

การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบเคออสติกในการสื่อสารข้อมูล

ENCODING AND DECODING OF CHAOTIC SIGNAL IN DATA COMMUNICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50140

วันเดือนปี 21 ต.ย. 2547

b.....

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบเคออสติกในการสื่อสารข้อมูล

ENCODING AND DECODING OF CHAOTIC SIGNAL IN DATA COMMUNICATION

โดย

นางสาวรัชพร นาคปทุมสวัสดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์

รศ.ดร. สุวิพล ลิทธิชีวะภาค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบเคออสติกในการสื่อสารข้อมูล

Encoding and decoding of chaotic signal in data communication

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ธนัชพร นาคปทุมสวัสดิ์ 42010141


.....
(รศ.ดร.สุวิมล สิทธีวิภาค)

อาจารย์ที่ปรึกษา


.....
(ผศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบเคออสติกในการสื่อสารข้อมูล
Encoding and decoding of chaotic signal in data communication

โดย น.ส. ธนัชพร นาคปทุมสวัสดิ์ 42010141

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สุวิพล สิริธิชิวภาค
และ ผศ. เกียรติกร วงศ์โรจน์ภรณ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการสื่อสารในรูปแบบใหม่โดยใช้สัญญาณเคออสติก การสื่อสารโดยใช้สัญญาณเคออสติกนี้จะช่วยในเรื่องของระบบความปลอดภัยของข้อมูลที่ต้องการส่ง ที่เครื่องส่ง สัญญาณข้อมูลจะทำการมอดูเลตกับพารามิเตอร์ในเคออสติกออสซิลเลเตอร์ ส่วนเครื่องรับจะทำการซิงโครไนซ์สัญญาณเคออสติก ซึ่งในโครงการนี้มีการเพิ่มส่วนของฟิลเตอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับการกู้สัญญาณข้อมูลกลับคืนมา

Abstract

In this project, a new approach for communication using chaotic signals is presented. In this approach, the transmitter contains a chaotic oscillator with a parameter that is modulated by an information signal. The receiver consists of a synchronous chaotic subsystem augmented with a nonlinear filter for recovering the information signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 สัญญาณเคออสติก(chaotic signal) คืออะไร	2
2.2 วงจรชู (Chua's circuit)	3
2.3 การวิเคราะห์ห้วงจรชู	4
2.4 พฤติกรรมทั่ว ๆ ไป ของวงจรชู	7
บทที่ 3 หลักการคำนวณและการสร้าง	12
3.1 การวิเคราะห์ห้วงจรชู	13
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	21
4.1 เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตมาอมอดูเลต	22
4.2 เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสดตรง	24
4.3 เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสดสลับ	27
4.4 ทดสอบการซิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ	29
4.5 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับ	31
4.6 สภาวะทั่ว ๆ ไป ของวงจรชู	43
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	46
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรชู	3
2.2 วงจรเสมียนชู	3
2.3 แสดงคุณลักษณะทางกระแส-แรงดันไฟฟ้า (current-voltage characteristic) ของ N_R	4
2.4 วิเคราะห์คุณลักษณะของความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น	4
3.1 แผนภาพของการสื่อสารที่ใช้สัญญาณเคออดิกในแบบที่ใช้การมอดูเลตพารามิเตอร์	9
3.2 วงจรที่เครื่องส่ง	14
3.3 วงจรที่เครื่องรับ	15
4.1 ภายนอกของอุปกรณ์เครื่องส่ง	21
4.2 ภายในของอุปกรณ์เครื่องส่ง	21
4.3 คลื่นพาห์ขณะไม่มีสัญญาณมอดูเลต	22-24
4.4 คลื่นพาห์ขณะที่ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง	25-26
4.5 คลื่นพาห์ขณะที่ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ	27
4.6 ภายนอกของอุปกรณ์เครื่องรับ	28
4.7 ภายในของอุปกรณ์เครื่องรับ	28
4.8 การซิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ	29-30
4.9 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz ขนาด 2 Vpp	31
4.10 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณแรมพ์ความถี่ 500 Hz ขนาด 2 Vpp	32
4.11 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 100 Hz ขนาด 2 Vpp	33
4.12 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณแรมพ์ความถี่ 100 Hz ขนาด 2 Vpp	34
4.13 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 10 Hz ขนาด 2 Vpp	35
4.14 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณแรมพ์ความถี่ 10 Hz ขนาด 2 Vpp	36
4.15 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz ขนาด 5 Vpp	37
4.16 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณแรมพ์ความถี่ 500 Hz ขนาด 5 Vpp	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.17 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz ขนาด 1 Vpp	39
4.18 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณแรมพ์ความถี่ 500 Hz ขนาด 1 Vpp	40
4.19 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 10 Hz ขนาด 5 Vpp	41
4.20 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณแรมพ์ความถี่ 10 Hz ขนาด 5 Vpp	42
4.21 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: จุดสมดุลและฮอปฟ์ไบเฟอว์เรชั่น	43
4.22 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สไปรัลแอทแทรกเตอร์(1)	43
4.23 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สไปรัลแอทแทรกเตอร์(2)	44
4.24 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: ดับเบิลสกรอลแอทแทรกเตอร์(1)	44
4.25 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: ดับเบิลสกรอลแอทแทรกเตอร์(2)	45
4.26 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: ขอบเขตวิฤติ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปฏิญญานีพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการสื่อสารโดยใช้สัญญาณเคออดิก ซึ่งมีลักษณะของสัญญาณไม่เป็นเชิงเส้น ไม่หยุดนิ่ง และไม่เป็นที่ตามกฎเกณฑ์ทั่วไป เกิดขึ้นเป็นสภาวะเฉพาะที่แทรกอยู่ในกลไกทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปด้วยเงื่อนไขต่างๆ เราอาศัยการเกิดสภาวะเฉพาะดังกล่าวนี้มาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่เป็นความลับ ขาดต่อการคาดเดาหรือถอดรหัสข้อมูลไปใช้ได้

จุดประสงค์ของปฏิญญานีพนธ์นี้คือการนำหลักการของสัญญาณเคออดิกมาทำเป็นเครื่องส่งและเครื่องรับที่สามารถกู้สัญญาณข้อมูลจากสัญญาณเคออดิกกลับคืนมาได้

ในปฏิญญานีพนธ์จะประกอบด้วยหลักการการทำงานของเครื่องส่งที่จะทำการผสมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณเคออดิกแล้วส่งออกไป เป็นการสร้างความยากในการถอดรหัสสัญญาณข้อมูล และหลักการการทำงานของเครื่องรับซึ่งสามารถถอดรหัสสัญญาณข้อมูลดังกล่าวนี้ได้เนื่องด้วยเพราะทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องส่ง ส่วนของการทดลองจะทำการวิเคราะห์ทั้งทางการจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ และชิ้นงานทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัญญาณเคออสติก(chaotic signal) คืออะไร

เคออส(chaos) เป็นคำสงวนไว้สำหรับการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ หรือไม่ เป็นระเบียบของ ระบบ การเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้น(nonlinear dynamic) ที่ แทรกอยู่ในภาวะ คงที่(steady state)

ด้วยลักษณะของคำว่าของเคออส นี้เป็นการกล่าวถึงสิ่งที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ หรือไม่ เป็นระเบียบ จึงมีการนำคำดังกล่าวมาใช้พรรณนารูปแบบของคลื่นที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ไม่หยุดนิ่ง และ ไม่เป็นไปตามกฎเกณฑ์ทั่วไป

สัญญาณเคออสติก คือสัญญาณที่มีลักษณะเป็นแบบเคออส หรือตามรูปแบบศัพท์ที่ใช้ใน ภาษาอังกฤษก็คือ “เคออสติก” เป็นคำคุณศัพท์ของ” เคออส” ซึ่งเป็นคำนาม

คุณสมบัติที่สำคัญของสัญญาณเคออสติก 3 ประการ คือ

1. มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเริ่มต้น (Sensitive to initial condition) เมื่อมี การเปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้นของระบบสมการของซุ เพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้สัญญาณที่ออกมา ได้นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก

เนื่องจาก ในทางปฏิบัติ ทำได้ยากที่จะสร้าง 2 ระบบเคออสที่มีค่าพารามิเตอร์ที่ เฉพาะเจาะจง หรือสร้างระบบที่เป็นเคออส 2 ระบบ ที่ซิงโครไนซ์กันเพื่อให้ทราบเจ็ททอริ เหล่านี้ยังคงปิดอยู่ จึงความคิดนี้นำมาสู่ระบบการสื่อสารที่เป็นความลับ ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตบนคลื่นพาห้เคออสติกแบบสุ่ม จะสามารถดีมอดูเลตโดยใช้เครื่องรับที่ซิงโครไนซ์กัน

2. เป็นค่าสุ่มในแกนเวลา (Randomness in the Time domain) เป็นอีกคุณสมบัติของสัญญาณเค ออสติก
3. ค่าพลังงานของสัญญาณมีช่วงความถี่ที่กว้าง (Bandband Power Spectrum)

ข้อดีและข้อเสียของสัญญาณเคออสติก

วงจรมีข้อได้เปรียบคือ:

-วงจรมีไม่จำเป็นต้องใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอก

วงจรมีข้อเสียเปรียบคือ:

-วงจรมีกระทำได้ความถี่เสียง เมื่อวงจรมีนำมาใช้กับสัญญาณที่มีความถี่สูง วงจรจะมีความไวกับ ตัวเก็บประจุในวงจร และทำให้ยากในการออกแบบวงจร

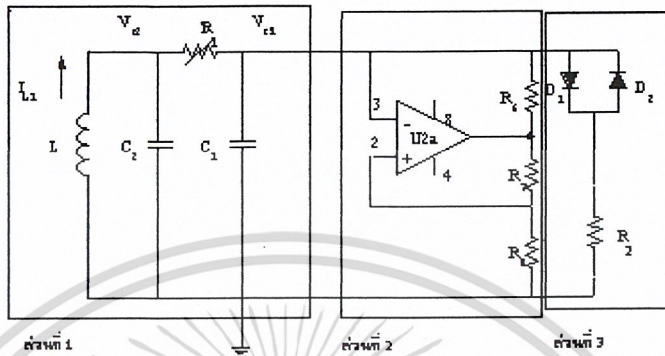
-วงจรมีความไวกับตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรมากเกินไป ยากต่อการปรับค่าตัวแปรหรือการ นำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรชู (Chua's circuit)

ระบบที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นระบบที่ประพัตติตัวไม่เป็นเชิงเส้นและประกอบจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้เป็นอย่างดีก็คือวงจรชู (Chua's circuit)

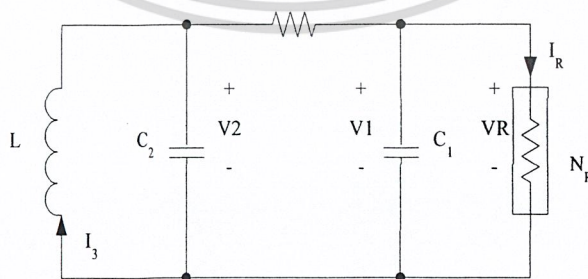
หลักการทํางานของวงจรชู



รูปที่ 2.1 วงจรชู

หลักการทํางานของวงจรประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ
 ส่วนที่ 1 ทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์
 ส่วนที่ 2 ให้กำเนิดค่าความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นลบซึ่งมีขนาด $-R_1$ ส่วนนี้กระทำตัวเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานสำหรับกลไกการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าที่จริง แต่ส่วนนี้ยังเป็นส่วนที่เป็นเชิงเส้นคือไม่ใช่ส่วนที่ให้กำเนิดลักษณะเคออสโดยตรง
 ส่วนที่ 3 ให้ความไม่เป็นเชิงเส้นแก่วงจร ไดโอดทั้ง 2 ตัวทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ามีขนาดใหญ่กว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด (E) จะสวิตช์ค่าความต้านทานจากค่าความต้านทานขนาด $-R_1$ ไปเป็น R_2

ผลกระทบจากส่วนที่ 2 กับส่วนที่ 3 รวมกันต้องให้ค่าความต้านทานแบบไม่ใช่เป็นเชิงเส้นที่เป็นลบของค่า $-R_1$ เมื่อ $V < E$ และ $-R_1 R_2 / (R_2 R_1)$ เมื่อ $V > E$ ดังนั้นผลกระทบรวมของวงจรคือ:

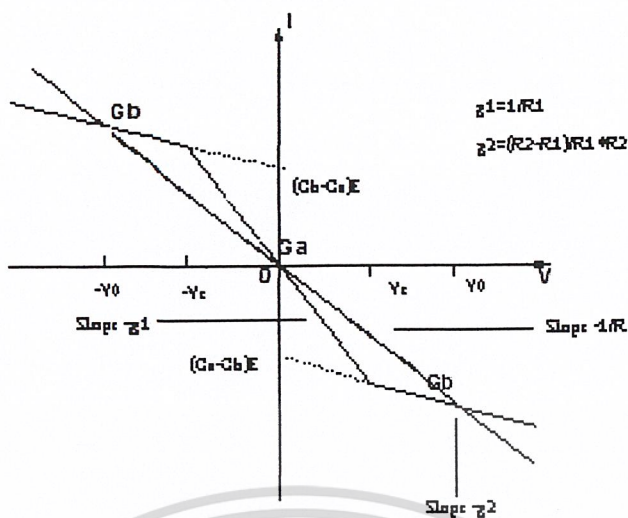


รูปที่ 2.2 วงจรเสมือนชู

ซึ่ง N_R หรือค่าความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น จะแสดงคุณลักษณะทางกระแส-แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

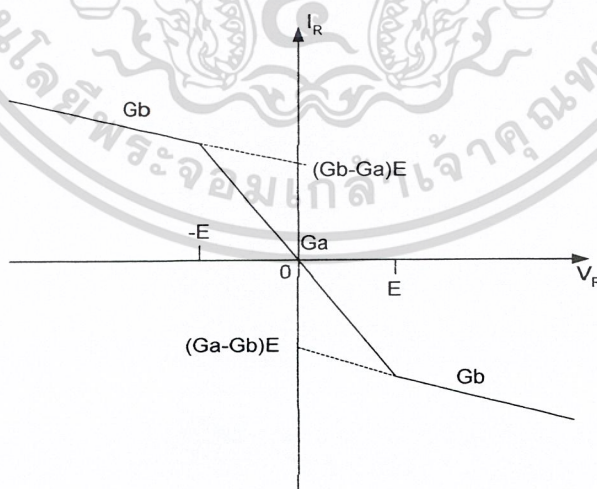


รูปที่ 2.3 แสดงคุณลักษณะทางกระแส-แรงดันไฟฟ้า (current-voltage characteristic) ของ N_R

เฉพาะในวงจรส่วนที่เป็น DC คือทำการเปิดวงจรที่ตัวเก็บประจุและชอร์ตวงจรที่ตัวเหนี่ยวนำ จะเกิดคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น I_0, V_0 มีความชัน(slope) เป็น $-1/R$ เมื่อนำมาพิจารณาเป็นวงจรรวมแล้ว ช่วงค่าที่เหมาะสมของ L, C_1, C_2 ช่วงหนึ่งจะทำให้วงจรสถานะที่คงที่ในวงจรจะกลายเป็นไม่มีเสถียรภาพ ในการออสซิลเลตและเกิดกลไกที่เป็นสถานะเคออส กล่าวคือวงจรโดยปกติ จะมีค่า I_0, V_0 ที่คงที่ค่าหนึ่ง ทำการปรับค่า L, C_1, C_2 ให้อยู่ในสถานะเคออสจะเกิดการเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาคือจากค่าบวกกลายเป็นค่าลบ สลับไปมาในทั้ง I_0 และ V_0

2.3 การวิเคราะห์ห้วงจร

จากวงจร ดังรูปที่ 2.1 ทำการวิเคราะห์โดยมองเป็นวงจรดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีคุณลักษณะของความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.3 นำค่าความชันมากำหนดตัวแปรดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิเคราะห์คุณลักษณะของความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น

ทำการวิเคราะห์จะได้ 3 สมการของระบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dI_3}{dt} = -\frac{1}{L}V_2$$

$$\frac{dV_2}{dt} = \frac{1}{C_2}I_3 - \frac{G}{C_2}(V_2 - V_1)$$

$$\frac{dV_1}{dt} = \frac{G}{C_1}(V_2 - V_1) - \frac{1}{C_1}f(V_1) = \begin{cases} \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G_b}{C_1}V_1 - \left(\frac{G_b - G_a}{C_1}\right)E & \text{ถ้า } V_1 < -E \quad (1) \\ \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G_a}{C_1}V_1 & \text{ถ้า } -E \leq V_1 \leq E \quad (2) \\ \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G_b}{C_1}V_1 - \left(\frac{G_a - G_b}{C_1}\right)E & \text{ถ้า } V_1 > E \quad (3) \end{cases}$$

เราสามารถแก้ปัญหาระบบสมการทั้ง 3 นี้ได้ โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับพีชคณิตเชิงเส้นและสมการเชิงอนุพันธ์

$$\dot{X}(t) = AX(t) + b, X(0) = X_0,$$

ซึ่ง A เป็นเมทริกซ์ของระบบ(ค่าคงที่) และ b เป็นเวกเตอร์ค่าคงที่, $X(0)$ เป็นทราเจ็คทอรีที่มีเริ่มต้นจากสถานะเริ่มต้น X_0 ดังนั้น จุดสมดุล X_Q ของระบบนี้คือ

$$X_Q = -A^{-1}b,$$

ถ้ามี A^{-1} แสดงว่ากลไกการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าใกล้กับจุดสมดุล X_Q ซึ่งถูกควบคุมเฉพาะที่โดยระบบเชิงเส้น

$$\dot{x}(t) = Jx(t)$$

J บ่งบอกถึงเมทริกซ์ของระบบ A ในกรณีของระบบที่เป็นเชิงเส้น

ให้ค่าตัวแปรไอเก้น $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ของ J ถูกจำกัด ดังนั้นคำตอบของสมการ $\dot{x}(t)$ จะอยู่ในรูป

$$x(t) = C_r \exp(\gamma t) \vec{\xi}_\gamma + 2c_c \exp(\sigma t) [\cos(\omega t + \phi_c) \vec{\eta}_r - \sin(\omega t + \phi_c) \vec{\eta}_i]$$

เมื่อ γ เป็นตัวแปรไอเก้นที่เป็นจำนวนจริง ซึ่งมี 1 ค่า, $(\omega t + \phi_c)$ เป็นตัวแปรไอเก้นจำนวนเชิงซ้อนซึ่งเป็นสังยุคกัน มี 2 ค่า

เราให้ $x_r(t)$ เป็นคำตอบสมการส่วนที่อยู่ในระนาบจำนวนจริง

และ $x_c(t)$ เป็นคำตอบสมการส่วนที่อยู่ในระนาบจำนวนเชิงซ้อน

$$x_r(t) = c_r \exp(\gamma t) \vec{\xi}_\gamma$$

$$x_c(t) = 2c_c \exp(\sigma t) [\cos(\omega t + \phi_c) \vec{\eta}_r - \sin(\omega t + \phi_c) \vec{\eta}_i]$$

ถ้า $\gamma > 0$, $x_r(t)$ จะเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วในทิศทางของระนาบจำนวนจริง, ถ้า $\gamma < 0$, $x_r(t)$ จะลดลง

เป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $\phi > 0$ และ ω ไม่เท่ากับศูนย์, $x_c(t)$ หมุนเป็นเกลียววนออกจากจุดเสถียรภาพผ่านระนาบเชิงซ้อน ,
 ถ้า $\phi < 0$, $x_c(t)$ จะหมุนเป็นเกลียววนเข้าสู่จุดเสถียรภาพผ่านระนาบเชิงซ้อนเช่นกัน
 ถ้า $|V_1| > E$ (ช่วงขอบเขตนอก) D-1,D1

$$\begin{aligned} \frac{dl_3}{dt} &= -\frac{1}{L}V_2 \\ \frac{dV_2}{dt} &= \frac{1}{C_2}I_3 - \frac{G}{C_2}(V_2 - V_1) \\ \frac{dV_1}{dt} &= \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G_a}{C_1}V_1 \end{aligned}$$

