4.13 เป็นการทดสอบหาค่า THD ของ I_{OUT2} ทดสอบโดยใช้ค่าตัวเก็บประจุจำนวน 3 ค่าคือ 0.2nF, 2nF, 20nF ต่อร่วมกับความต้านทาน 400Ω ในการจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งพบว่า

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 0.2nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT2} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.5820% ถึง 6.6550% ค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.9728% ที่การกำเนิดสัญญาณ 1.212MHz

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 2nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT2} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.3851% ถึง 5.6373% ค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.3851% ที่การกำเนิดสัญญาณ 137.517kHz

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 20nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT2} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 1.5154% ถึง 8.0515% ค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=200\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 1.5154% ที่การกำเนิดสัญญาณ 14.2kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาเมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}

จากรูปที่ 4.14 เป็นค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาของวงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1} = 20\text{--}200\mu\text{A}$ โดยใช้ค่าตัวเก็บประจุ 3 ค่า คือ 0.2nF, 2nF และ 20nF โดยใช้ตัวต้านทานมีค่า $R = 400\Omega$ ในการจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งพบว่า

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 0.2nF ที่กระแสไบอัส $I_{B1} = 20 - 200\mu\text{A}$ ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา คือ 1.3550% ถึง 4.1420% วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาที่ดีที่สุดที่กระแสไบอัส 130 μA วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา ที่ -1.3550%

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 2nF ที่กระแสไบอัส $I_{B1} = 20 - 200\mu\text{A}$ ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา คือ 2.0872% ถึง 5.5103% วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา ที่ดีที่สุดที่กระแสไบอัส 20 μA วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา ที่ คือ 2.0872%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีในตัวเก็บประจุ 20nF ที่กระแสไบอัส $I_{BI} = 20 - 200\mu A$ ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาคือ 4.6942% ถึง 9.8901% วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา ที่ดีที่สุดที่กระแสไบอัส 20 μA วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยข้อมูล

การทดสอบและพิสูจน์สมรรถนะการทำงานของวงจร ด้วยวิธีการจำลองการทำงานและวัดผลตอบสนองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม PSPICE เพื่อนำผลการทดสอบนั้นมาทำการยืนยันสมรรถนะ อีกทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้กับการคำนวณและวิเคราะห์ในทางทฤษฎี ของวงจรถ่ายสัญญาณสัญญาณชายนแบบควอเทรเจอร์โหมดกระแสที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ในบทที่ 3 พร้อมทั้งอภิปรายผลของงานวิจัยดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

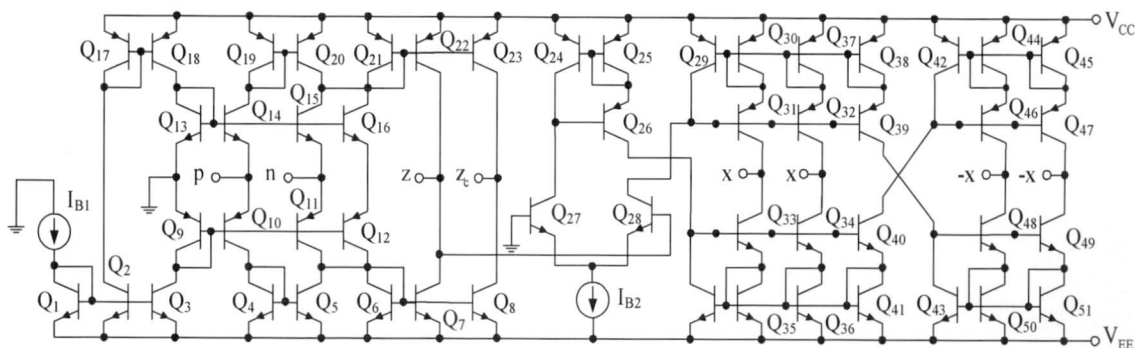
4.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณชายนแบบควอเทรเจอร์ที่นำเสนอ

การจำลองการทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณชายนแบบควอเทรเจอร์ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติการทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณชายนแบบควอเทรเจอร์ที่มีโครงสร้างภายในของวงจรถ่ายสัญญาณชายนแบบควอเทรเจอร์ต่างกระแสควบคุมด้วยกระแส โดยใช้โปรแกรม PSPICE ในการจำลองนี้เลือกทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T โดยพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.1 และ วงจรถ่ายสัญญาณชายนแบบควอเทรเจอร์ที่ใช้ในการทดลอง PSPICE แสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานวงจรถ่ายสัญญาณชายนแบบควอเทรเจอร์ที่นำเสนอ