จะได้ ค่า แจกโคเบียนเมตริกซ์ ซึ่งใช้พิจารณาความเสถียรภาพของจุดเสถียรภาพและกลไกการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าในช่วงขอบเขตนอก

$$J_{Fb} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} & 0 \\ \frac{1}{C_2} & -\frac{G}{C_2} & \frac{G}{C_2} \\ 0 & \frac{G}{C_1} & -\frac{G'_b}{C_1} \end{bmatrix}$$

ซึ่งค่าตัวแปรไอเกิน ที่แสดงสมการลักษณะเฉพาะคือ

$$\lambda^3 + \left(\frac{G}{C_2} + \frac{G'_b}{C_1}\right)\lambda^2 + \left(\frac{1}{LC_2} + \frac{GG'_b}{C_1C_2}\right)\lambda + \frac{G'_b}{LC_1C_2} = 0$$

ทำการแก้สมการ เมื่อเราทราบค่า G จะได้คำตอบของสมการคือค่าตัวแปรไอเกิน 3 ค่า
 เมื่อ γ เป็นตัวแปรไอเกินที่เป็นจำนวนจริง ซึ่งมี 1 ค่า, $(\omega t + \phi_c)$ เป็นตัวแปรไอเกินจำนวนเชิงซ้อนซึ่งเป็นสังยุคกัน มี 2 ค่า พิจารณาดังนี้

ถ้า $\gamma > 0$, $x_r(t)$ จะเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วในทิศทางของระนาบจำนวนจริง จะเป็นค่าตัวแปรไอเกินที่ไม่เสถียร, ถ้า $\gamma < 0$, $x_r(t)$ จะลดลงเป็นศูนย์ จะเป็นค่าตัวแปรไอเกินที่เสถียร

ถ้า $\phi > 0$ และ ω ไม่เท่ากับศูนย์, $x_c(t)$ หมุนเป็นเกลียววนออกจากจุดเสถียรภาพผ่านระนาบเชิงซ้อน จะเป็นค่าตัวแปรไอเกินที่ไม่เสถียร, ถ้า $\phi < 0$, $x_c(t)$ จะหมุนเป็นเกลียววนเข้าสู่จุดเสถียรภาพผ่านระนาบเชิงซ้อน จะเป็นค่าตัวแปรไอเกินที่ไม่เสถียร

ถ้า $|V_1| \leq E$ (ช่วงขอบเขตกลาง) D0

$$\begin{aligned} \frac{dl_3}{dt} &= -\frac{1}{L}V_2 \\ \frac{dV_2}{dt} &= \frac{1}{C_2}I_3 - \frac{G}{C_2}(V_2 - V_1) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dV_1}{dt} = \frac{G}{C_1} V_2 - \frac{G'_b}{C_1} V_1 - \frac{I'}{C_1}$$

จะได้ ค่า แจคโคเบียนเมตริกซ์ ซึ่งใช้พิจารณาความเสถียรภาพของจุดเสถียรภาพและกลไกการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าในช่วงขอบเขตกลาง

$$J_{F_s} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} & 0 \\ \frac{1}{C_2} & -\frac{G}{C_2} & \frac{G}{C_2} \\ 0 & \frac{G}{C_1} & -\frac{G'_a}{C_1} \end{bmatrix}$$

ซึ่งค่าตัวแปรไอเก้น ที่แสดงสมการลักษณะเฉพาะคือ

$$\lambda^3 + \left(\frac{G}{C_2} + \frac{G'_a}{C_1} \right) \lambda^2 + \left(\frac{1}{LC_2} + \frac{GG'_a}{C_1 C_2} \right) \lambda + \frac{G'_a}{LC_1 C_2}$$

พิจารณาดังนี้

ถ้า $\gamma > 0$, $x_r(t)$ จะเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วในทิศทางของระนาบจำนวนจริง จะเป็นค่าตัวแปรไอเก้นที่ไม่เสถียร, ถ้า $\gamma < 0$, $x_r(t)$ จะลดลงเป็นศูนย์ จะเป็นค่าตัวแปรไอเก้นที่เสถียร

ถ้า $\phi > 0$ และ ω ไม่เท่ากับศูนย์, $x_c(t)$ หมุนเป็นเกลียววนออกจากจุดเสถียรภาพผ่านระนาบเชิงซ้อน จะเป็นค่าตัวแปรไอเก้นที่ไม่เสถียร, ถ้า $\phi < 0$, $x_c(t)$ จะหมุนเป็นเกลียววนเข้าสู่จุดเสถียรภาพผ่านระนาบเชิงซ้อน จะเป็นค่าตัวแปรไอเก้นที่ไม่เสถียร

2.4 พฤติกรรมทั่ว ๆ ไป ของวงจรของซู

การเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของวงจรของซูสามารถตรวจสอบได้โดยเอาสนามเวกเตอร์ 3 มิติของขอบเขต D-1, D0 และ D1 มารวมกัน จุดสมมูลของวงจรทั้งหมดคือ

$$\begin{aligned} 0 &= -\frac{1}{L} V_2 \\ 0 &= \frac{1}{C_2} I_3 - \frac{G}{C_2} (V_2 - V_1) \\ 0 &= \frac{G}{C_1} (V_2 - V_1) - \frac{1}{C_1} I_R \end{aligned}$$

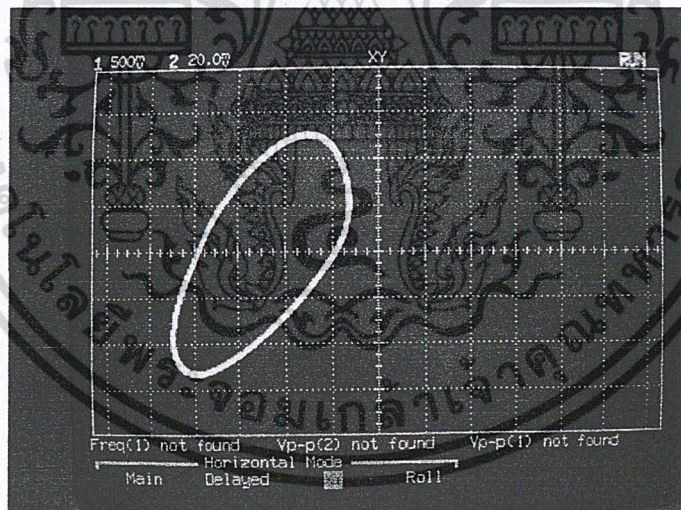
จุดสมมูลและฮอปฟ์ไบเฟอร์เค้น เมื่อ R มีค่ามาก (2000 โอห์ม) จุดสมมูล ณ ขอบเขตนอก (P- และ P+) จะเสถียร ($\gamma < 0$, $\phi < 0$ และ ω ไม่เท่ากับศูนย์) ส่วนจุดสมมูล ณ ขอบเขตใน(0) จะไม่เสถียร ($\gamma > 0$, $\phi < 0$ และ ω ไม่เท่ากับศูนย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของวงจร สมมติให้จุดสมดุลเริ่มต้นอยู่ที่ขอบเขตนอก (P-) จุดสมดุลจะมีค่าตัวแปรไอเก้นเป็นจำนวนจริงลบ 1 ค่า และคู่จำนวนเชิงซ้อนที่เป็นสังยุคกัน โดยมีค่าของส่วนที่จำนวนจริงเป็นลบทั้ง 2 ค่า การแสดงออกของค่าตัวแปรไอเก้นที่เป็นจำนวนจริงลบดังกล่าวจะบิบบัลดทราเจ็คทอรรีลงจนถ่วงน้ำหนักไอเก้นเชิงซ้อน

เมื่อลดค่า R ลงทีละน้อย ส่วนที่เป็นจำนวนจริงของคู่จำนวนเชิงซ้อนจะเปลี่ยนจากค่าลบเป็นค่าบวก และจุดสมดุล ณ ขอบเขตนอกจะกลายเป็นไม่เสถียร คือ ϕ ผ่านจุด 0 เรียกว่า ฮอฟฟ์ไบเฟอร์เคชั่น ซึ่งยังคงค่าตัวแปรไอเก้นที่เป็นจำนวนจริงลบ ดังนั้น ทราเจ็คทอรรีในขอบเขต D1 จะเข้าสู่ระนาบเชิงซ้อน โดยเป็นเกลียวออกจากจุดสมดุล P+ ผ่านระนาบเชิงซ้อน จนกระทั่งมีการแบ่งระนาบ U1 เกิดขึ้นและเข้าสู่ขอบเขตใน

จุดสมดุล ณ จุดศูนย์กลางในขอบเขตในมีคู่จำนวนเชิงซ้อนที่เป็นสังยุคกันที่ไม่เสถียรและค่าตัวแปรไอเก้นเป็นจำนวนจริงที่ไม่เสถียร ทราเจ็คทอรรีซึ่งเข้ามาที่ขอบเขตในบนระนาบเชิงซ้อนจะถูกดึงเข้าสู่จุดศูนย์กลางผ่านระนาบนี้ ทราเจ็คทอรรีซึ่งเข้าสู่ขอบเขตในจากขอบเขตนอก D1 ภายใต้อิทธิพลของระนาบไอเก้นด้วยกันจะข้ามผ่านไปสู่อีกด้าน D-1 ซึ่งเป็นขอบเขตอีกด้าน และวกกลับไปที่ D1 อีกครั้งตามลำดับ สำหรับค่า R ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ ทราเจ็คทอรรีจะวิ่งเป็นเกลียวออกจากจุดสมดุล ณ ขอบเขตนอก P+ ผ่านระนาบเชิงซ้อน และเข้าสู่ขอบเขตใน ภายใต้อิทธิพลของระนาบเชิงซ้อน และวกกลับไปที่ D1 ผลลัพท์จักรจำกัด(limit circle) ที่เสถียร 1 วงวัฏจักร

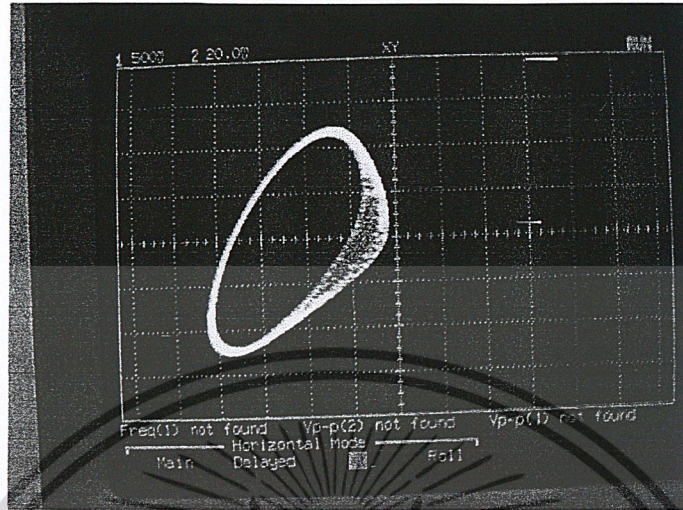


รูปที่ 2.5 จุดสมดุลและฮอฟฟ์ไบเฟอร์เคชั่น

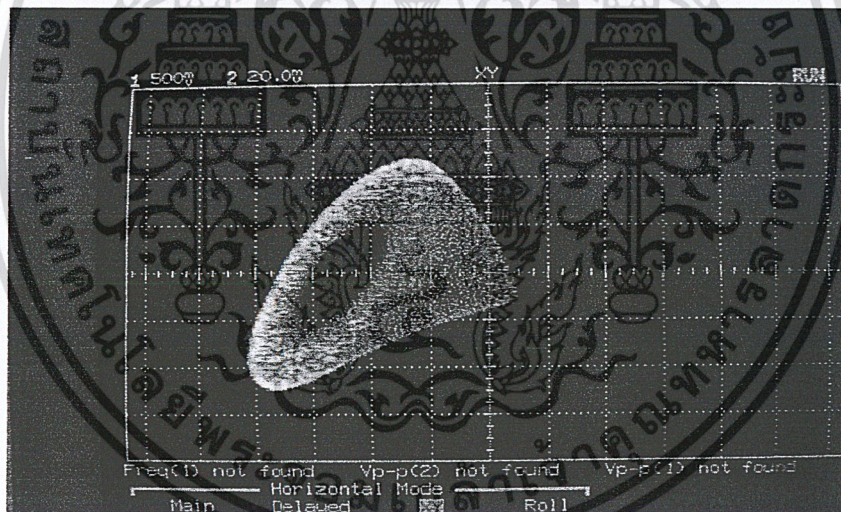
การเพิ่มวงวัฏจักรเป็นเท่าตัว ; เมื่อลดค่า R ลงไปอีก จะเกิด 2 วงวัฏจักร ขึ้น วงวัฏจักรจำกัดจะปิดตัวเองหลังจากสร้างวงวัฏจักร P+ ถึง 2 ครั้ง เพราะว่าทราเจ็คทอรรีนำเอาเวลาเพื่อที่จะทำให้อะไหล่ปิดโดยสมบูรณ์ถึง 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดค่า R ลงไปอีกจนกว่าจะเกิดการลดลงเป็นหลั่น ๆ (cascade) ของไฟร์เชนที่วงวัฏจักรเป็นเท่าตัว โดยลงเป็น 4 วง 8 วง 16 วง ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นวงวัฏจักรที่มีจำนวนวงไม่จำกัด ซึ่งเรียกว่า เคออส ซึ่งก็คือ แอทแทรกเตอร์เฉพาะของชุดที่มีลักษณะเป็นเกลียว (spiral-Chua strange attractor)



รูปที่ 2.6ก

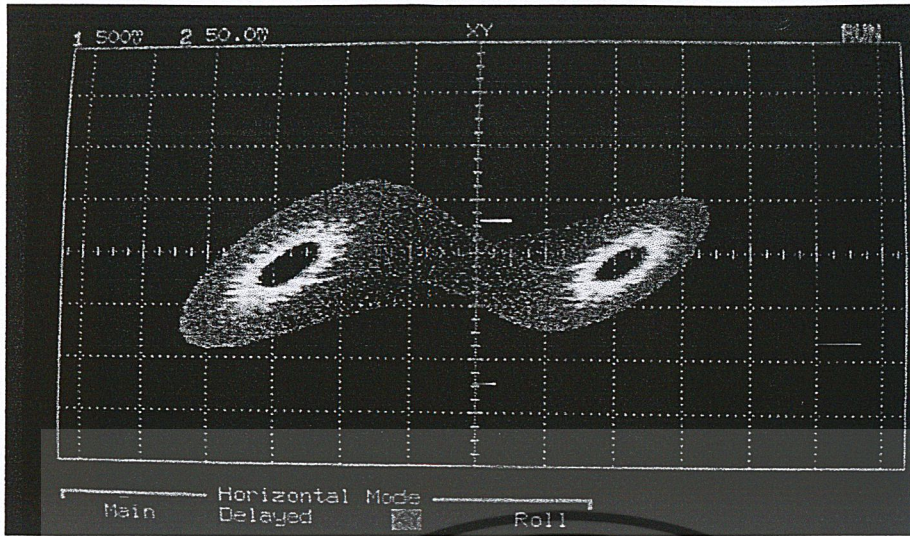


รูปที่ 2.6ข

รูปที่ 2.6 การเพิ่มวงวัฏจักรเป็นเท่าตัว

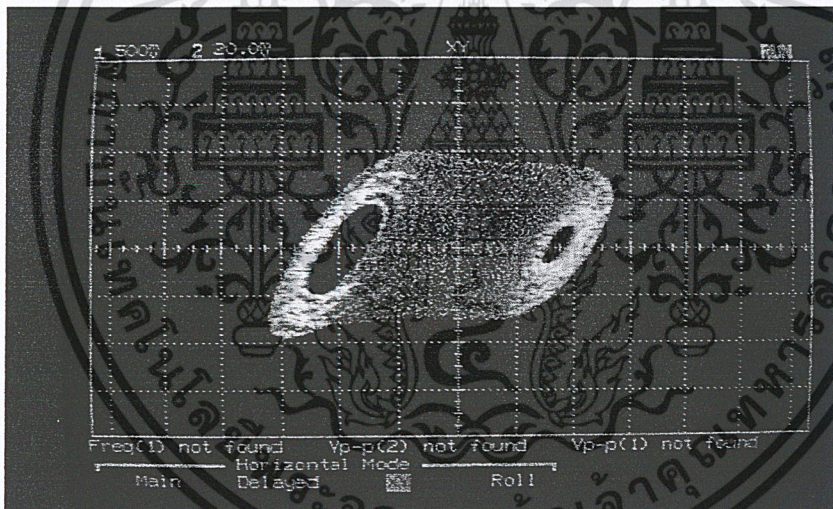
แอทแทรกเตอร์ของชุดที่มีลักษณะเป็น 2 ม้วน (Double-Scroll Chua strange attractor); เพราะว่าเราเลือกใช้ค่า R ที่เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น กับความไม่เป็นเชิงเส้นแบบสมมูล เมื่อลดค่า R ลงไป ทุกๆ แอทแทรกเตอร์ซึ่งกระทำในขอบเขต D1 และ D0 จะมีการทำซ้ำ(เป็นภาพเงา)ในขอบเขต D-1 และ D0 ก็คือเป็น 2 วงม้วนที่มีลักษณะเหมือนกัน เป็นเงาซึ่งกันและกัน มีระยะห่างของ 2 วงม้วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7ก

เมื่อลดค่า R ลงไปอีกจะเกิดการเลื่อนเข้ามาชิดกันของ 2 วงม้วนนี้และค่อยๆรวมกันเป็นแอทแทรกเตอร์ที่มีวงม้วนเดียว



รูปที่ 2.7ข

รูปที่ 2.7 แอทแทรกเตอร์ของซูที่มีลักษณะเป็น 2 ม้วน

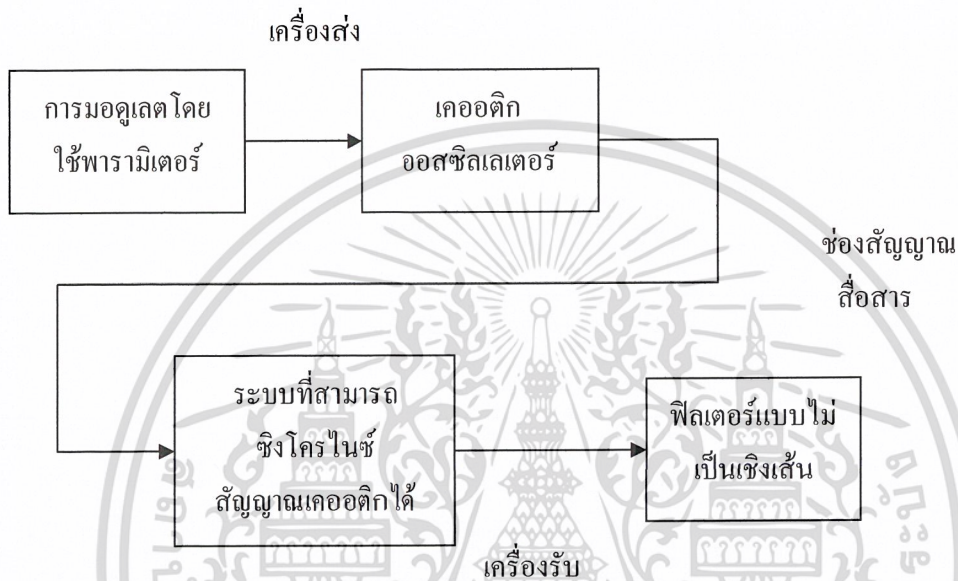
แอทแทรกเตอร์ผ่านขอบของระนาบเชิงซ้อน ในขอบเขตใน เมื่อทราเจ็คทอรีข้ามระนาบ U1 เข้าสู่ขอบเขตใน ภายใต้ระนาบเชิงซ้อนขอบเขตใน มันจะยังคงอยู่ภายใต้ระนาบเชิงซ้อนขอบเขตในและกลับไปที่ยอบเขตนอก D1 ในทางเดียวกัน ถ้าทราเจ็คทอรีข้ามระนาบ U1 ภายใต้ระนาบเชิงซ้อนขอบเขตใน มันจะยังคงอยู่ภายใต้ระนาบเชิงซ้อนขอบเขตในและข้ามไปที่ขอบเขตนอก D-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

หลักการทำงานของเครื่องรับและเครื่องส่งเคออดิก สัญญาณข้อมูลอนาล็อกจะถูกเข้ารหัสที่เครื่องส่งโดยใช้วิธีพารามิเตอร์มอดูเลชัน (Parameter Modulation) โดยที่เครื่องรับ จะประกอบด้วย ระบบที่สามารถซิงโครไนซ์สัญญาณเคออดิกได้ (ทำหน้าที่ซิงโครไนซ์กับเคออสซิลเลเตอร์ ที่เครื่องส่ง) และตัวกรองการดีมอดูเลชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 3.1 แผนภาพของการสื่อสารที่ใช้สัญญาณเคออดิกในแบบที่ใช้การมอดูเลตพารามิเตอร์

ในที่นี้ เราจะใช้สมการทางคณิตศาสตร์เชิงอธิบายทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง จากสมการ ออสซิลเลเตอร์ อันดับที่ 3

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, y, z; \lambda) \\ \dot{y} &= g(x, y, z) \\ \dot{z} &= h(x, y, z) \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่ x, y และ z เป็นค่าสภาวะของระบบ

λ เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งในระบบ และ t เป็นตัวแปรอิสระ

ในสมการ (1) เราจะสมมุติให้ระบบนี้เป็นเคออดิกซึ่งเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปตามค่า λ

ระบบในสมการที่ (1) เปรียบได้กับเครื่องส่งในรูปที่ 3.1 สำหรับระบบที่สามารถประสานจังหวะ

จะอยู่ในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$y_r = g(x, y_r, z_r) \quad (2)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{z}_r = h(x, y_r, z_r)$$

โดยที่สถานะ x จาก ระบบขับเคลื่อน (1) จะถูกส่งมาที่เครื่องรับ ซึ่งมีค่าสถานะ y_r และ z_r ในสมการที่ (2) มีค่าเข้าใกล้ สถานะเริ่มต้น y และ z ในระบบที่ (1) เราอาจจะพูดได้ว่าเป็น r ระบบย่อยที่เครื่องรับ (2) ซึ่งโครไนซ์กับระบบขับเคลื่อน (1)

นอกจากนี้ยังได้ระบุเงื่อนไขของการซิงโครไนซ์ไว้ด้วย โดยใช้พื้นฐานของ Lyapunov Exponent Subsystem เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่อยู่ในเครื่องรับ

ระบบขับเคลื่อน (1) และ ระบบที่สามารถซิงโครไนซ์ (2) มีจุดที่แตกต่างกัน คือ พารามิเตอร์ λ

ในระบบย่อย (2) พารามิเตอร์ λ จะไม่มีผลกับระบบเลย ซึ่งจุดนี้เป็นส่วนสำคัญของวิธีที่เราใช้ โดยที่จะสมมุติให้พารามิเตอร์นี้ให้เหมาะสมที่จะใช้ในการมอดูเลตสัญญาณเคออดิก เราให้ λ เป็นค่าฟังก์ชันที่แทนข้อมูลที่ต้องการจะส่ง

$$\lambda = \lambda(t) \quad (3)$$

ในสมการ (3) เราจะกำหนดให้ λ ไม่ไปรบกวนกับ underlying structure ของระบบขับเคลื่อน (1) และสมการ (3) เปรียบเหมือนอินพุตที่ส่งเข้าไปในเครื่องส่งในรูปที่ 3.1

หลักการที่ใช้พิจารณาว่า λ เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (แบบอุดมคติ) จะใช้ในการมอดูเลตมีอยู่ 2 ข้อคือ

1. เนื่องจาก λ ไม่มีผลกับระบบย่อย (2) ทำให้เครื่องรับสามารถที่จะทำการปรับค่าให้ได้อย่างเหมาะสม (Perfectly tune) กับเครื่องส่งได้ โดยไม่คำนึงถึงการมอดูเลต ถ้าให้ระบบย่อย (2) มีค่าพารามิเตอร์ λ อยู่ ก็จะทำให้เกิดการผิดพลาด (mismatch) ของพารามิเตอร์ได้ ซึ่งความผิดพลาดนี้จะทำให้เกิดผลเสียกับเครื่องรับ เป็นผลให้คุณภาพของการสื่อสารลดลง
2. สมการ x ใน ระบบ (1) ไม่มีอยู่ในระบบย่อย (2) ทำให้เราสามารถที่จะดิมมอดูเลตสัญญาณที่เครื่องรับได้ ขั้นตอนแรกของการดิมมอดูเลตสัญญาณสามารถทำได้โดย

$$\lambda = f^{-1}\left(x, y_r, z_r; \dot{x}\right) \quad (4)$$

λ เป็นข้อมูล สมการ (4) ได้จาก ระบบ (1)

โดยที่ f^{-1} แทน ฟังก์ชันผกผัน (inverse function) ที่ใช้แก้สมการ x เพื่อหาพารามิเตอร์ λ ตามหลักการแล้ว เรารู้ค่าส่วนที่อยู่ทางขวามือของสมการ (4) ทำให้ค่า λ สามารถประมาณค่าออกมาได้ แต่ในทางปฏิบัติวิธีนี้ จะทำให้เกิดผลเสีย 2 อย่างคือ

1. ค่า x ในสมการ (4) ได้จากการประมาณค่า x ที่เครื่องรับทำให้มีความผิดพลาด เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปเซประยะชันดานการค่าสัญญาณรบกวนในระบบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกพิมพ์ใหม่ให้ทันต่อเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตวิกฤติ ; ลดค่า R ลงไปไกลกว่าขอบเขตของเคออส ทราเจ็คทอรีทั้งหมดจะกลายเป็นไร้

ขอบเขต



รูปที่ 2.8 ขอบเขตวิกฤติ

*แอทแทรกเตอร์ คือคำตอบสมการสถานะคงตัวของระบบไดนามิก แอทแทรกเตอร์จะเรียกว่าเคออสติก ถ้าแอทแทรกเตอร์ดังกล่าว ประกอบด้วย ทางโคจรโฮโมคลินิกที่ไขว้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฟังก์ชันผกผัน (f^{-1}) จะมีข้อผิดพลาดที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อค่า x ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในระบบการสื่อสารของเราคือฟิลเตอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear filter) ซึ่งจะใช้ในการคิมอดูเลตสัญญาณ (3) และหลีกเลี่ยงปัญหาทั้งสองอย่างที่ได้อธิบายไปแล้ว เมื่อมีฟิลเตอร์ที่ ระบบ (1) จะถูกกำหนดโดยให้ f เป็น เชิงเส้น ในช่วง λ นั่นคือ

$$f(x, y, z; \lambda) = f_0(x, y, z) + \lambda f_1(x, y, z) \quad (5)$$

โดยที่สมการ (5) นี้สามารถที่จะแก้ได้ ถ้าเราให้ f ไม่เป็นเชิงเส้น โดยสมมุติให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่า λ น้อยๆ ซึ่งจากข้อสรุปนี้ทำให้เราสามารถที่จะประมาณค่า λ จากสมการ (4) ได้ง่ายขึ้นคือ

$$\lambda = \frac{x^* - f_0(x, y_r, z_r)}{f_1(x, y_r, z_r)} \quad (6)$$

ซึ่งสมการ (6) นี้จะเกิดข้อผิดพลาด ก็คือเมื่อ $f_1 = 0$ เท่านั้น กระบวนการที่จะออกแบบฟิลเตอร์ ที่มีประสิทธิภาพในการคิมอดูเลต จะเริ่มต้นโดยใช้ประโยชน์จากสมการ x ในระบบ (1) ซึ่งไม่ปรากฏในระบบย่อย (2) จากสมการ (5) จะได้สมการแรกของ (1) เป็นดังสมการ

$$x^* = f_0(x, y_r, z_r) + \lambda f_1(x, y_r, z_r) \quad (7)$$

จะเห็นว่าต้องใช้การอินทิเกรต เพื่อกำจัด x ออกไป แต่เราก็ไม่จำเป็นต้องรู้เงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) ของระบบเพื่อที่จะอินทิเกรต โดยเราจะใช้วิธีบวก เทอมดีเคย์ (decay term) kx เข้าไป ทั้งสองข้างของสมการ (7) และคูณด้วย integration factor e^{kt} จะได้

$$\frac{d}{dt}(xe^{kt}) = e^{kt} [f_0(x, y_r, z_r) + \lambda f_1(x, y_r, z_r) + kx] \quad (8)$$

ในที่นี้ค่า k เป็นค่าคงที่อาร์บิทารี (arbitrary constant) ซึ่งเราสามารถปรับเพื่อให้ได้เอาที่พหุของคิมอดูเลตฟิลเตอร์ที่ดีขึ้น เมื่อเราอินทิเกรตจากจุด $t_0 - t$ และหารด้วยตัวคูณอินทิเกรต (integration factor) จะได้

$$-x_0 e^{k(t_0-t)} = \int_{t_0}^t [f_0(x, y_r, z_r) + kx] e^{k(\tau-t)} d\tau + \int_{t_0}^t \lambda f_1(x, y_r, z_r) e^{k(\tau-t)} d\tau \quad (9)$$

โดยที่ K_0 คือเงื่อนไขเริ่มต้น (x ที่เวลา $t-t_0$) จะเห็นว่า x เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาด้วย แต่ก็เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าเวลาคงที่ (time constant) ใน k ดังนั้น เราสามารถตั้งค่า λ ออกมาจากอินทิเกรตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้เทอมที่มีเงื่อนไขเริ่มต้น (X_0) จะมามีค่าน้อยมากเมื่อ t เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงตัดทิ้งได้ เมื่อเราแก้สมการ (9) และประมาณค่า λ ออกมาจะได้

$$\lambda \frac{x - \varpi_0}{\varpi_1} \quad (10)$$

โดยที่

$$\varpi_0 = \int_{t_0}^t [f_0(x, y_r, z_r) + kx] e^{k(\tau-t)} d\tau \quad (11)$$

และ

$$\varpi_1 = \int_{t_0}^t [f_1(x, y_r, z_r)] e^{k(\tau-t)} d\tau \quad (12)$$

สมการ (10) – (12) นี้จะดีกว่าการประมาณค่าในสมการ (6) ตรงที่ไม่มีค่า x แต่การจะหาค่า ω_0 และ ω_1 นั้นทำได้ไม่ง่ายนัก เราจะอาศัยกฎของ Leibnitz จะสามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการ

$$\begin{aligned} \dot{\varpi}_0 &= f_0(x, y_r, z_r) + kx - k\varpi_0 \\ \dot{\varpi}_1 &= f_1(x, y_r, z_r) - k\varpi_1 \end{aligned} \quad (13)$$

โดยที่เงื่อนไขเริ่มต้น $\omega_{0(t_0)} = 0$ และ $\omega_{1(t_0)} = 0$ ระบบ (13) นี้ จะใช้ในการปฏิบัติมากกว่า (11) และ (12) สมการฟิลเตอร์ ใน (13) นี้จะอยู่ในเครื่องรับในรูปที่ 3.1

ค่าประมาณการตีมอดูเลตในสมการ (10) จะเป็นแบบเดี่ยว(singular) เมื่อ $\omega_1 = 0$ นอกจากนั้น การประมาณยังจะเกิดข้อผิดพลาดได้เมื่อ ω_1 มีค่าน้อยๆ ในทางปฏิบัติแล้วซิงกูลาริตี้ (singularity) ที่เกิดขึ้นนี้จะเหมือน spikes ในการประมาณค่า λ การที่จะเอาส่วน spike นี้ออกไป ฟิลเตอร์แบบกรองความถี่ต่ำผ่าน จะต้องมามีค่าเป็นดังสมการ

$$\lambda_f = q_f (\lambda - \lambda_f) \quad (14)$$

และเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดซิงกูลาริตี้ เราจะให้ฟิลเตอร์พารามิเตอร์ q_f มีค่าเป็น

$$q_f = \frac{q|\omega_1|}{1 + |\varpi_1|} \quad (15)$$

โดยที่ q เป็นค่าคงที่อาร์บิทารี (arbitrary parameter) ซึ่งทำหน้าที่กำหนดค่าคงที่ทางเวลา(time constant) ของฟิลเตอร์ เมื่อรวม (10), (14) และ (15) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_f = \frac{q \operatorname{sgn}(\varpi_1)}{1 + |\varpi_1|} (x - \varpi_0 - \varpi_1 \lambda_f) \quad (16)$$

โดยที่ sgn คือ signum function

ค่า λ_f นี้จะเป็นค่าประมาณของสมการฟิลเตอร์ ที่ใช้หา ตัวแปรมอดูเลชัน (modulation parameter λ) และประกอบอยู่ในสัญญาณที่กู้ (recover) จากการมอดูเลต ดังแสดงในรูปที่ 3.1

สมการฟิลเตอร์ (16) นี้จะเป็นส่วนประกอบสุดท้ายในเครื่องรับที่รูป 3.1

สรุปคือ ระบบ (1) เป็นส่วนประกอบของเครื่องส่งโดยใช้ λ เป็นเงื่อนไขในการมอดูเลต ส่วนระบบซิงโครไนซ์ (2) จะเป็นส่วนของบล็อกแรกของเครื่องรับ และ ระบบ (13) กับ (16) เป็นฟิลเตอร์ที่ออกแบบมาเพื่อคืนมอดูเลตสัญญาณ ซึ่งการหาข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสไว้ จะทำโดยใช้ตัวแปรมอดูเลชัน λ

3.1 การวิเคราะห์โดยใช้วงจรของชู

ตัวอย่างของระบบสื่อสารนี้จะมีการใช้ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยซึ่งจะใช้พื้นฐานจากวงจรของ Chua ซึ่งเป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อนมากและเป็นที่ยอมรับในการอธิบายการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear dynamic) และเคออส(chaos)

รูปที่ 3.2 แสดงถึงโครงสร้างของเครื่องส่งซึ่งสามารถอธิบายได้ในเชิงคณิตศาสตร์ โดยระบบของสมการเชิงอนุพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} &= \alpha[y - (1 + \gamma)x - \varphi(x) + \gamma\lambda] \\ \frac{dy}{d\tau} &= x - y + z \\ \frac{dz}{d\tau} &= -\beta y \end{aligned} \quad (23)$$

โดยที่

$$\varphi(x) = ax + \frac{ba}{2} (|x + 1| - |x - 1|) \quad (24)$$

ในระบบ (23) ตัวแปรอิสระ τ จะมีค่าสัมพันธ์กับเวลา t เป็น

$$\tau = \frac{t}{R_5 C_2} \quad (25)$$

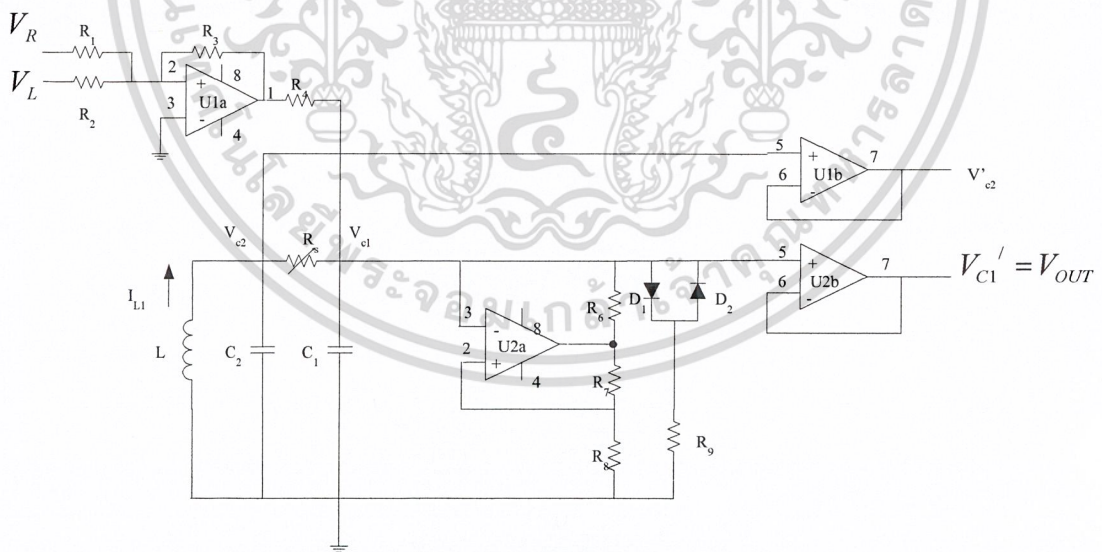
ค่า x, y, z จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{V_{c1}}{V_{on}} \\
 y &= \frac{V_{c2}}{V_{on}} \\
 z &= \frac{R_5 i_{L1}}{V_{on}}
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

โดยที่ V_{on} เป็นค่าความต่างศักย์ที่คร่อมไดโอดในขณะที่เป็นการฟอร์เวิร์ดไบแอส (forward bias) และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{C_2}{C_1} \\
 \beta &= \frac{R_5^2 C_2}{L_1} \\
 \gamma &= \frac{R_5}{R_4} \\
 a &= \frac{R_5}{R_2} - \frac{R_5 R_7}{R_6 R_8} \\
 b &= \frac{R_5 R_7}{R_6 R_8}
 \end{aligned}
 \tag{27}$$



รูปที่ 3.2 วงจรที่เครื่องส่ง

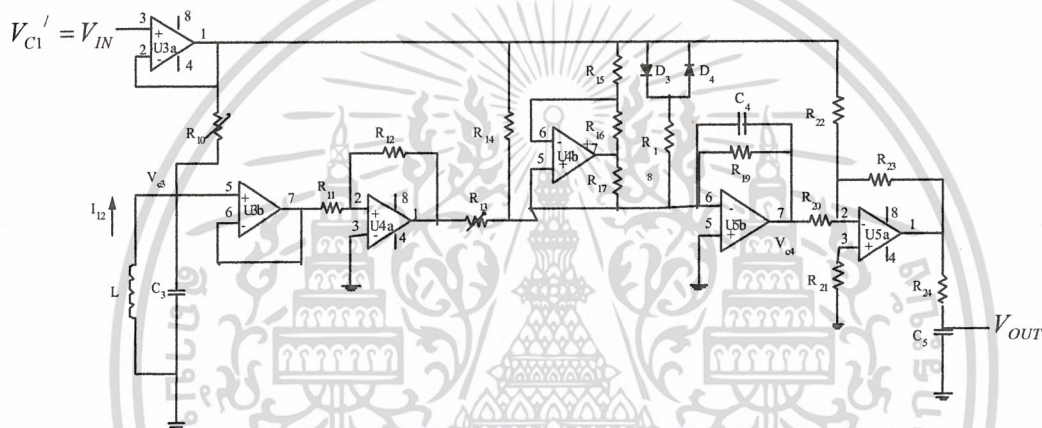
อินพุตของการมอดูเลตจะเป็น

$$\lambda = \frac{R_3}{V_{on}} \left(\frac{v_{IN}}{R_2} \right)
 \tag{28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ศูนย์การเรียนรู้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ v_{IN} เป็นสัญญาณอินพุตของสัญญาณสเตรียโอทั่วไป (เช่นเครื่องเล่นเทปคาสเสท)
 ส่วนเครื่องรับจะแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยที่สมการระบบเป็น

$$\begin{aligned} \frac{dy_r}{d\tau} &= x - y_r + z_r \\ \frac{dz_r}{d\tau} &= -\beta y_r \\ \frac{d\omega_0}{d\tau} &= \alpha [y_r (1 + \gamma) \phi(x)] + kx - k\omega_0 \\ \frac{d\lambda_f}{d\tau} &= q_f \left[\frac{\omega_0 - x}{\lambda} - \lambda_f \right] \end{aligned} \tag{29}$$



รูปที่ 3.3 วงจรที่เครื่องรับ

และเนื่องจากรูปแบบของการมอดูเลชั่นนี้ ทำให้สมการของ ω_1 (ที่ปรากฏในสมการ (13)) สามารถหาคำตอบได้โดยการวิเคราะห์หว่า $\omega_1 \sim (1/\gamma)$ เมื่อ $\tau \rightarrow \infty$ ดังนั้นสมการนี้จึงไม่จำเป็นใน (29) และรูปแบบ (14) สามารถใช้แทน (16) ได้สำหรับสมการสุดท้ายใน (29)

ในสมการ (29) ค่าต่างๆ จะเป็น

$$\begin{aligned} y_r &= \frac{vc_3}{V_{on}} \\ z_r &= \frac{R_5 i_{L2}}{V_{on}} \\ \omega_0 &= \frac{vc_4}{V_{on}} \\ \lambda_f &= \frac{V_{c5}}{\gamma V_{on}} \end{aligned} \tag{30}$$