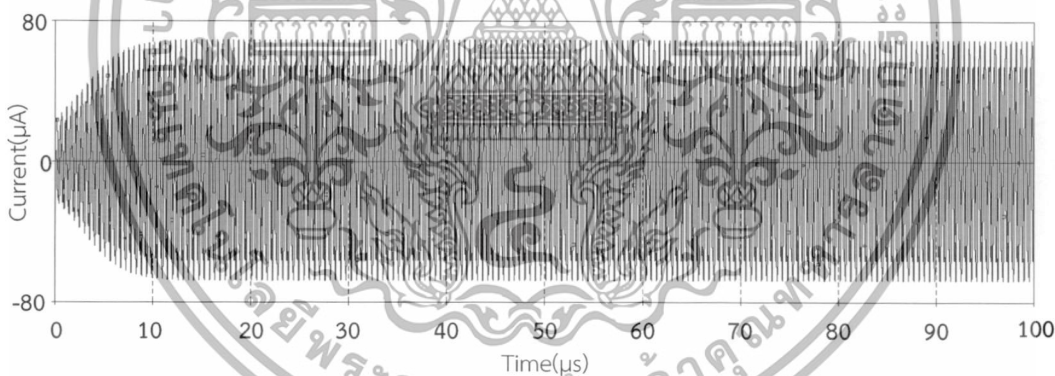
NPN	PNP
+RB=524.6 IRB=0 RBM=25 RC=50 RE=1	+RB=327 IRB=0 RBM=24.55 RC=50 RE=3
+IS=121E-18 EG=1.206 XTI=2 B=1.538 BF=137.5	+IS=73.5E-18 EG=1.206 XTI=1.7 XTB=1.866 BF=110
+IKF=6.974E-3 NF=1 VAF=159.4 ISE=36E-16 E=1.713	+IKF=2.359E-3 NF=1 VAF=51.8 ISE=25.1E-16 NE=1.650
+BR=0.7258 IKR=2.198E-3 NR=1 VAR=10.73 ISC=0 NC=2	+BR=0.4745 IKR=6.478E-3 NR=1 VAR=9.96 ISC=0 NC=2
+TF=0.425E-9 TR=0.425E-8 JE=0.214E-12 VJE=0.5	+TF=0.610E-9 TR=0.610E-8 CJE=0.180E-12 VJE=0.5
+MJE=0.28 CJC=0.983E-13 VJC=0.5 MJC=0.3 XCJC=0.034	+MJE=0.28 CJC=0.164E-12 VJC=0.8 MJC=0.4 XCJC=0.037
+CJS=0.913E-12 VJS=0.64 MJS=0.4 C=0.5	+CJS=1.03E-12 VJS=0.55 MJS=0.35 FC=0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

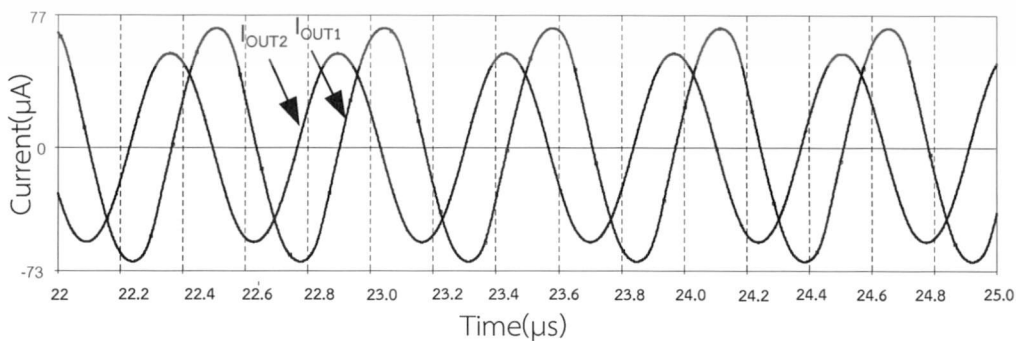


รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง PSPICE

ลำดับแรกปรับค่าอุปกรณ์ในการทดสอบการทำงานดังนี้ $I_{B1}=50\mu A$, $I_{B2}=122\mu A$ ตัวเก็บประจุ $C_1=C_2=0.2nF$ ตัวต้านทาน $R=400\Omega$ ผลจากการจำลองการทำงานแสดงในรูปที่ 4.2 เป็นกระแสเอาต์พุตสถานะเริ่มต้น (Initial State) รูปที่ 4.3 เป็นกระแสเอาต์พุตของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} ซึ่งมีสถานะอยู่ตัว (Steady State) โดยพบว่าทั้ง 2 สัญญาณมีเฟสต่างกัน 90 องศาซึ่ง I_{OUT2} เป็นเฟสที่นำหน้าและ I_{OUT1} เป็นเฟสล่าหลัง ดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการ (3.35) รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โดยทำการวัดค่าความผิดพลาดทางฮาร์มอนิกสรวม ที่ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 1.8619MHz ของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} มีค่าเท่ากับ 2.9527% และ 1.6780% ตามลำดับ

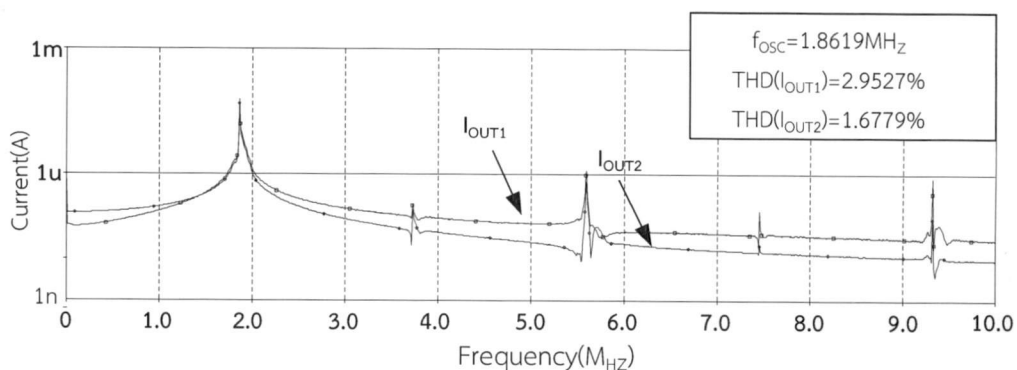


รูปที่ 4.2 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้นที่ความถี่ 1.8619MHz



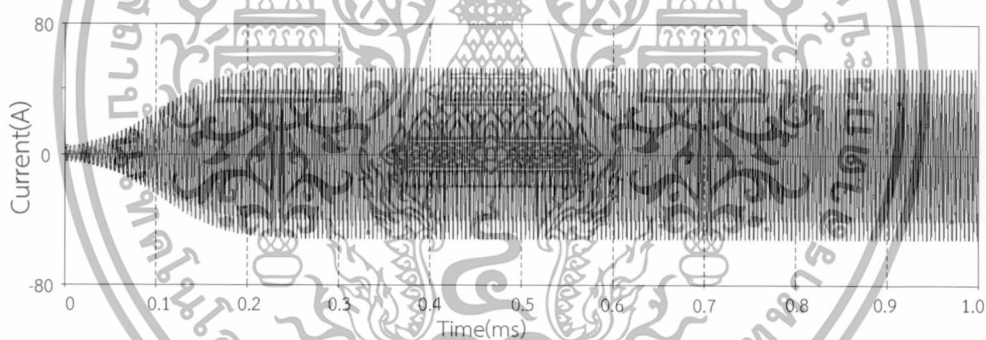
รูปที่ 4.3 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสถานะเอาต์พุตอยู่ตัวที่ความถี่ 1.8619MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