ค่าคงที่ฟิลเตอร์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $k = \alpha$ ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจะให้เกิดความเข้าคู่กันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับจะต้องให้ค่าต่างๆ เป็นดังนี้

$$L_2 = L_1$$

$$C_3 = C_2$$

$$C_4 = C_1$$

$$R_{10} = R_{13} = R_{19} = R_5$$

$$R_{11} = R_{12}$$

$$R_{14} = R_4$$

$$R_{15} = R_8$$

$$R_{16} = R_7$$

$$R_{17} = R_6$$

$$R_{18} = R_9$$

$$R_{20} = R_{21}$$

$$R_{22} = R_{23}$$

ค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นเงื่อนไขที่จะสามารถแน่ใจได้ว่า เครื่องรับและเครื่องส่งมีการสัมพันธ์กัน ในทางปฏิบัติแล้วค่า R_5 จะถูกปรับเพื่อให้ได้คลื่นพาห้ซึ่งเป็นสัญญาณเคออดิกที่เหมาะสม ดังนั้น R_5 จะเป็นค่า ที่ปรับได้ และเช่นเดียวกัน ปรับค่า R_{10} , R_{13} และ R_{19} จะทำให้เราสามารถปรับให้เครื่องรับมี ประสิทธิภาพสูงสุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงค่าในวงจรที่ใช้งานได้จริง ของระบบสื่อสาร ค่าต่างๆ ในวงจรจะมี ความคลาดเคลื่อนที่ 5%

อุปกรณ์	ค่าของอุปกรณ์
L_1, L_2	1.8 mH
C_1, C_4	0.001 μ F
C_2, C_3	0.01 μ F
C_5	0.1 μ F
R_1, R_2, R_{20}, R_{21}	10 k Ω
$R_3, R_4, R_{11}, R_{12}, R_{14}, R_{22}, R_{23}$	12 k Ω
$R_5, R_{10}, R_{13}, R_{19}$	5- k Ω สามารถปรับค่าได้
R_6, R_7, R_{16}, R_{17}	220 Ω
R_8, R_{15}	750 Ω
R_9, R_{18}	1.2 k Ω
R_{24}	3.3 k Ω
U1, U2, U3, U4, U5	TL 082, Dual BiFET Op Amp
D1, D2, D3, D4	IN914, Silicon Diode

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า R, L, C ของส่วนต่างๆ ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

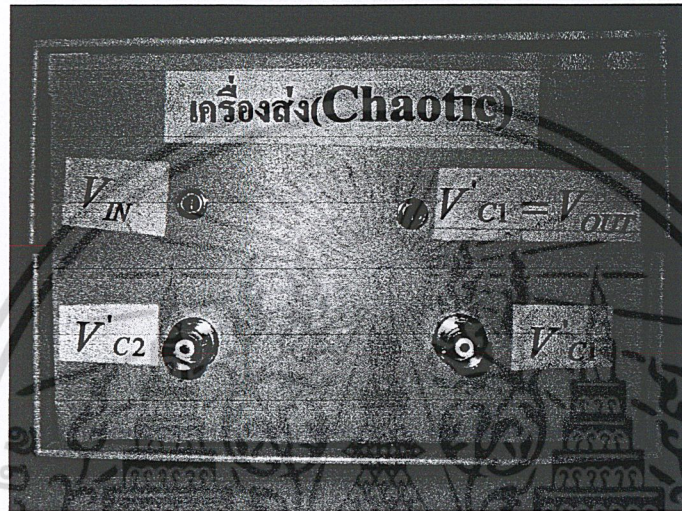
ผลการทดลองจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

- ส่วนของชิ้นงาน(Hardware)

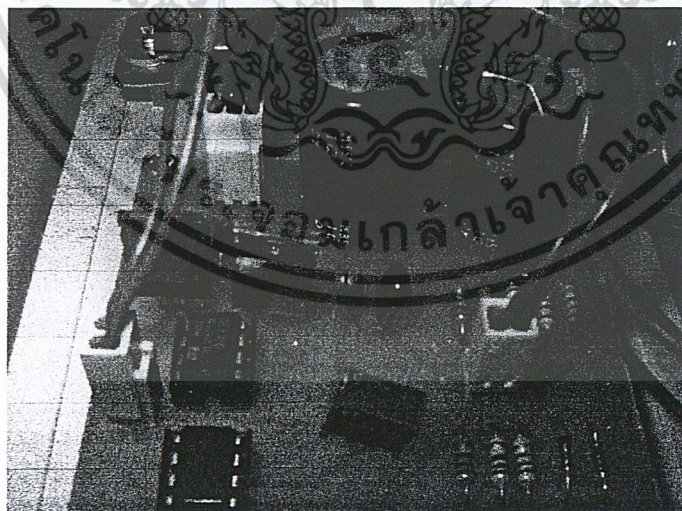
- ส่วนของการจำลองข้อมูล(simulation) ด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์(PSPICE)

จากรูป 4.1 และ 4.2 เป็นลักษณะชิ้นงานของเครื่องส่งที่ประกอบขึ้น การทดลองในส่วน
ของชิ้นงานจะนำชิ้นงานไปทำการทดสอบด้วยเครื่องมือวัดที่เรียกว่าออสซิลโลสโคป(oscilloscope)

เครื่องส่ง



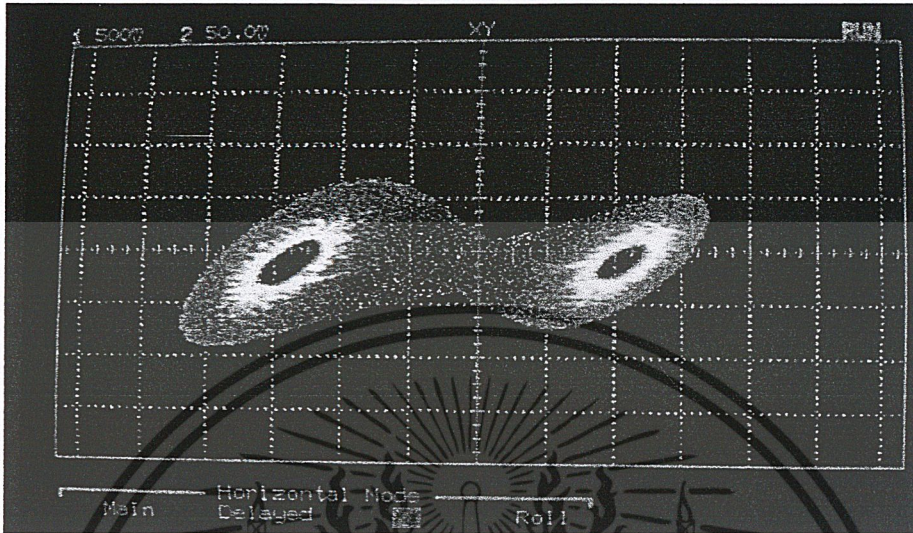
รูปที่ 4.1 ภายนอกของอุปกรณ์เครื่องส่ง



รูปที่ 4.2 ภายในของอุปกรณ์เครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 เมื่อไม่มีสัญญาณมอดูเลต ปรับค่า R_5 จนได้คลื่นพาห์ที่เหมาะสมคืออยู่ในสภาวะเคออสติกดังรูปที่ 4.3 ที่ความถี่ของคลื่นพาห์ 31 kHz ความถี่ที่สเปกคือ 97.66 kHz ช่วงค่า R_5 ที่ปรับได้จะมีค่าระหว่าง 630-638 โอห์ม ลักษณะในรูปเรียกว่าคัมเบิ้ลสกรอลเอ็ทเทรคเตอร์ (double-scroll attractor) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นโลปคู่ (dual-lobe)

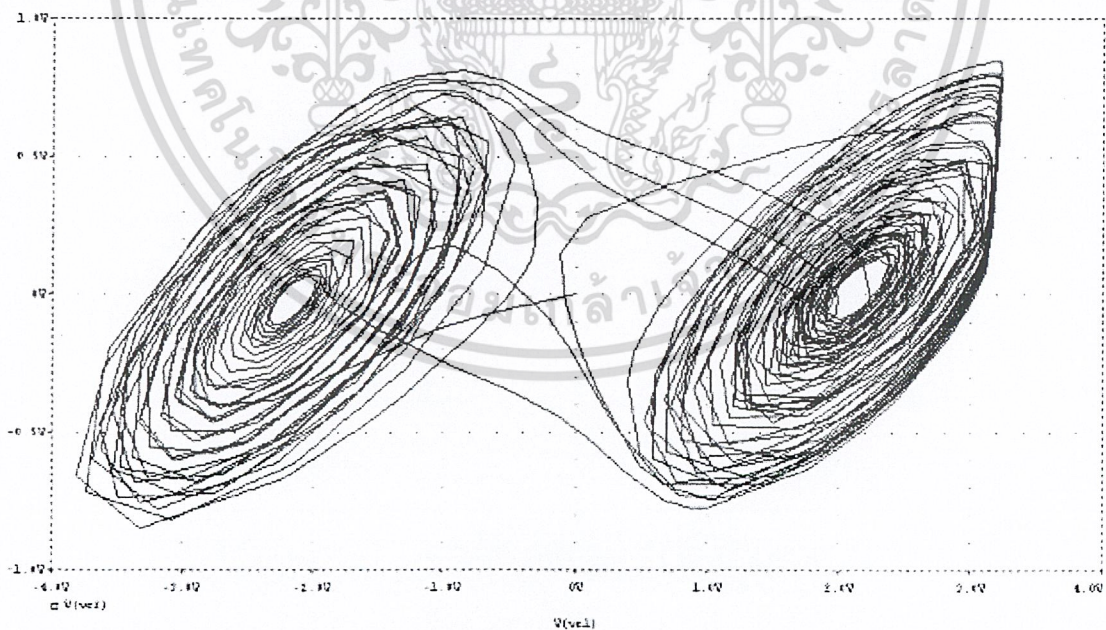


channel 1 หรือ V_{c1} วัดความถี่ได้ 5.475 kHz, ขนาดสัญญาณ 3.78 Vpp

channel 2 หรือ V_{c2} วัดความถี่ได้ 31.94 kHz, ขนาดสัญญาณ 360 mVpp

รูปที่ 4.3.1ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน:ปรับเครื่องมือวัดออสซิลโลสโคป โดย V_{c1} เป็นแกนนอน

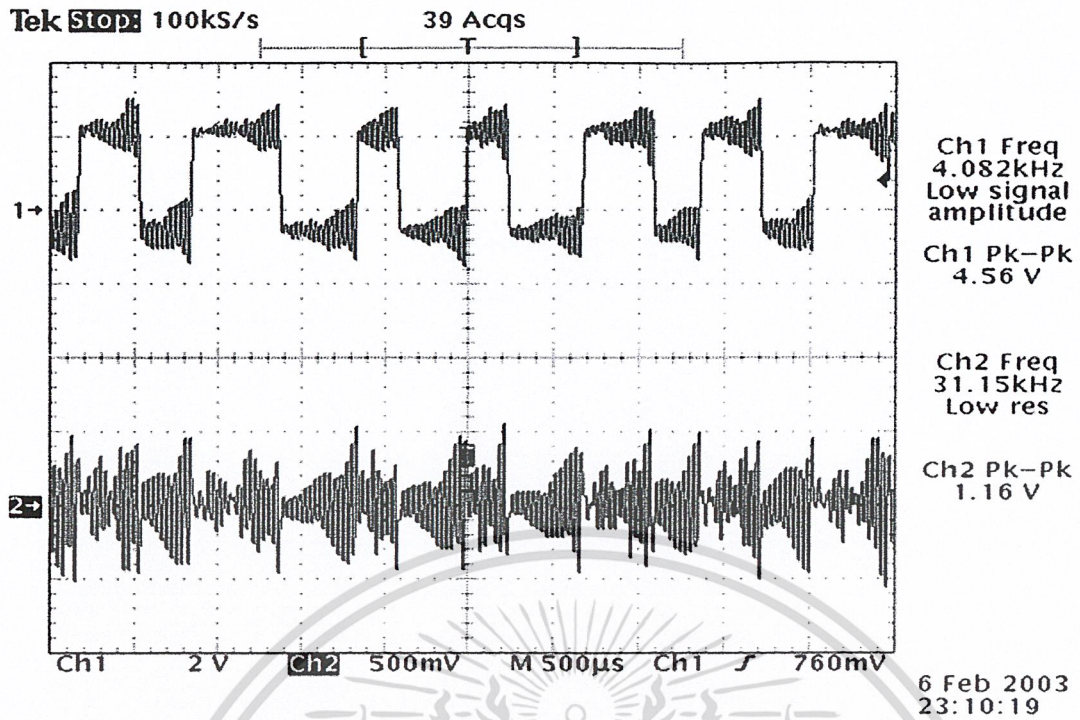
(แกน x), V_{c2} เป็นแกนตั้ง(แกน y)



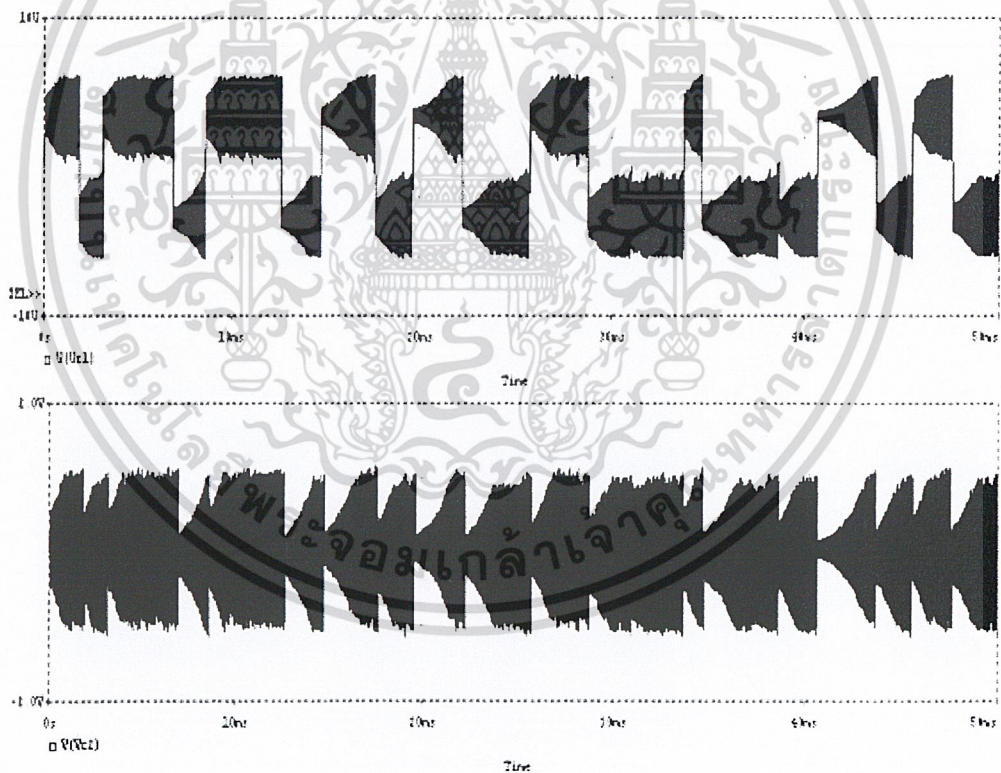
รูปที่ 4.3.1ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

ปรับเครื่องมือวัด โดย V_{c1} เป็นแกนนอน V_{c2} เป็นแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



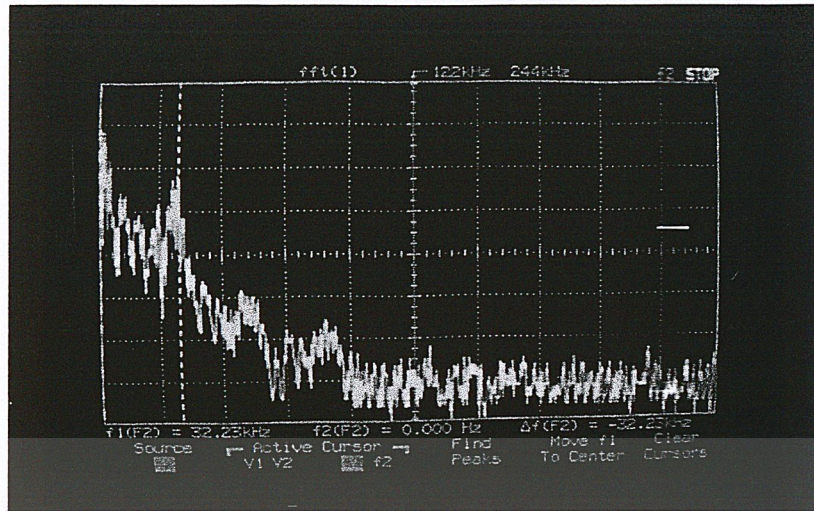
รูปที่ 4.3.2ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{c1} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{c2} ในแกนเวลา



รูปที่ 4.3.2ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

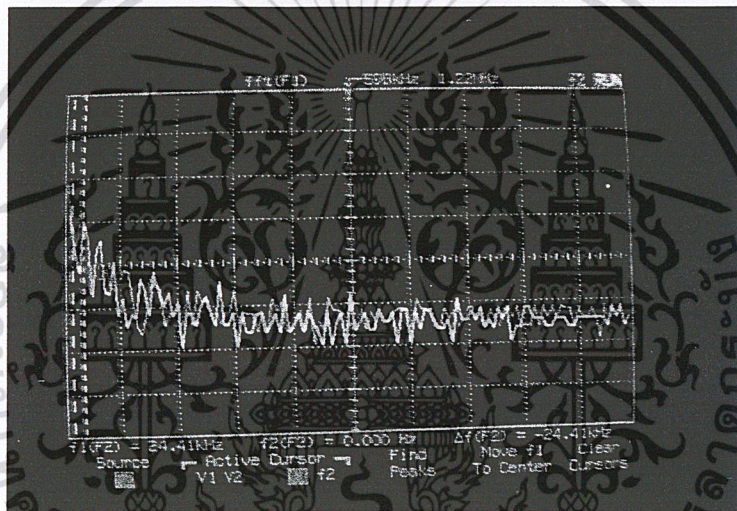
สัญญาณ V_{c1} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{c2} ในแกนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.3 ผลการทดลองจากชิ้นงาน:แสดงค่าพลังงานของสัญญาณ ขณะที่ไม่มีสัญญาณ

มอดูเลต



รูปที่ 4.3.4 ผลการทดลองจากชิ้นงาน:แสดงค่าพลังงานของสัญญาณ ขณะที่มอดูเลต

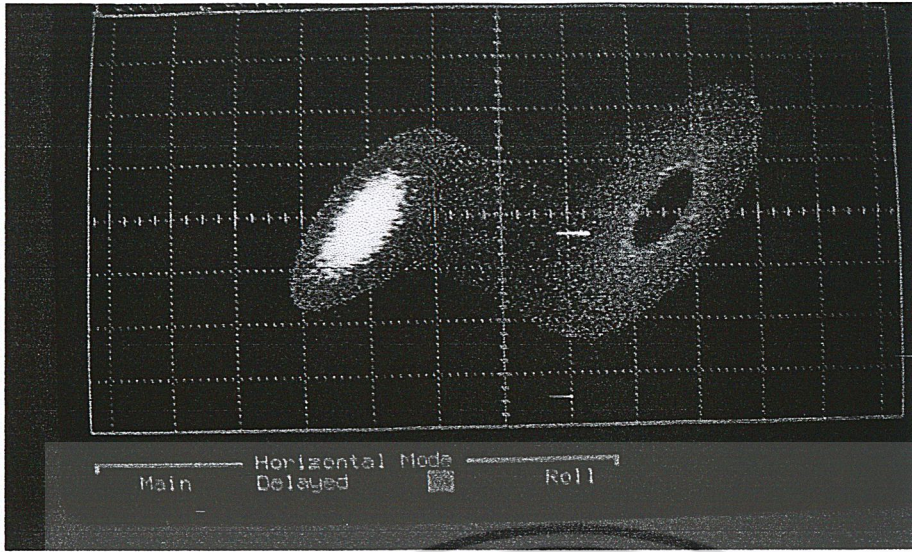
มอดูเลต

รูปที่ 4.3 คลื่นพาห์ขณะที่ไม่มีสัญญาณมอดูเลต

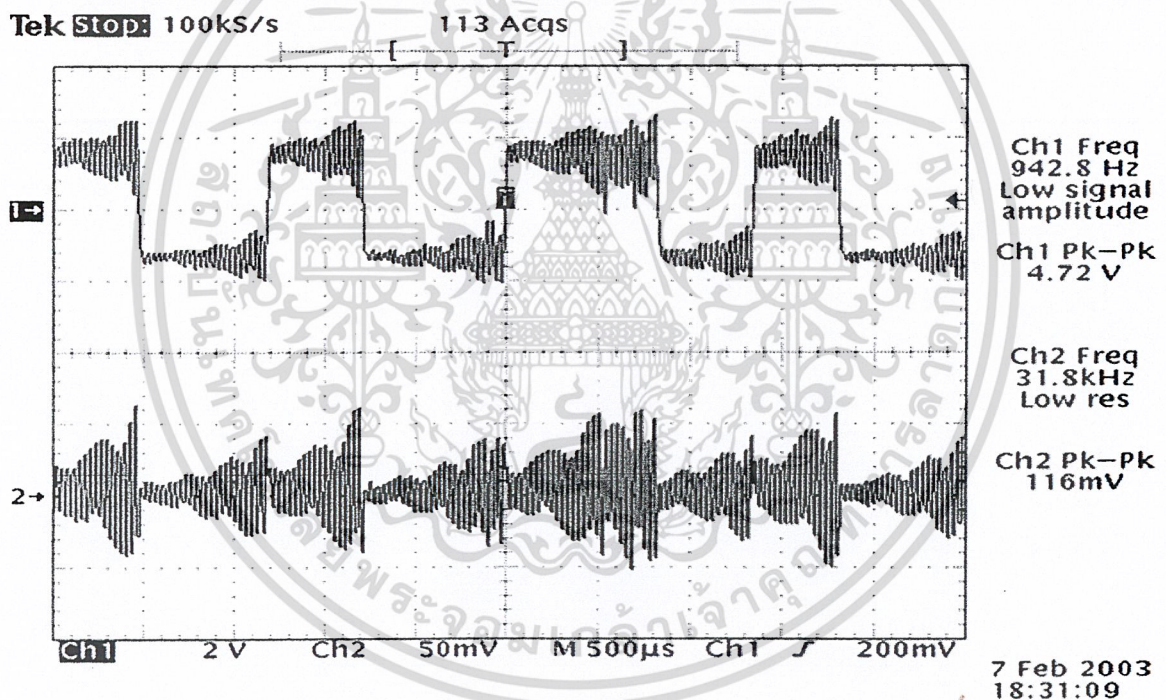
4.2 เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสดตรง แอ็คแทรกเตอร์ที่เกิด(รูปวงกลมที่เกิด)จะเกิดขึ้นไปทางด้านใดด้านหนึ่ง

โดยรูปที่ 4.4.1 เมื่อป้อนสัญญาณไฟกระแสดตรงที่เป็นลบ $V_{IN} = -0.5 \text{ V}$ แอ็คแทรกเตอร์ที่เกิดขึ้นโดยเน้นไปเกิดที่โพลด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.1ก ปรับเครื่องมือวัด โดย V_{c1} เป็นแกนนอน V_{c2} เป็นแกนตั้ง

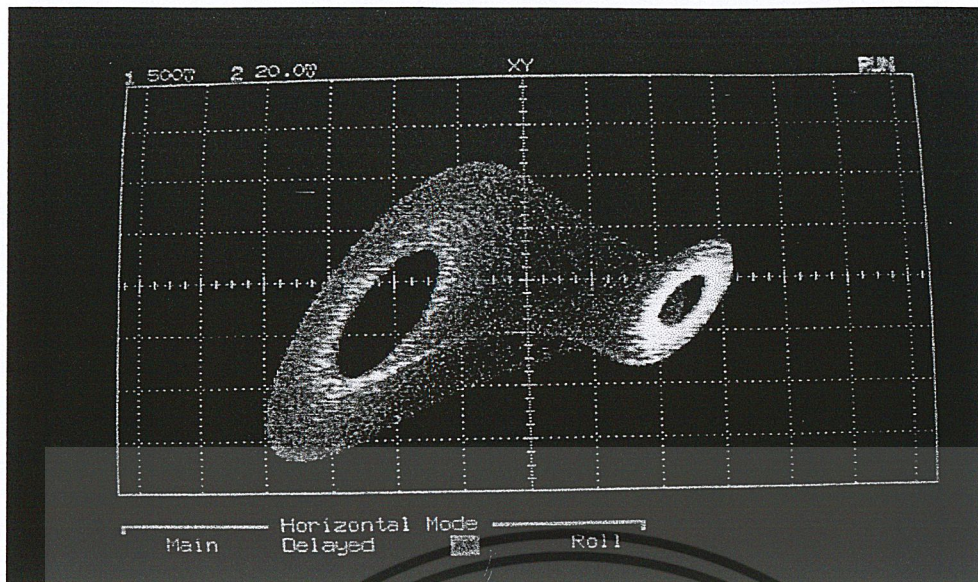


รูปที่ 4.4.1ข สัญญาณ V_{c1} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{c2} ในแกนเวลา

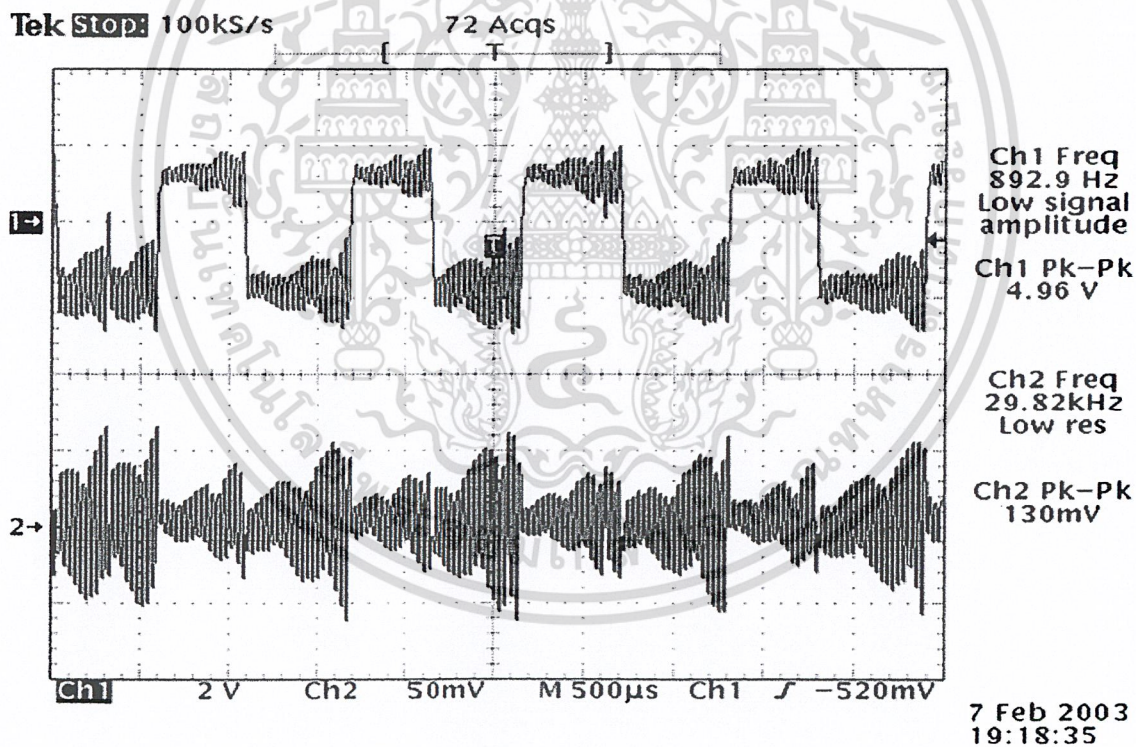
รูปที่ 4.4.1 คลื่นพาห้ขณะที่ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสดตรงที่เป็นลบ

โดยรูปที่ 4.4.2 เมื่อป้อนสัญญาณไฟกระแสดตรงที่เป็นบวก $V_{IN} = +0.5$ V แอ็คเทรคเตอร์
ที่เกิดขึ้นโดยเน้นไปเกิดที่โพลด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.2ก ปรับเครื่องมือวัด โดย V_{c1} เป็นแกนนอน V_{c2} เป็นแกนตั้ง



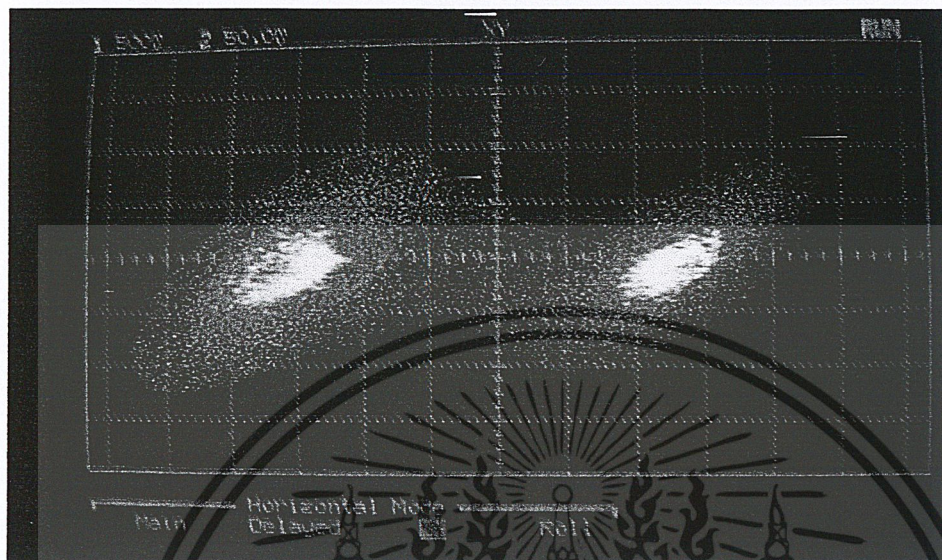
รูปที่ 4.4.2ข ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สัญญาณ V_{c1} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{c2} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.4.2 คลื่นพาห้ขณะที่ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสดตรงที่เป็นบวก

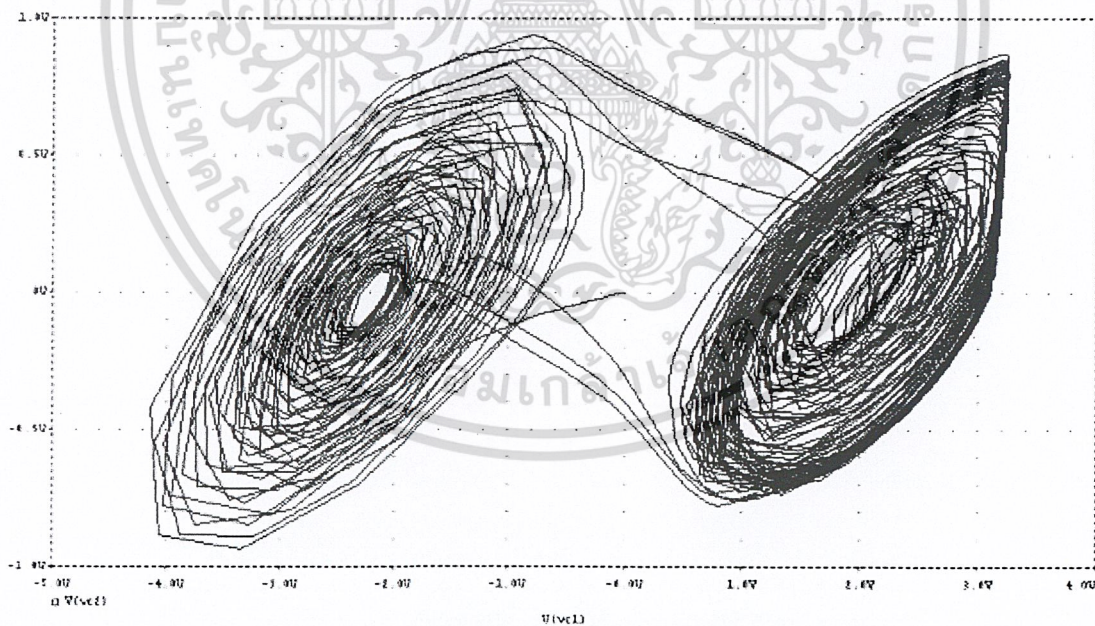
รูปที่ 4.4 คลื่นพาห้ขณะที่ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสดตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสถลับ แอคแทรกเตอร์ที่เกิด(รูปวงกลมที่เกิด)จะเกิดเน้นสลับไปมาระหว่าง 2 โลป



รูปที่ 4.5.1ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: ป้อนสัญญาณไฟกระแส V_{IN} เป็นสัญญาณที่ความถี่ใด ๆ ขนาดใด ๆ ทำการปรับเครื่องมืวัด โดย V_{c1} เป็นแกนนอน V_{c2} เป็นแกนตั้ง



รูปที่ 4.5.1ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

เมื่อป้อนสัญญาณไฟกระแส V_{IN} เป็นสัญญาณที่ความถี่ใด ๆ ขนาดใด ๆ

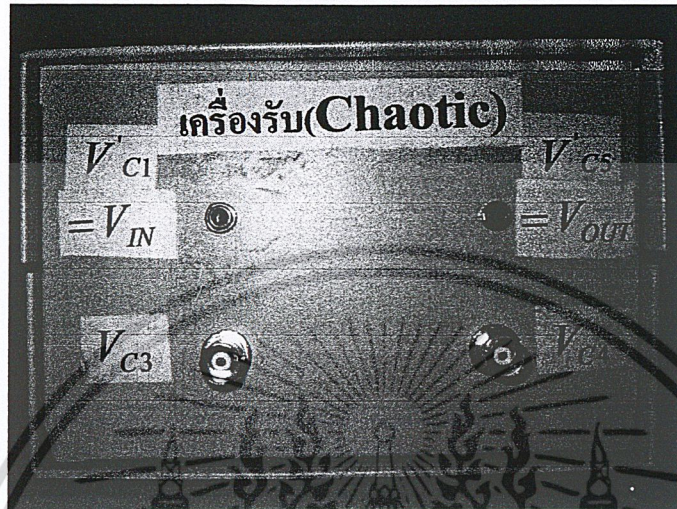
ทำการปรับเครื่องมืวัด โดย V_{c1} เป็นแกนนอน V_{c2} เป็นแกนตั้ง

รูปที่ 4.5 กลิ่นพาท้ขณะที่ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟกระแสถลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.6 และ 4.7 เป็นลักษณะชิ้นงานของเครื่องรับที่ประกอบขึ้น การทดลองในส่วน
ของชิ้นงานจะนำชิ้นงานไปทำการทดสอบด้วยเครื่องมือวัดที่เรียกว่าออสซิลโลสโคป(oscilloscope)

เครื่องรับ



รูปที่ 4.6 ภายนอกของอุปกรณ์เครื่องรับ

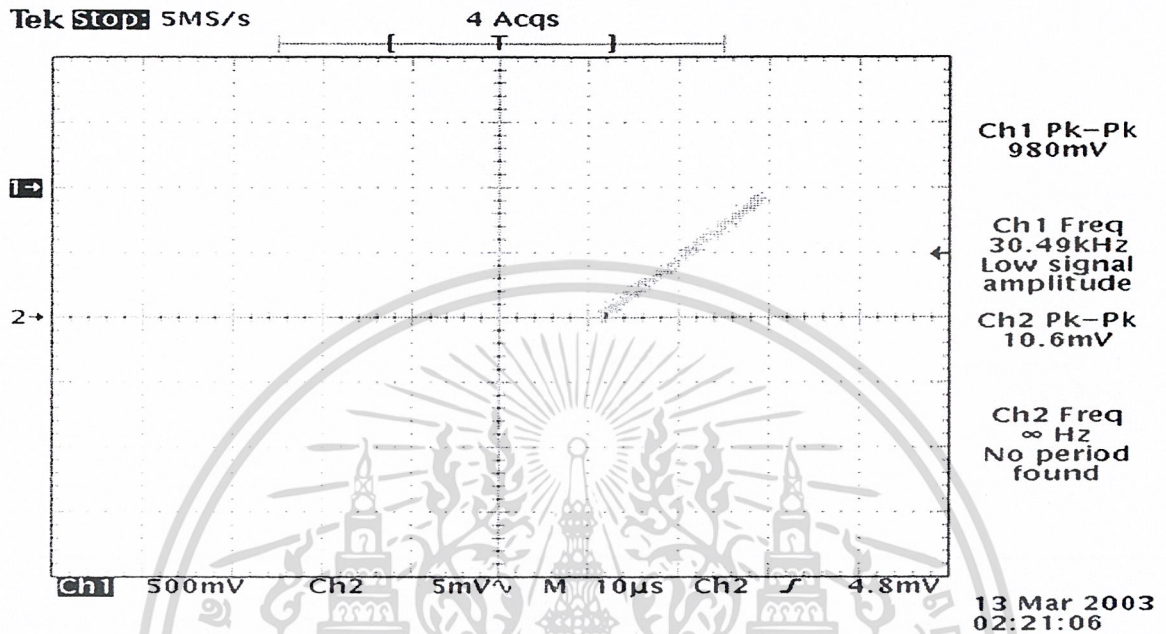


รูปที่ 4.7 ภายในของอุปกรณ์เครื่องรับ

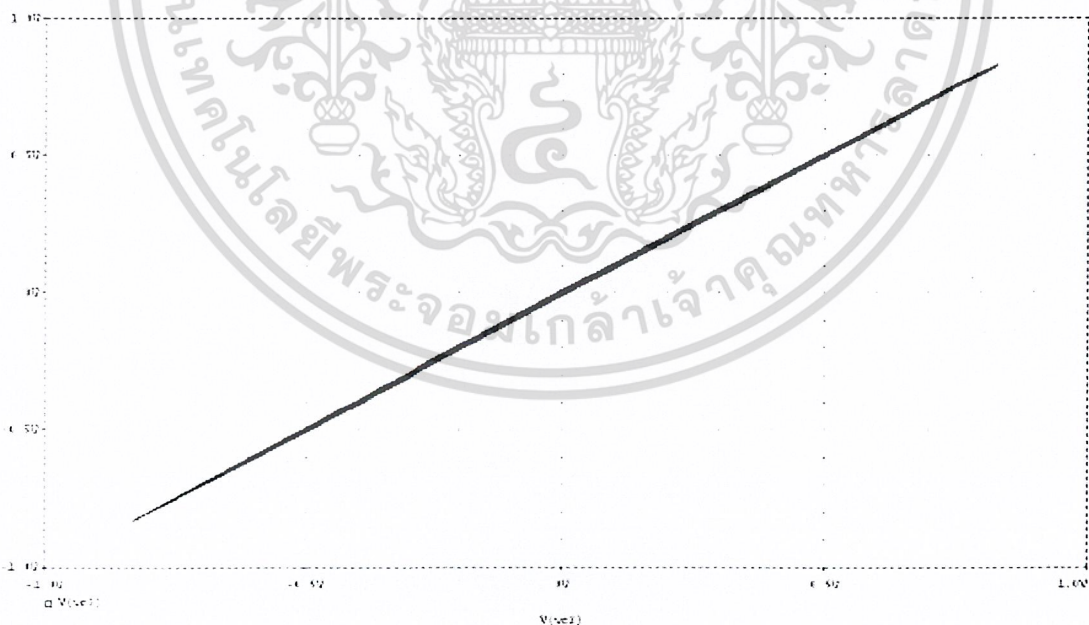
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ทดสอบการซิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ

ทำการปรับค่า R_{10} ในวงจรขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตตามอคูเลคที่เครื่องส่ง จนสัญญาณ V_{c2} ซิงโครไนซ์กับสัญญาณ V_{c3} (สัญญาณออสซิลเลเตอร์ของเครื่องส่ง ซิงโครไนซ์กับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของเครื่องรับ) ดังรูป 4.8 ซึ่งจะได้ค่า R_{10} อยู่ในช่วงระหว่าง 635-642 โอห์ม



รูปที่ 4.8.1ก ผลการทดลองจากขั้นตอน:ปรับเครื่องมือวัด โดย V_{c2} เป็นแกนนอน V_{c3} เป็นแกนตั้ง