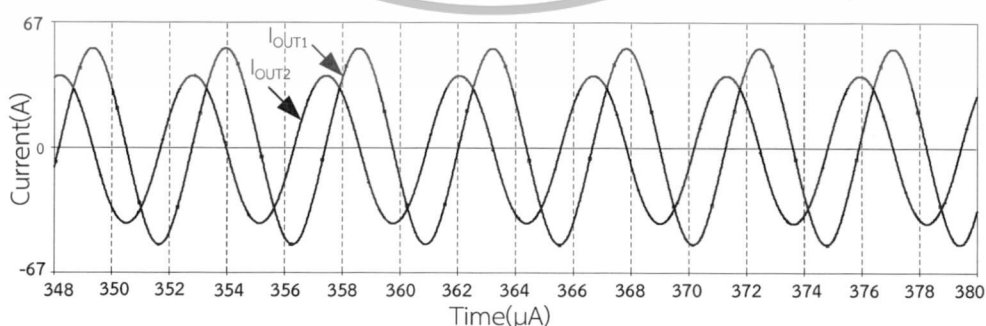


รูปที่ 4.4 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 1.8619MHz

เมื่อปรับตัวเก็บประจุ $C_1=C_2=2\text{nF}$, $I_{B1}=50\mu\text{A}$, $I_{B2}=122\mu\text{A}$ มีตัวต้านทานภายในมีค่า $R=400\Omega$ ผลการจำลองการทำงานแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกระแสเอาต์พุตสถานะเริ่มต้น ส่วนรูปที่ 4.6 แสดงกระแสเอาต์พุต I_{OUT1} และ I_{OUT2} พบว่าสัญญาณทั้ง 2 มีเฟสต่างกัน 90 องศา ซึ่ง I_{OUT2} เป็นเฟสที่นำหน้า และ I_{OUT1} เป็นเฟสล้าหลัง ดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการ (3.35) รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โดยทำการวัดค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกสรวม ที่ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 216.002kHz ของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} มีค่าเท่ากับ 1.5107% และ 1.4965% ตามลำดับ

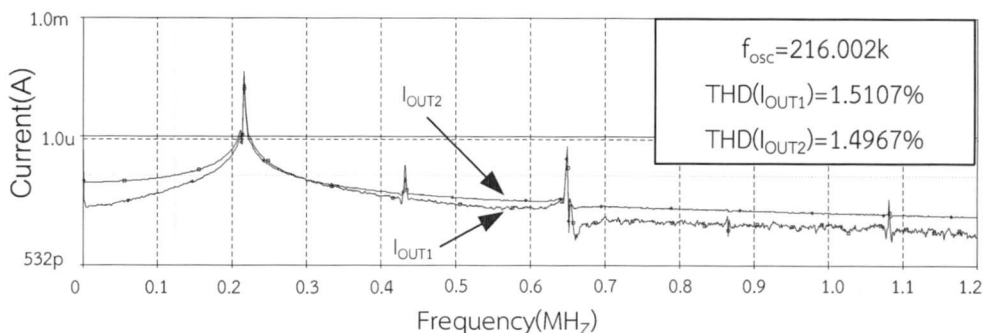


รูปที่ 4.5 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้นที่ความถี่ 216.002kHz



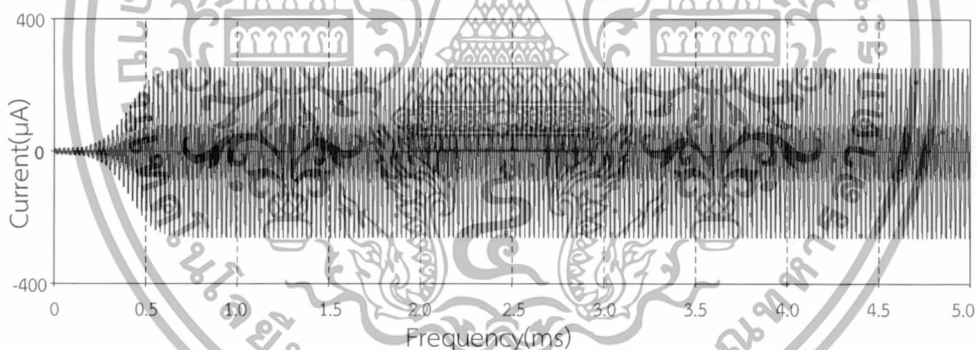
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสถานะเอาต์พุตอยู่ที่ความถี่ 216.002kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

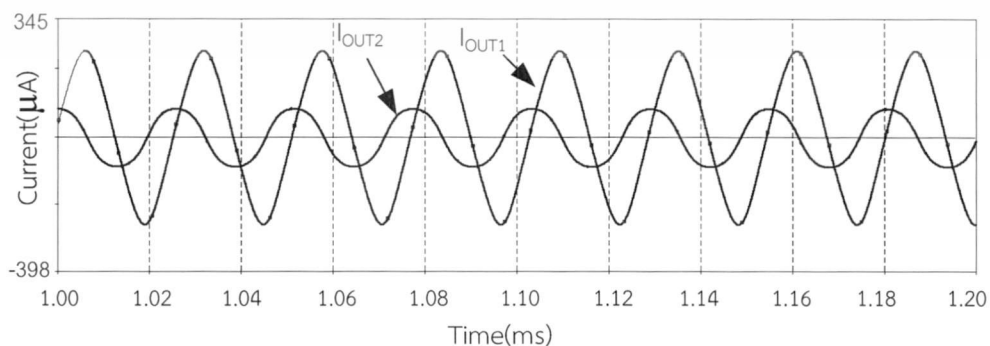


รูปที่ 4.7 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 216.002kHz

เมื่อปรับตัวเก็บประจุ $C_1=C_2=20\text{nF}$, $I_{B1}=200\mu\text{A}$, $I_{B2}=122\mu\text{A}$ มีตัวต้านทานภายในมีค่า $R=860\Omega$ ผลการจำลองการทำงานแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นกระแสเอาต์พุตสถานะเริ่มต้น ส่วนรูปที่ 4.9 แสดงกระแสเอาต์พุต I_{OUT1} และ I_{OUT2} พบว่าสัญญาณทั้ง 2 มีเฟสต่างกัน 90 องศาซึ่ง I_{OUT2} เป็นเฟสที่นำหน้า และ I_{OUT1} เป็นเฟสล่าหลัง ดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการ (3.35) รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โดยทำการวัดค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกสรวม ที่ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 38.801kHz ของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} มีค่าเท่ากับ 4.1237% และ 7.2967% ตามลำดับ

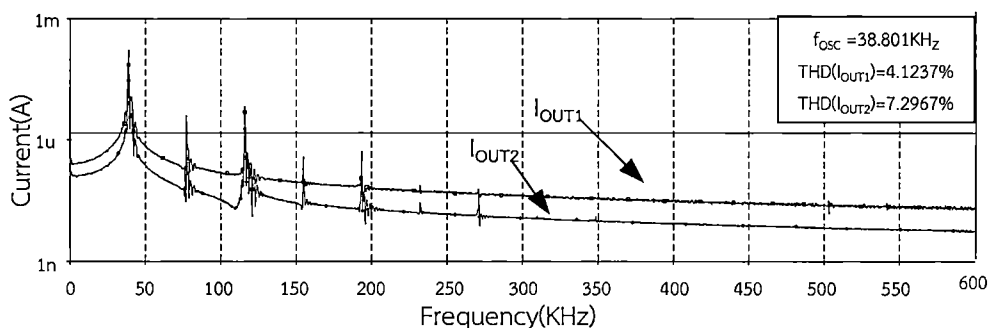


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้นที่ความถี่ 38.801kHz

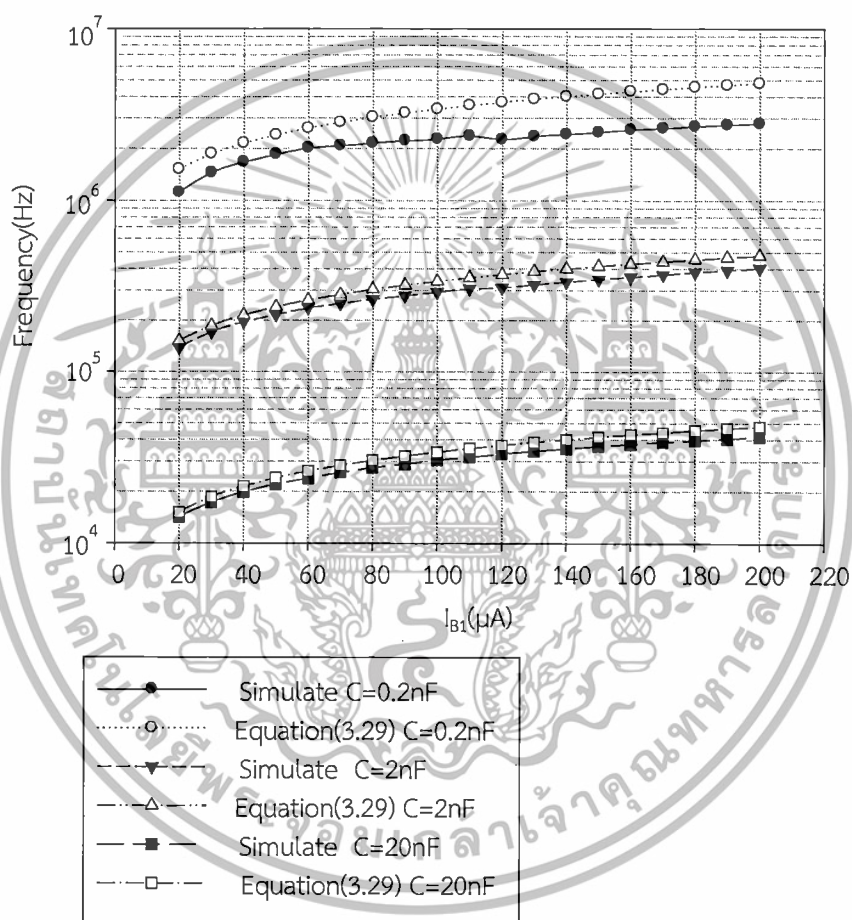


รูปที่ 4.9 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณในสถานะเอาต์พุตอยู่ที่ความถี่ 38.801kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