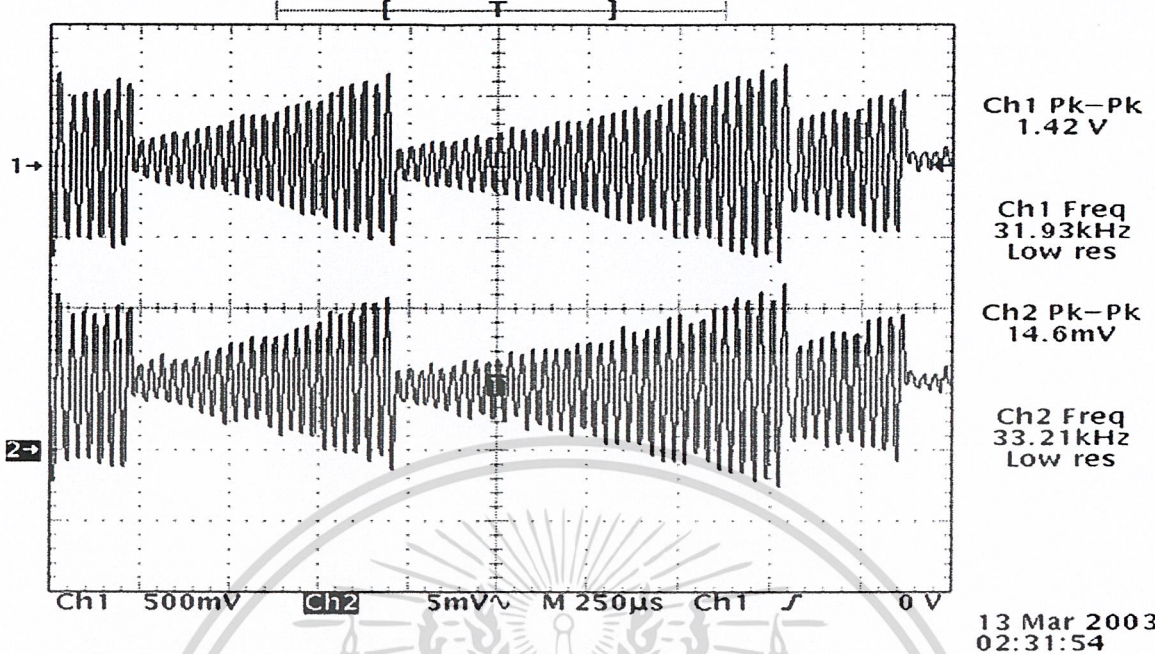
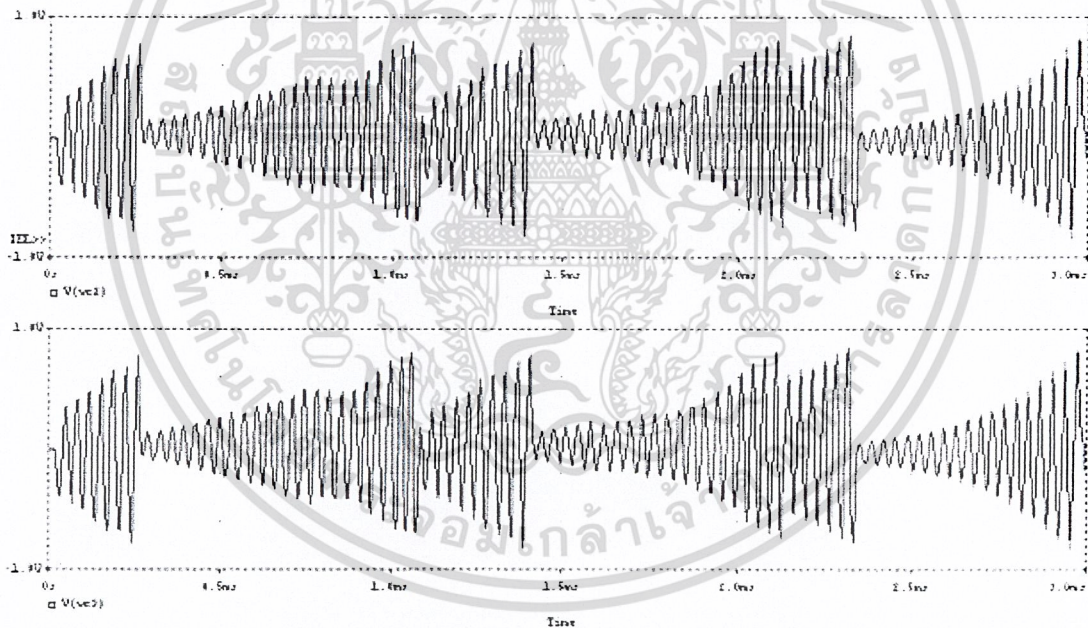
รูปที่ 4.8.1ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program) :

ปรับเครื่องมือวัด โดย V_{c2} เป็นแกนนอน V_{c3} เป็นแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek STOP: 200ks/s

8 Acqs

รูปที่ 4.8.2ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{c2} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{c3} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.8.2ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{c2} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{c3} ในแกนเวลา

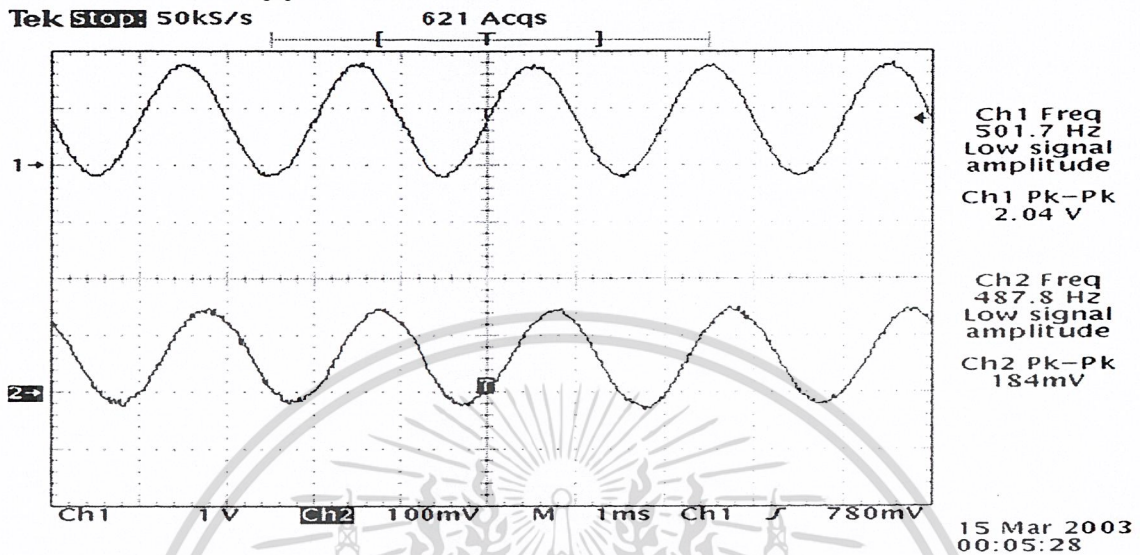
รูปที่ 4.8 การชิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ

สัญญาณออสซิลเลเตอร์ตรงกันในลักษณะของสัญญาณที่รับได้เมื่อเทียบกับสัญญาณส่ง

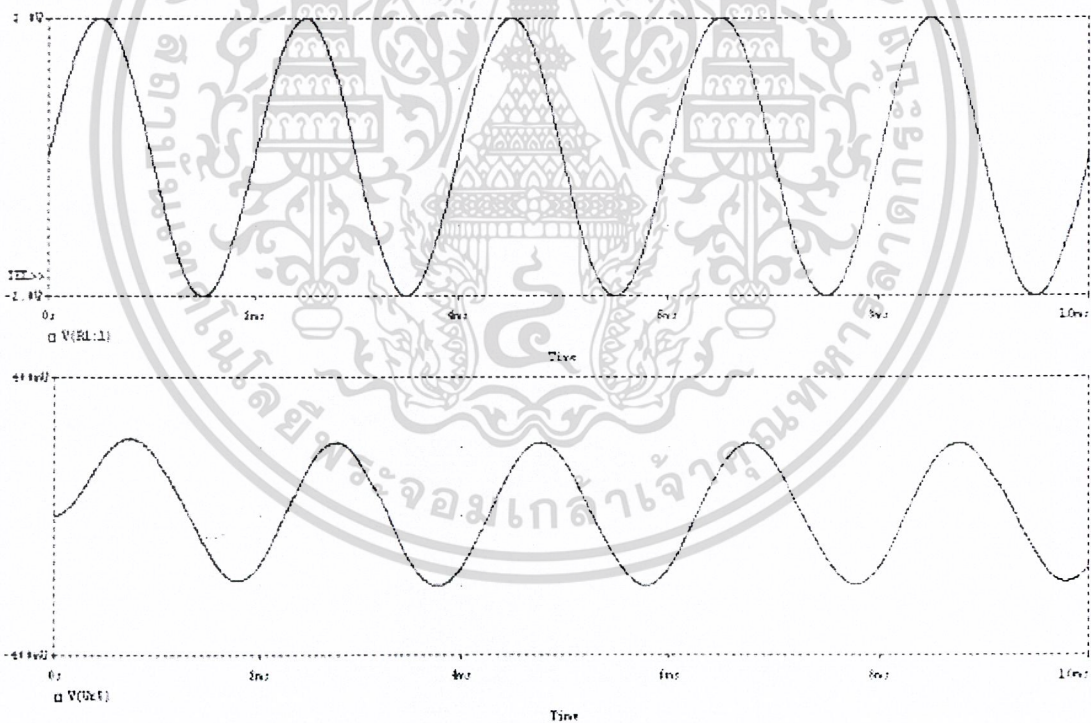
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับ

ทำการปรับค่า R_{13} และ R_{19} เพื่อให้ได้คุณภาพสัญญาณเอาต์พุตที่เครื่องรับ ซึ่งจะได้ค่า R_{13} ประมาณ 905-950 โอห์ม และ R_{19} ประมาณ 750-800 โอห์ม
ทดลองป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz ขนาด 2 Vpp



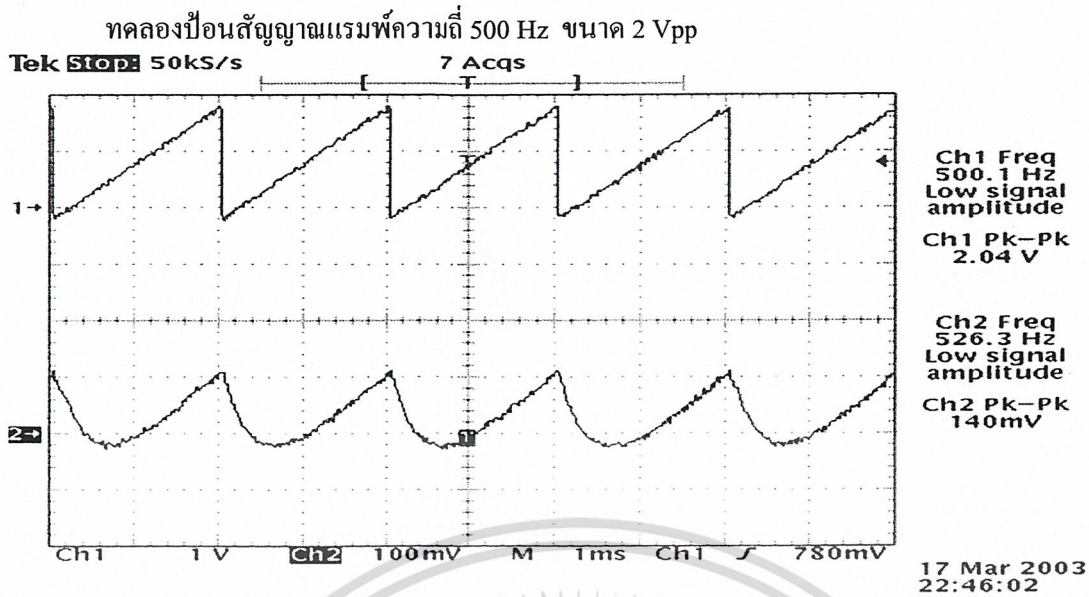
รูปที่ 4.9ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



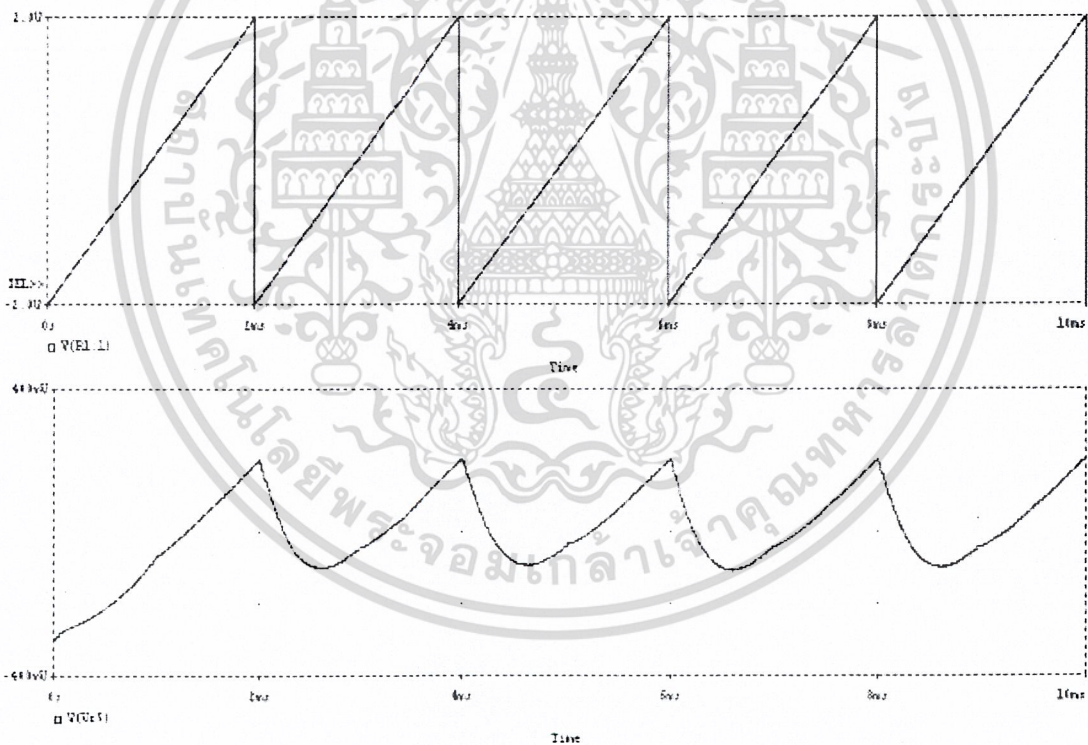
รูปที่ 4.9ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.9 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรู๊ปใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



รูปที่ 4.10ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.10 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณ

แรมพ์ความถี่ 500 Hz ขนาด 2 Vpp

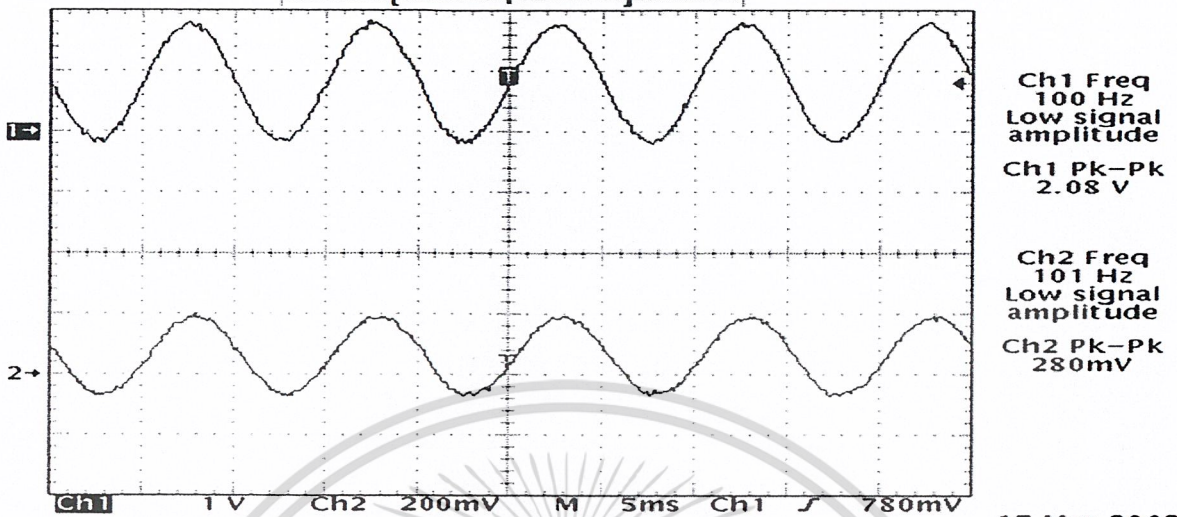
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีป้อนสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ โดยแอมพลิจูดของสัญญาณคงเดิม

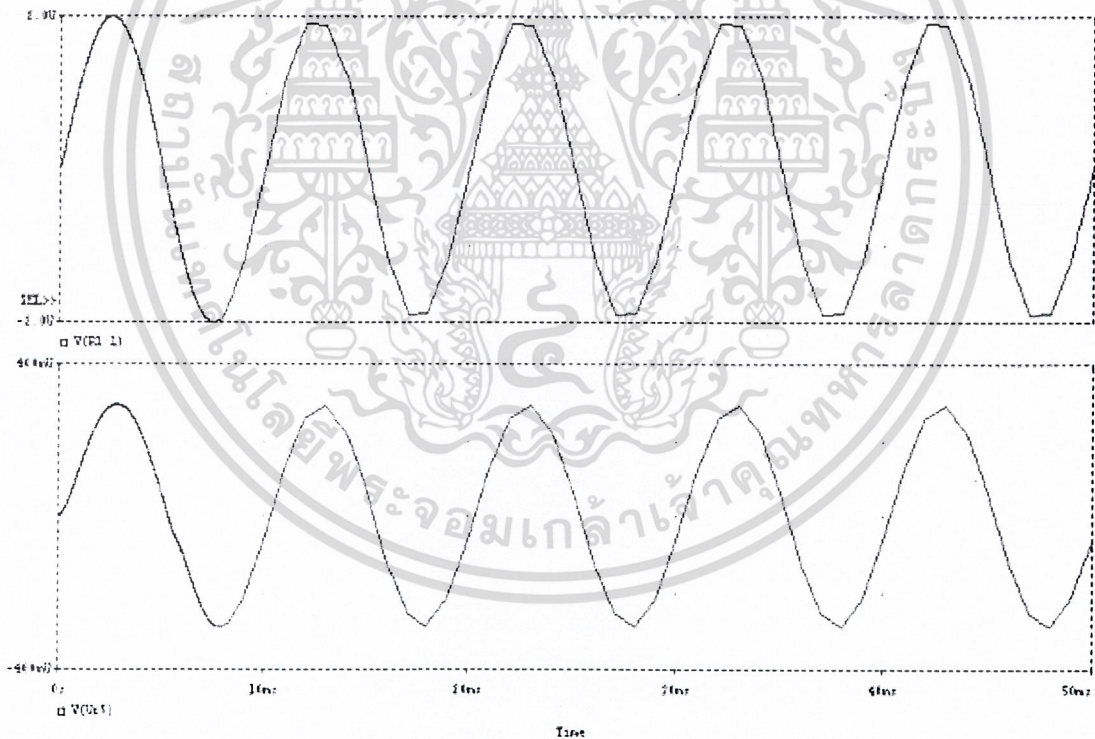
ทดลองป้อนสัญญาณ ไซน์ความถี่ 100 Hz ขนาด 2 Vpp