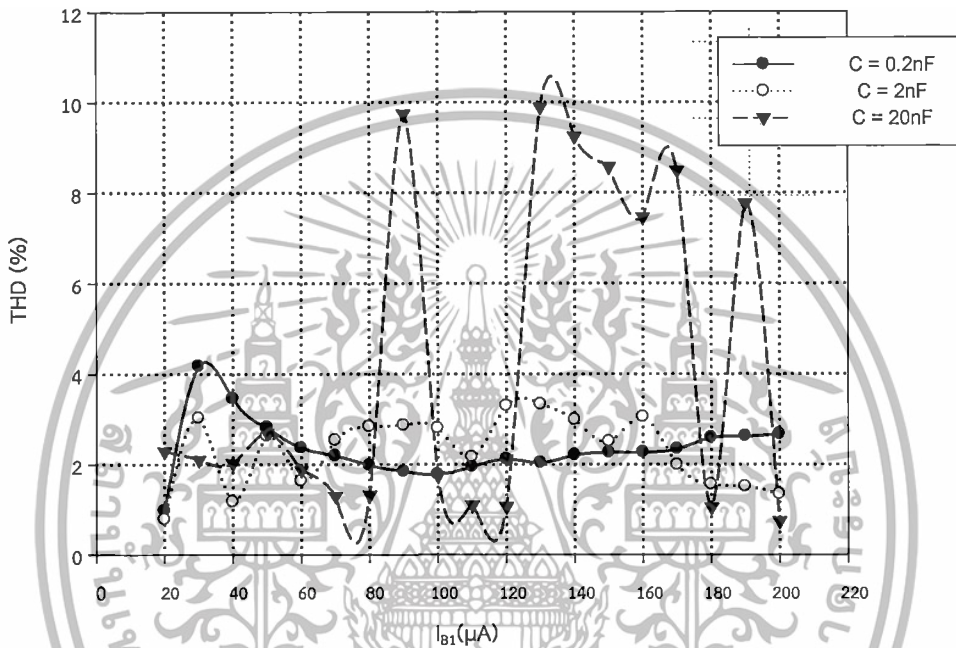
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่ 38.801KHz



รูปที่ 4.11 ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณ เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1} จากการจำลองผลเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=20-200\mu A$ และ $I_{B2}=122\mu A$ โดยได้เปลี่ยนตัวเก็บประจุ 3 ค่า ได้แก่ 0.2nF, 2nF และ 20nF ต่อกับความต้านทาน 400Ω พบว่าความถี่ที่คำนวณได้ในทางทฤษฎีมีค่ามากกว่าค่าความถี่ที่ได้จากผลการทดสอบทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดพารามิเตอร์ทางกายภาพของทรานซิสเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแสดงผลดังรูปที่ 4.11 พบว่าผลการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ควอเดรเจอร์ โดยการเปรียบเทียบความถี่ที่ได้จากการจำลองผลโปรแกรม PSPICE มีผลสอดคล้องกับค่าทางทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 กล่าวคือ เมื่อค่าตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นส่งผลให้ค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณมีค่าน้อยลงตามที่ได้วิเคราะห์ดังสมการที่ (3.29) และค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก ได้ค่าความถี่น้อยทำให้กราฟมีลักษณะที่ไม่ต่างกัน แต่ค่าความถี่ที่มากขึ้นทำให้กราฟมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.12 การทดสอบหาค่า THD ของกระแสเอาต์พุตที่ 1 เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}

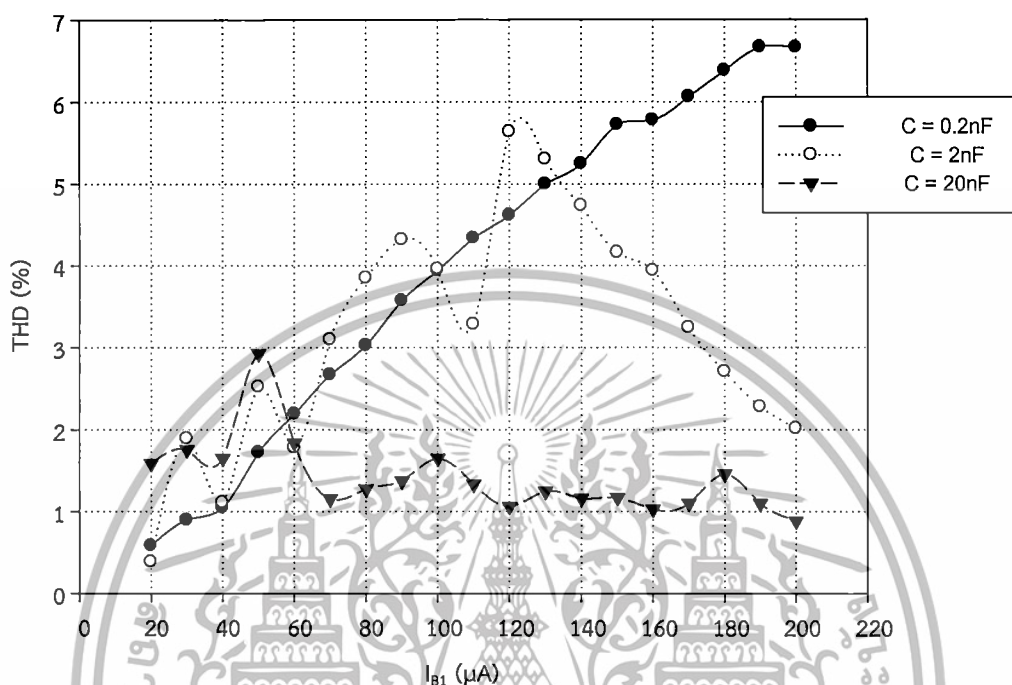
ในรูปที่ 4.12 เป็นการทดสอบวัดค่า THD ของ I_{OUT1} โดยเปลี่ยนตัวเก็บประจุจำนวน 3 ค่าคือ 0.2nF, 2nF, 20nF ต่อกับความต้านทาน 400 Ω ในการจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งพบว่า

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 0.2nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง 200 μA ค่า THD ของ I_{OUT1} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.9728% ถึง 4.1736% หาค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.9728% ที่การกำเนิดสัญญาณ 1.212MHz

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 2nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง 200 μA ค่า THD ของ I_{OUT1} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.7840% ถึง 3.3292% หาค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.7840% ที่การกำเนิดสัญญาณ 137.517kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 20nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT1} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.7447% ถึง 9.8882% หาค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=200\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.7447% ที่การกำเนิดสัญญาณ 41.600kHz



รูปที่ 4.13 การทดสอบหาค่า THD ของกระแสเอาต์พุตที่ 2 เมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}

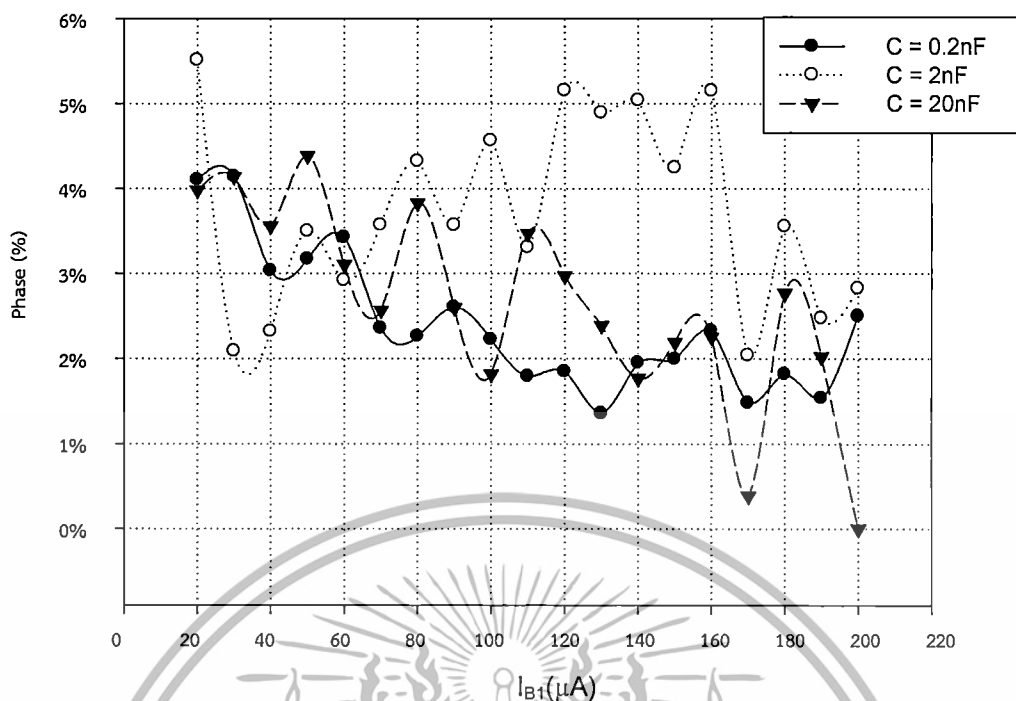
ในรูปที่ 4.13 เป็นการทดสอบหาค่า THD ของ I_{OUT2} ทดสอบโดยใช้ค่าตัวเก็บประจุจำนวน 3 ค่าคือ 0.2nF, 2nF, 20nF ต่อร่วมกับความต้านทาน 400Ω ในการจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งพบว่า

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 0.2nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT2} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.5820% ถึง 6.6550% ค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.9728% ที่การกำเนิดสัญญาณ 1.212MHz

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 2nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT2} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 0.3851% ถึง 5.6373% ค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 0.3851% ที่การกำเนิดสัญญาณ 137.517kHz

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 20nF กระแสไบอัส $I_{B1} = 20$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่า THD ของ I_{OUT2} ที่วัดได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 1.5154% ถึง 8.0515% ค่า THD ที่ดีที่สุดของวงจรอยู่ที่กระแสไบอัส $I_{B1}=200\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่า THD = 1.5154% ที่การกำเนิดสัญญาณ 14.2kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาเมื่อปรับค่ากระแส I_{B1}

จากรูปที่ 4.14 เป็นค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาของวงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1} = 20\text{-}200\mu\text{A}$ โดยใช้ค่าตัวเก็บประจุ 3 ค่า คือ 0.2nF , 2nF และ 20nF โดยใช้ตัวต้านทานมีค่า $R = 400\Omega$ ในการจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งพบว่า

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 0.2nF ที่กระแสไบอัส $I_{B1} = 20 - 200\mu\text{A}$ ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา คือ 1.3550% ถึง 4.1420% วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเดรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาที่ดีที่สุดที่กระแสไบอัส $130\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเดรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา ที่ -1.3550%

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 2nF ที่กระแสไบอัส $I_{B1} = 20 - 200\mu\text{A}$ ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา คือ 2.0872% ถึง 5.5103% วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเดรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาที่ดีที่สุดที่กระแสไบอัส $20\mu\text{A}$ วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายน์แบบควอเดรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาที่ คือ 2.0872%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ตัวเก็บประจุ 20nF ที่กระแสไบอัส $I_{B1} = 20 - 200\mu A$ ค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา คือ 4.6942% ถึง 9.8901% วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศา ที่ดีที่สุดที่กระแสไบอัส 20 μA วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นำเสนอการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเรเจอร์ โหมดกระแสที่สามารถควบคุมเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้ อีกระจากันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยอุปกรณ์ที่แอกทีฟชื่อว่า CCCDTA เป็นอุปกรณ์หลักที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ จากนั้นใช้โปรแกรม PSPICE มาทดสอบสมรรถนะของวงจรถูกออกแบบไว้แล้วจึงนำวงจรถูกได้สังเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอสรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะของงานวิจัยดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ผลการทดสอบสมรรถนะและผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ กำหนดให้ วงจรทำงานที่แหล่งจ่ายไฟ ± 2.5 โวลต์ มีการดึงกำลังงาน 0.85mW เมื่อ $I_{B1}=50\mu\text{A}$ และ $I_{B2}=122\mu\text{A}$, $C_1=C_2=0.2\text{nF}$ อีกทั้งวงจรสามารถปรับค่าความถี่ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยปรับกระแสไบอัส I_{B1} ในช่วง $20\mu\text{A} - 200\mu\text{A}$ เมื่อ ตัวเก็บประจุ 0.2nF สามารถปรับค่าความถี่ในช่วง $1.212\text{MHz} - 3.123\text{MHz}$ ที่ตัวเก็บประจุ 2nF สามารถปรับค่าความถี่ในช่วง $138.014\text{kHz} - 405.051\text{kHz}$ และที่ตัวเก็บประจุ 20nF สามารถปรับค่าความถี่ในช่วง $14.20\text{kHz} - 41.600\text{kHz}$