Tek Stop: 10ks/s

5 Acqs



รูปที่ 4.11ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



รูปที่ 4.11ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

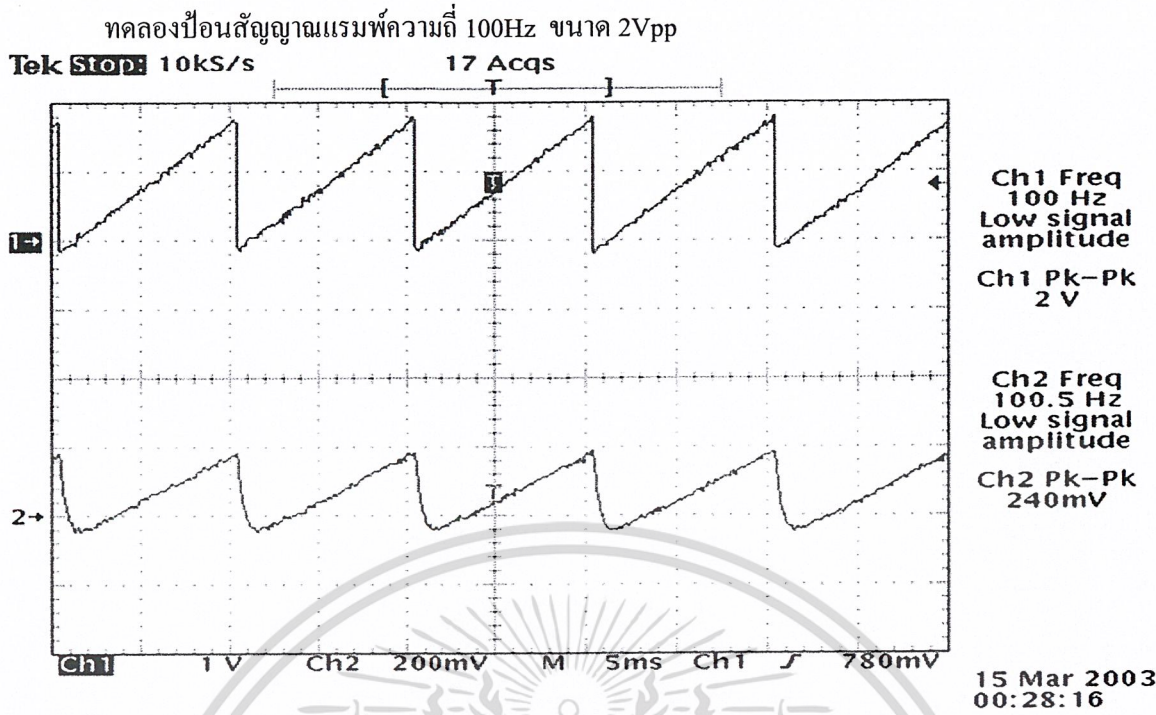
สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.11 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณ

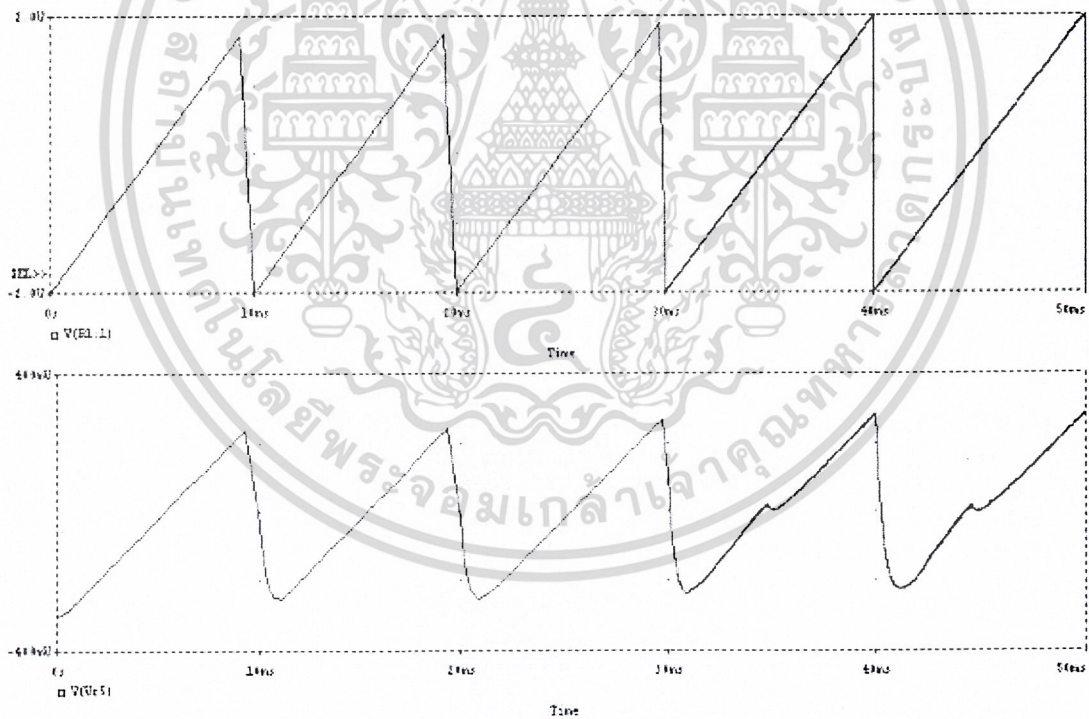
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไซน์ความถี่ 100 Hz ขนาด 2 Vpp

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



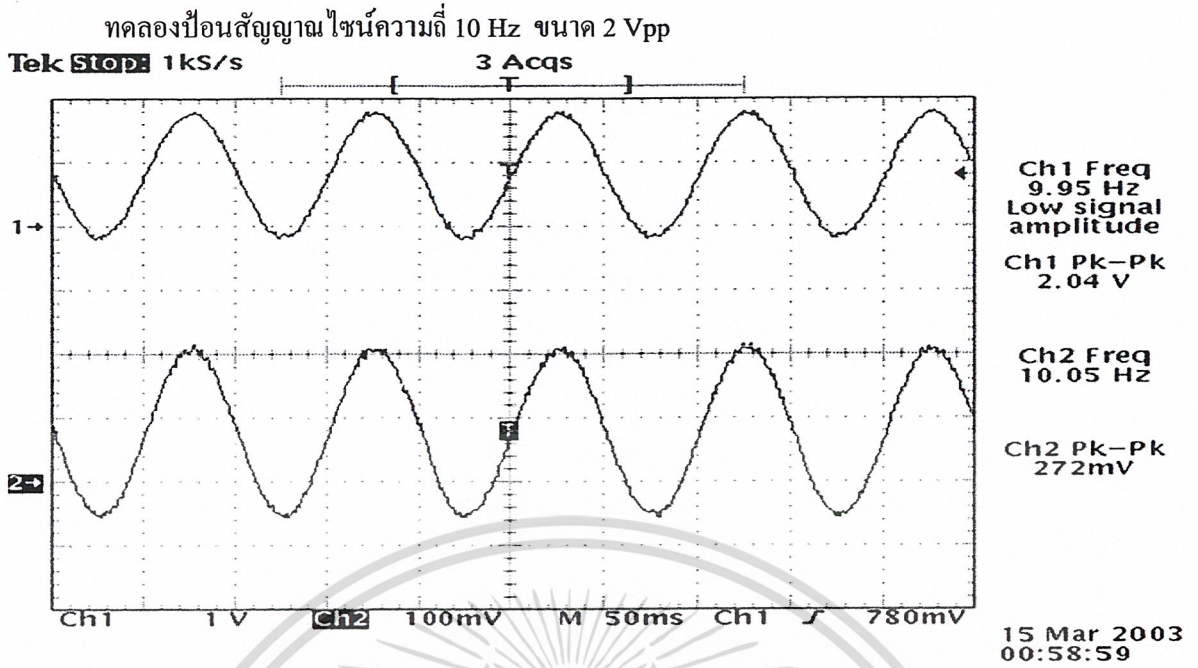
รูปที่ 4.12ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



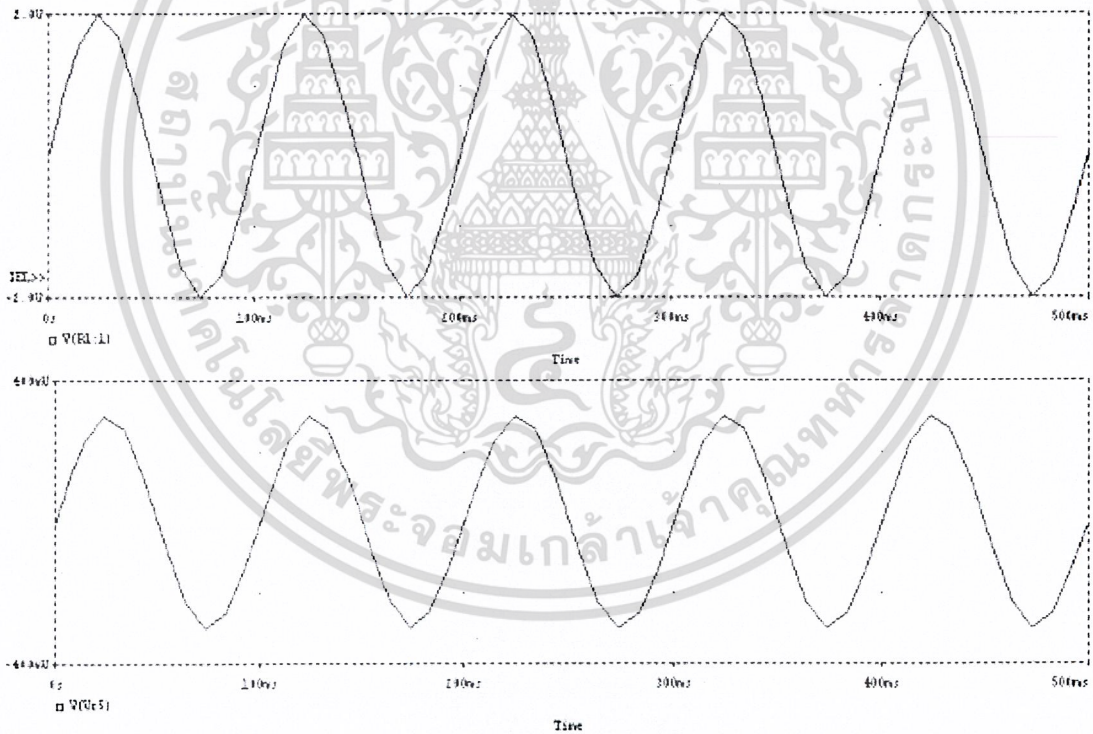
รูปที่ 4.12ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.12 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นสัญญาณ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงวิชาการเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แรมพ์ความถี่ 100 Hz ขนาด 2 Vpp
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

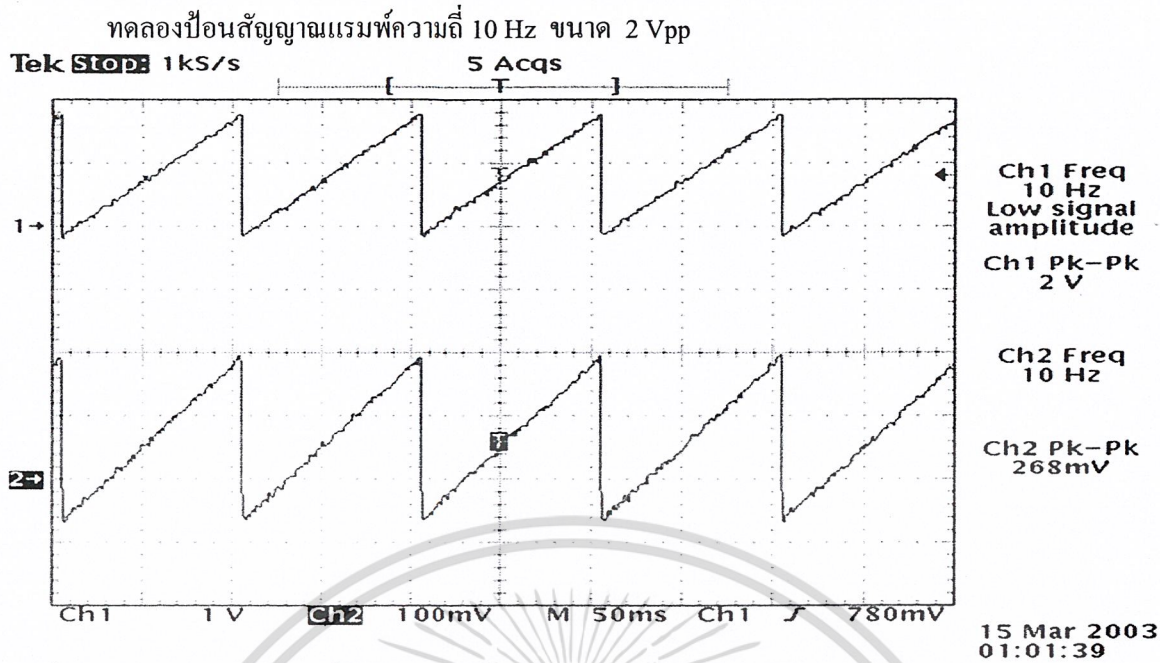


รูปที่ 4.13ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

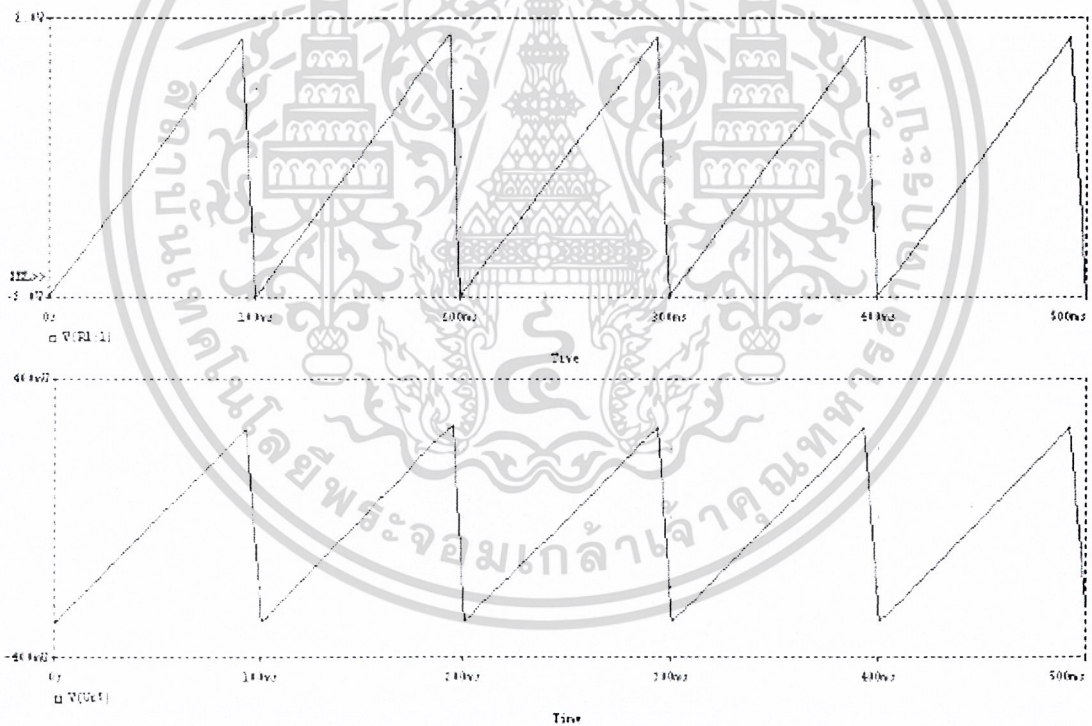
สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.13 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้เขียนให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



รูปที่ 4.14ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.14 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็น

สัญญาณแอมป์ความถี่ 10 Hz ขนาด 2 Vpp

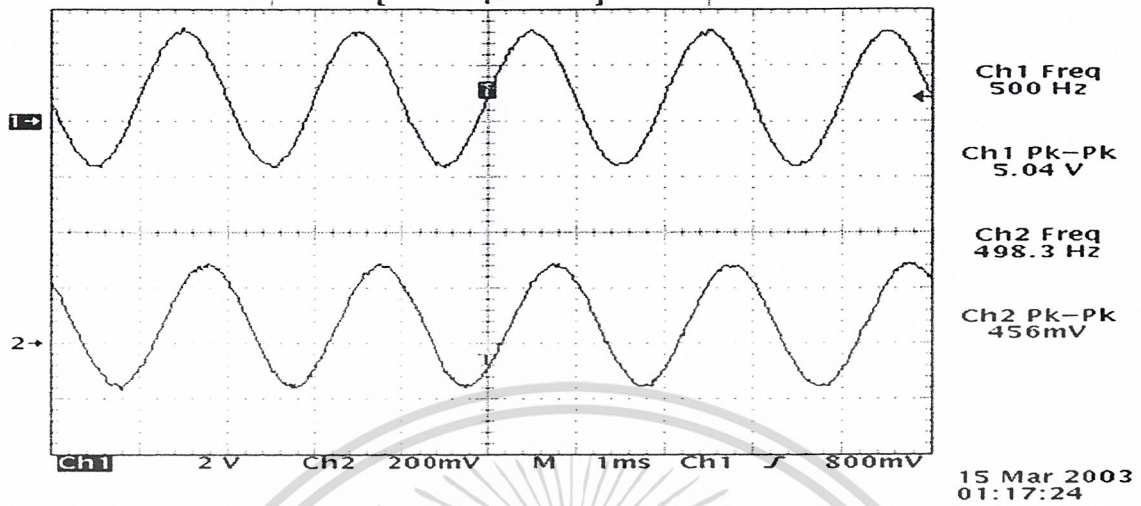
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีป้อนสัญญาณที่แอมพลิจูดต่างๆ โดยความถี่ของสัญญาณคงเดิม

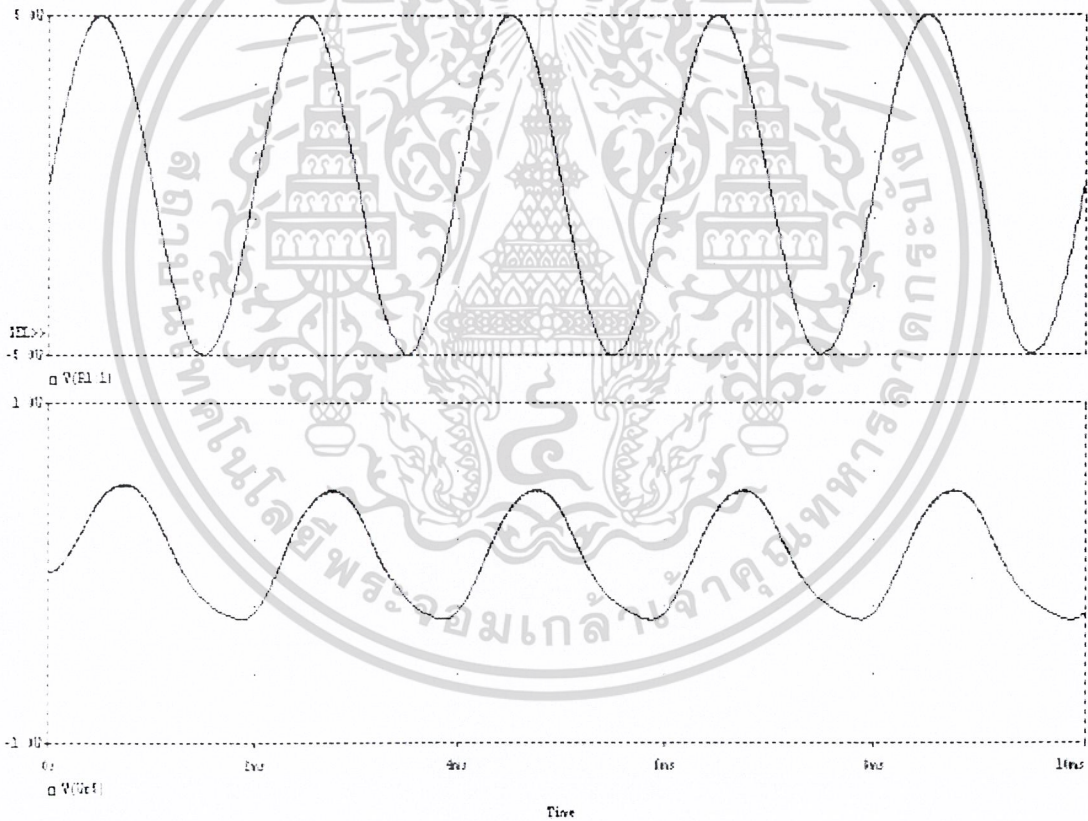
เมื่อป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz ขนาด 5 Vpp