เมื่อพิจารณาผลการจำลองการทำงานค่าความต้านทานที่เอาต์พุตสูง เมื่อปรับค่ากระแสไบอัสของ $I_{B1}=50\mu\text{A}$ และความต้านทานภายใน 400Ω โดยที่จุดเอาต์พุต I_{OUT1} และ I_{OUT2} ของวงจรมีความต้านทานเท่ากับ $5.1268\text{k}\Omega$ และ $7.0146\text{k}\Omega$ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการจำลองการทำงานในกรณีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดทางฮาร์โมนิกส์รวม (THD) พบว่าค่า THD ของ I_{OUT1} และ I_{OUT2} เมื่อต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ 0.2nF , 2nF , 20nF และตัวต้านทาน $R=400\Omega$ พบว่าที่ตัวเก็บประจุ 0.2nF ค่า THD ของ I_{OUT1} ต่ำที่สุดคือ 0.2958% ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 2.713MHz เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ และ ค่า THD ของ I_{OUT2} ต่ำที่สุดคือ 0.1281% ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 2.713MHz ที่ตัวเก็บประจุ 2nF ค่า THD ของ I_{OUT1} ต่ำที่สุดคือ 0.2958% ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 138.014kHz เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ และ ค่า THD ของ I_{OUT2} ต่ำที่สุดคือ 0.1281% ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 138.014kHz และที่ตัวเก็บประจุ 20nF ค่า THD ของ I_{OUT1} ต่ำที่สุดคือ 2.3367% ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 14.200 kHz เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu\text{A}$ และ ค่า THD ของ I_{OUT2} ต่ำที่สุดคือ 1.3437% ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 18.800 kHz

เมื่อพิจารณาวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ในกรณีหาค่าเฟสของสัญญาณควอเตรเจอร์ พบว่า เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=130\mu A$ และ ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ $0.2nF$ วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาที่ดีที่สุดคือ 1.3550% เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu A$ และต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ $2nF$ วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาที่ดีที่สุดคือ 2.0872% และเมื่อปรับค่ากระแสไบอัส $I_{B1}=20\mu A$ และต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ $2nF$ วงจรสามารถให้ค่าเฟสสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์ที่มีค่าผิดพลาดของมุมต่างเฟสที่เบี่ยงเบนจาก 90 องศาที่ดีที่สุดคือ 4.6942%

5.2 อภิปรายผลงานวิจัย

จากการสรุปผลงานวิจัยการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์โหมดกระแสที่สามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ได้อิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้อุปกรณ์ CCCDTA เป็นอุปกรณ์หลัก โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน บริโภคกำลังไฟฟ้าต่ำ สะดวกในการนำไปต่อคาสเคดในโหมดกระแส ส่งผลให้ง่ายต่อการนำไปพัฒนาสร้างเป็นวงจรรวม

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบงานวิจัยที่นำเสนอกับงานวิจัยซึ่งมีการนำเสนอไว้ดังตารางที่ 5.1 เป็นการเปรียบเทียบกับวงจรกำเนิดสัญญาณชายนที่ได้มีผู้เสนอไว้ในหัวข้อที่แสดงถึงการเลือกใช้อุปกรณ์แอกทีฟและจำนวนอุปกรณ์พาสซีฟที่นำมาใช้ในวงจร ซึ่งพบว่าบางวงจรไม่สามารถให้กำเนิดสัญญาณชายนที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา อีกทั้งไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ บางวงจรเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไม่สามารถปรับได้อิสระจากกัน รวมทั้งมีจำนวนอุปกรณ์แอกทีฟที่ใช้มีจำนวนมากกว่า 2 ตัว บางวงจรใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำไปพัฒนาสร้างเป็นวงจรรวม อีกทั้งจำนวนอุปกรณ์พาสซีฟที่ใช้มีจำนวนมากกว่า 3 ตัว

วงจรกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเตรเจอร์โหมดกระแสที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นสามารถสรุปจุดเด่นดังต่อไปนี้

1. ใช้อุปกรณ์อุปกรณ์แอกทีฟ คือ CCCDTA จำนวน 1 ตัว
2. ใช้วงจรตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์ ทุกตัวทำให้สะดวกต่อการนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม
3. สามารถควบคุมเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อิสระจากกัน อีกทั้งยังสามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์
4. วงจรให้กำเนิดสัญญาณเอาต์พุตมีเฟสต่างกัน 90 องศา เรียกอีกอย่างว่า สัญญาณแบบควอเตรเจอร์
5. ค่าความต้านทานที่เอาต์พุตสูงสามารถนำไปขับโหลดได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ ที่มีผู้นำเสนอไว้ก่อนนั้นทำการแสดงและเปรียบเทียบคุณสมบัติกับงานที่ได้มีการนำเสนอด้แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณชายน์ที่มีการนำเสนอไว้กับงานวิจัยที่นำเสนอ

อ้างอิง	ประเภทอุปกรณ์แอกทีฟที่ใช้	จำนวนอุปกรณ์แอกทีฟ	ตัวเก็บประจุกราวด์ทุกตัว	จำนวนอุปกรณ์พาสซีฟ (R+C)	ปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์	สัญญาณเอาต์พุตมีเฟสต่างกัน 90องศา	CO และ FO ปรับอิสระจากกัน	ความต้านทานที่เอาต์พุตสูง
Abuelma'atti 1991 : 353-355	CCCII +OTA	1+3	×	0+2	✓	×	×	×
Horng, et. al. 2004 : 81-92	CCII	3	✓	3+3	×	✓	✓	×
Keskin and Biolk 2006 : 214-218	CDTA	2	×	4+2	×	✓	×	✓
Bhaskar, et. al. 2008 : : 257-259	CDTA	1	×	2+2	×	✓	✓	×
Horng, et. al. 2009 : 1-5	CDTA	3	✓	10+3	✓	✓	✓	✓
Tanjaroen and Tangsiraat 2009 : 307-310	CDTA	3	✓	0+2	✓	✓	✓	✓
Kumbun, et. al. 2009: 4-7	CC-CFA	2	×	0+2	✓	✓	✓	✓
Lahiri, et. al. 2009 : 135-140	CDTA	2	✓	1+2	×	✓	✓	✓
Prasertsom, et. al. 2010 : 187-191	CDBA	2	✓	3+2	✓	✓	✓	×
Tangsirat, et. al. 2010 : 363-366	CDTA	3	✓	0+3	✓	✓	✓	✓
Kumngern, et. al. 2010 : 740-743	CCCII	2	✓	0+2	×	×	✓	×
Horng, et. al. 2010 : 326-330	CDTA	3	✓	0+3	✓	✓	✓	✓
Bhaskar, et. al. 2011 : 65-73	OTA	3	✓	0+2	✓	✓	✓	✓
Na Songkla, et. al. 2011 : 212-215	CCCII	3	✓	1+2	✓	✓	✓	✓
Summart, et. al. 2012 : 14-17	OTA	4	✓	0+2	✓	✓	✓	✓
Panit,et. et.al. 2013 : 665-668	CCCFTA	2	✓	0+2	✓	✓	✓	✓
Pathak,et.al. 2015 : : 1-13	CDBA	2	×	3+2	✓	×	✓	✓
งานวิจัยที่นำเสนอ	CCCDTA	1	✓	1+2	✓	✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

ในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้วงจรถ่ายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสควรมีการการออกแบบและทดลองต่อวงจรจริงเพื่อนำมาทดสอบสมรรถนะเทียบกับผลการจำลองการทำงานและที่ได้วิเคราะห์ไว้ในทางทฤษฎี

สำหรับในอนาคตเพื่อพัฒนางานวิจัยครั้งต่อไป สามารถที่จะพัฒนางานกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสให้มีสมรรถนะที่สูงขึ้นโดยมีแนวทางดังนี้ การปรับโคมกำลังงานของวงจรต่ำลง วงจรใช้แรงดันในการทำงานที่ต่ำกว่ากว่าเดิม และทางด้านการสังเคราะห์และออกแบบวงจรโดยประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์แอคทีฟ คือ CCCDTA ลดโครงสร้างของอุปกรณ์ให้น้อยลงกว่าเดิม เพื่อลดปัญหาค่า α , β และ γ ให้มีค่าเข้าใกล้กับ 1 มากที่สุด ทำให้ลดผลกระทบจากความผิดพลาดในการส่งผ่านกระแสและแรงดันจากอินพุตไปยังเอาต์พุตด้วย และผลกระทบจากความจุแฝง และความต้านทานแฝง อีกทั้งอาจพัฒนาออกแบบโดยใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปเพียงตัวเดียว และควรใช้อุปกรณ์พาสซีฟจำนวนน้อยหรือไม่มีอุปกรณ์พาสซีฟเลย หรือใช้ CMOS ในการทำวิจัยครั้งต่อไป เพราะง่ายต่อการสร้างเป็นวงจรรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประกาศคณะกรรมการอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

คณะกรรมการอุตสาหกรรม โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2557 ให้ดำเนินการดังนี้

นายภคพล ปิ่นแก้ว รหัสประจำตัว 53630617 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชานน์ควอดเรเจอร์โหมดที่ระแอสอย่างง่ายที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ (Design of Simple Current Mode Quadrature Sinusoidal Oscillator with Electronic Controllability)” โดยมี ดร.วินัย ใจกล้า เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประกาศ ณ วันที่ ๕ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

(รองศาสตราจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คำสั่งคณะกรรมการอุดมศึกษา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ 493 / 2556

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและ
เค้าโครงวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบสำรอง ของนายภคพล ปิ่นแก้ว

เพื่อให้การเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ ของนายภคพล ปิ่นแก้ว รหัสประจำตัว 53630617 หลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและ
ประสิทธิภาพจึงแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อปรึกษาและพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ดังต่อไปนี้

1. คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.วินัย ไชกล่า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

2. คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์ ประธานกรรมการ
ดร.วินัย ไชกล่า กรรมการ
รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ กรรมการ
รศ.ปิยะ ศุภมิตร กรรมการ
ดร.ภุมร ศิลาพันธ์ กรรมการ (กรรมการภายนอก)

3. คณะกรรมการสอบสำรอง

นอ.ดร. วีระชัย เขาวังเน็ด กรรมการ (อาจารย์บัณฑิตพิเศษ)
ดร.ไพฑูริย์ พวงวงศ์ตระกูล กรรมการ (อาจารย์บัณฑิตประจำ)

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2556

(รองศาสตราจารย์ วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
รักษาการแทนคณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายภคพล ปิ่นแก้ว
วัน-เดือน-ปีเกิด	25 เมษายน 2517
สถานที่เกิด	จังหวัด ปราจีนบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 92 หมู่ 4 ตำบลบางทราย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2536 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี ปีการศึกษา 2538 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์ วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี ปีการศึกษา 2546 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) คณะวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต มหาบัณฑิต (ค.อ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครุอัตราจ้าง วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี พ.ศ. 2545-ปัจจุบัน
ประวัติการทำงาน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้