Tek Stop: 50ks/s

36 Acqs



รูปที่ 4.15ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



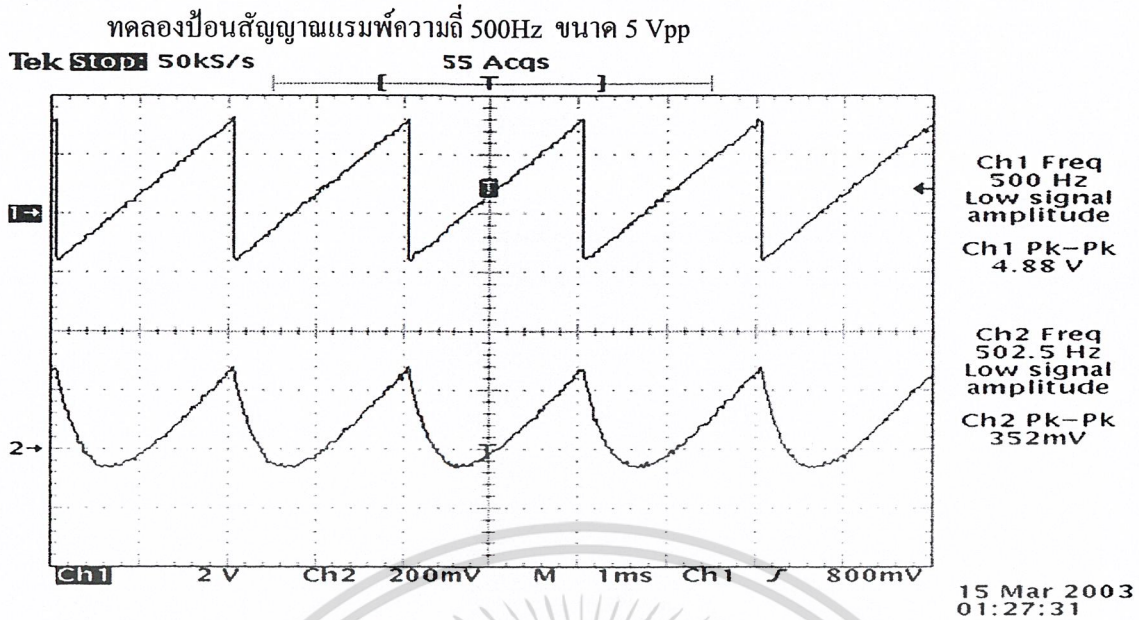
รูปที่ 4.15ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

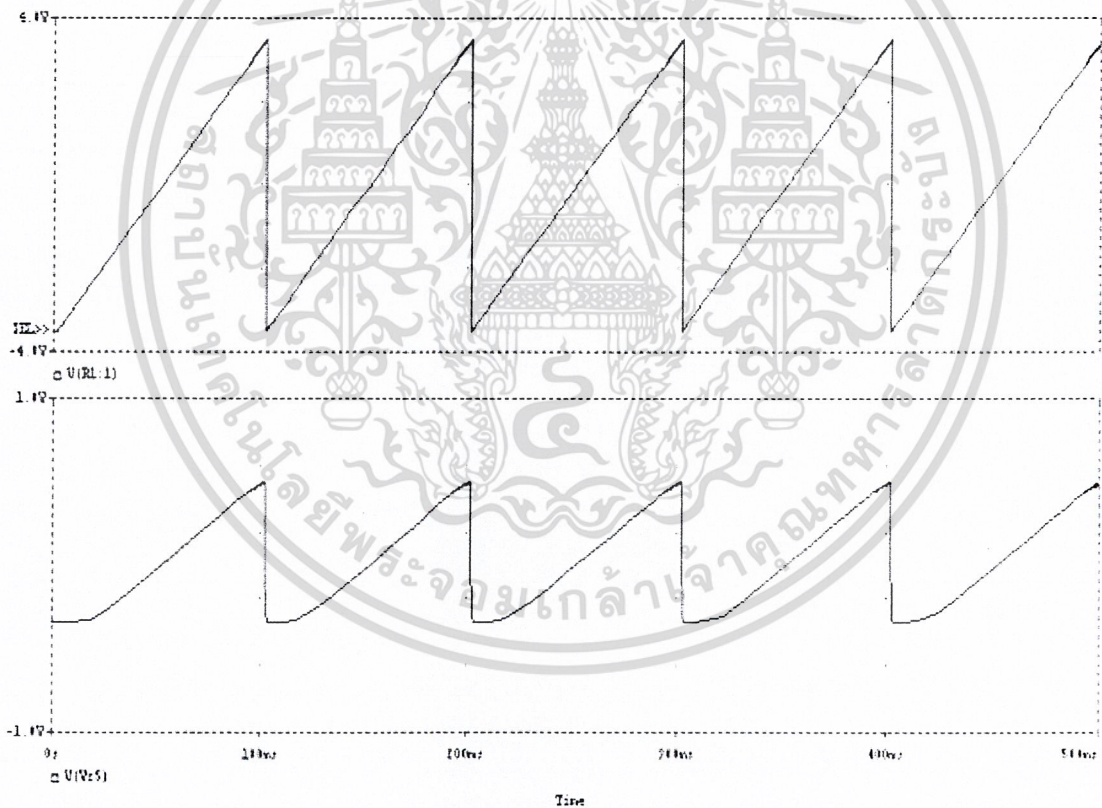
รูปที่ 4.15 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ: สัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz ขนาด 5 Vpp ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



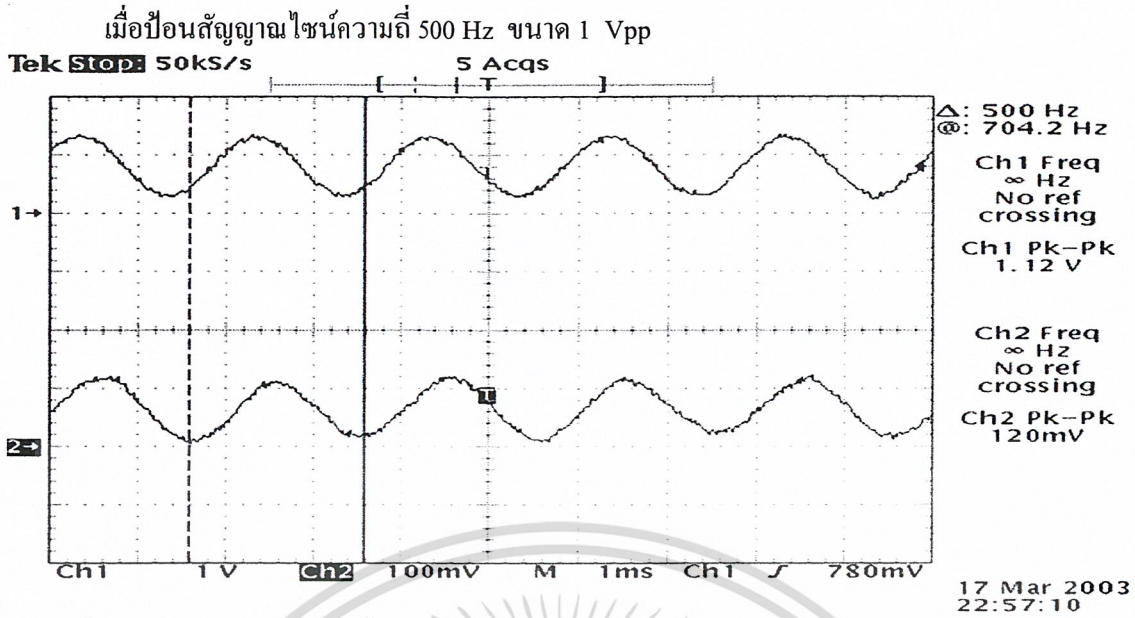
รูปที่ 4.16ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



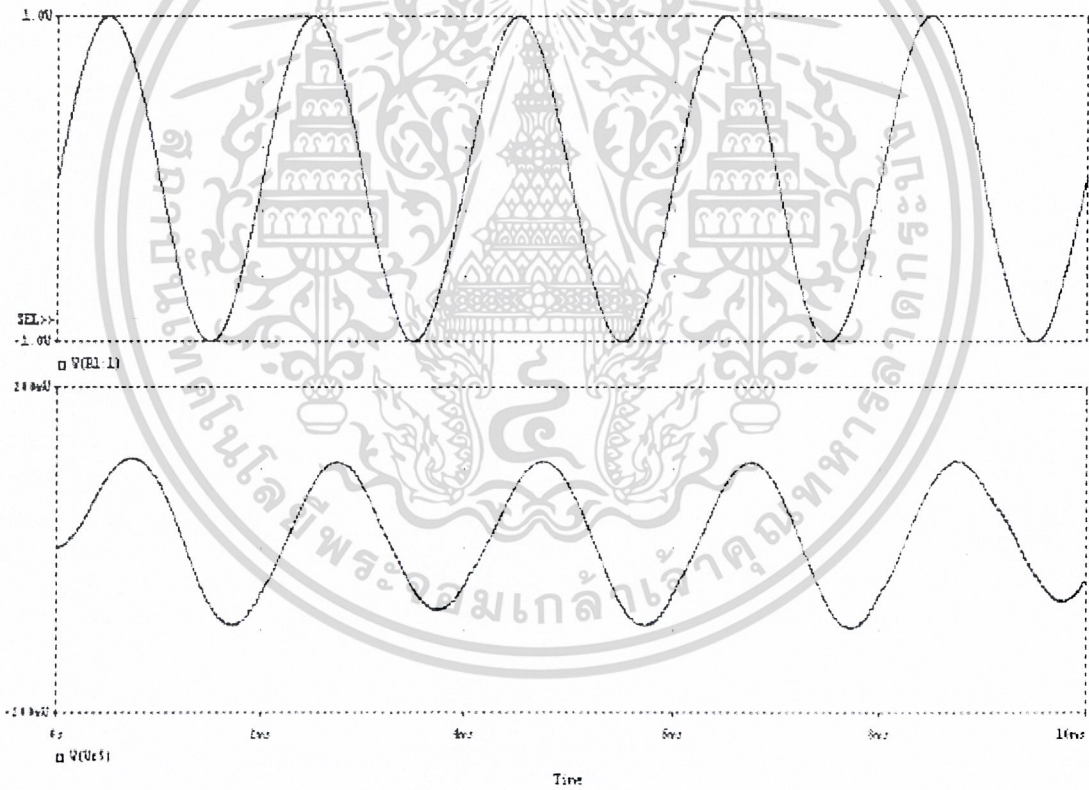
รูปที่ 4.16ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.16 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการที่ทำการวิจัยเท่านั้น ไม่ประสงค์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



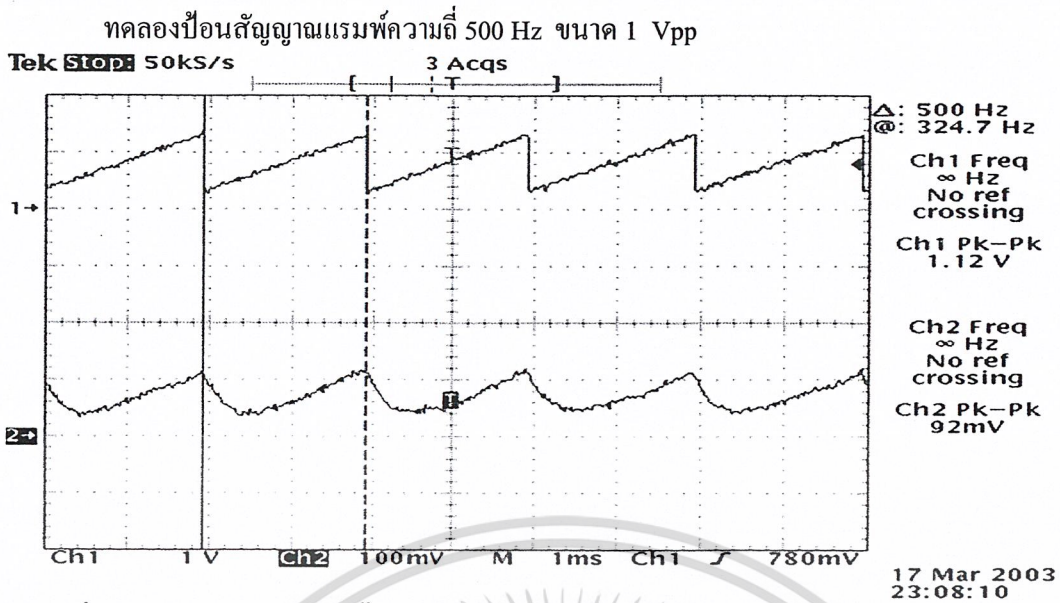
รูปที่ 4.17ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

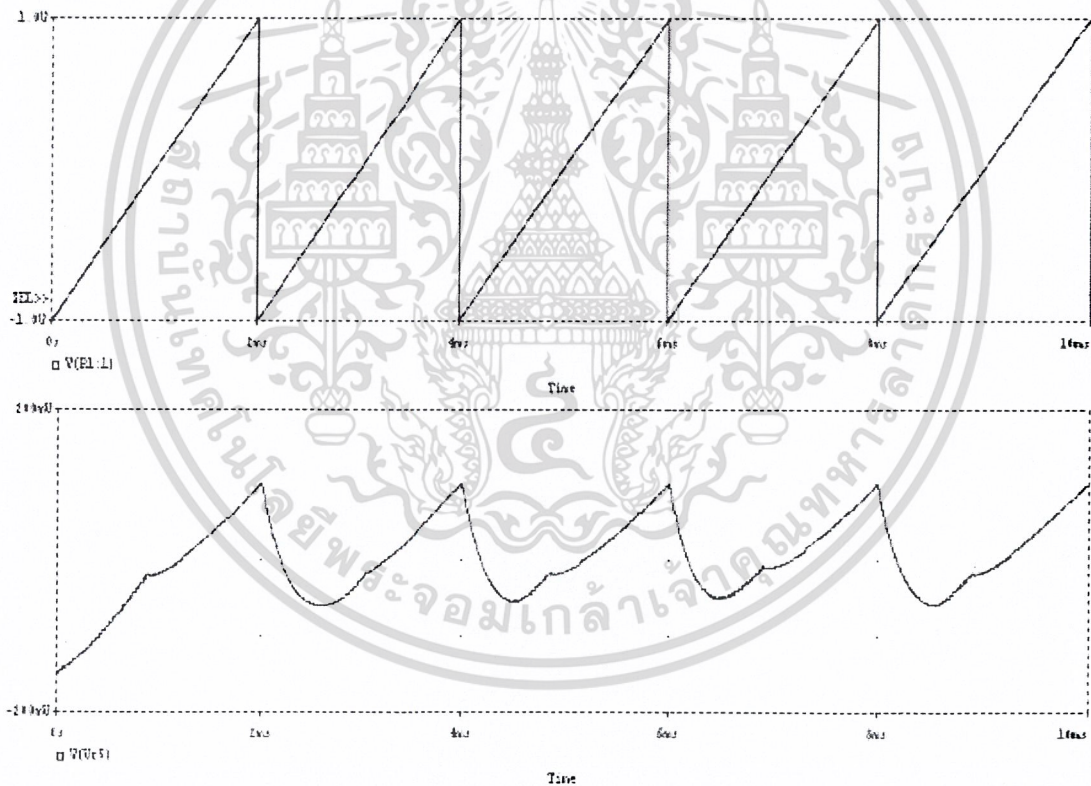
รูปที่ 4.17 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็น

สัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz ขนาด 1 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



รูปที่ 4.18ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

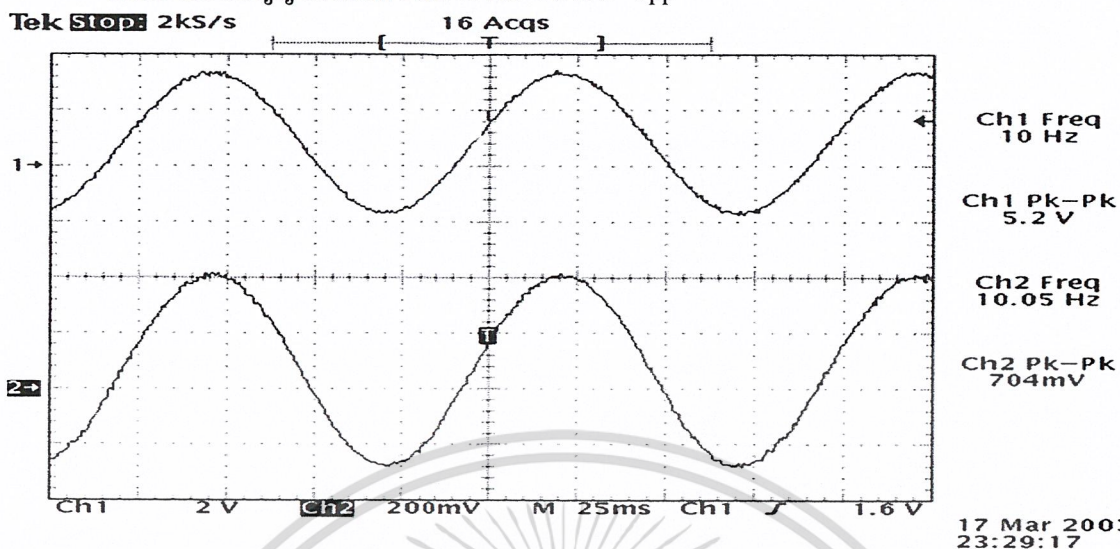
รูปที่ 4.18 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็น

สัญญาณแรมพ์ความถี่ 500 Hz ขนาด 1 Vpp

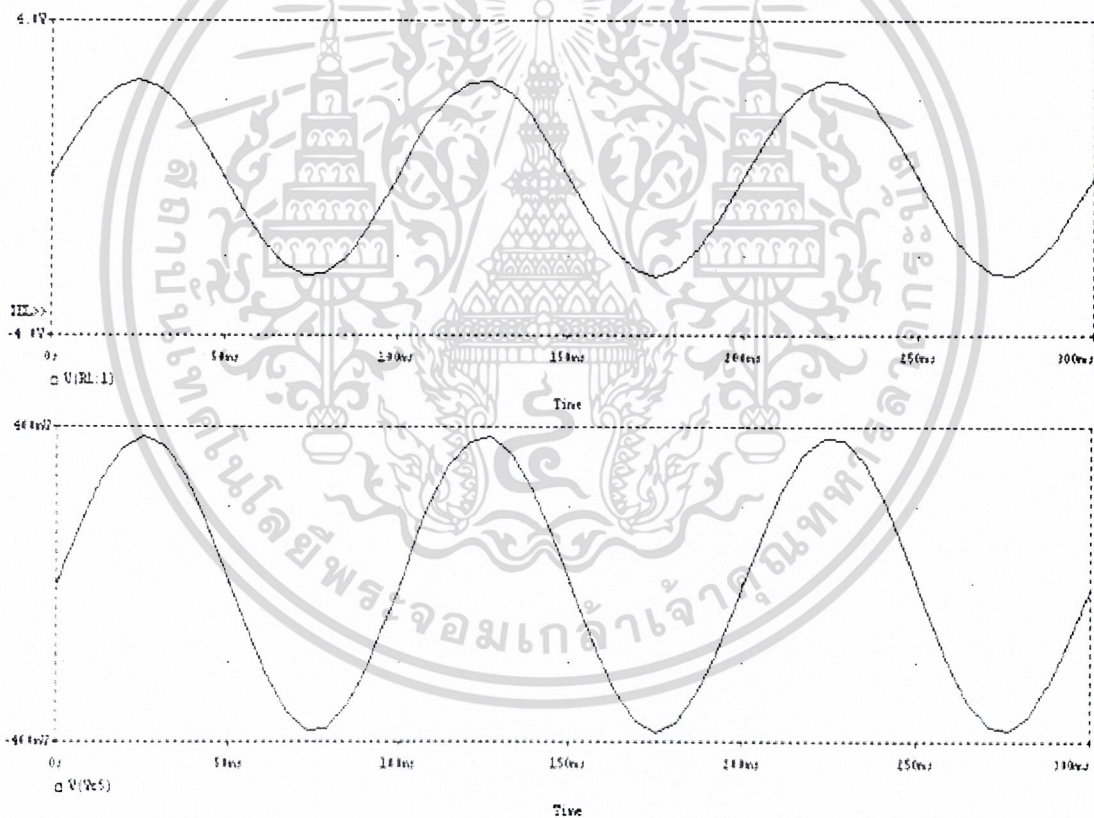
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีป้อนสัญญาณที่ความถี่และแอมพลิจูดต่างๆ

ทดลองป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 10 Hz ขนาด 5 Vpp



รูปที่ 4.19ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

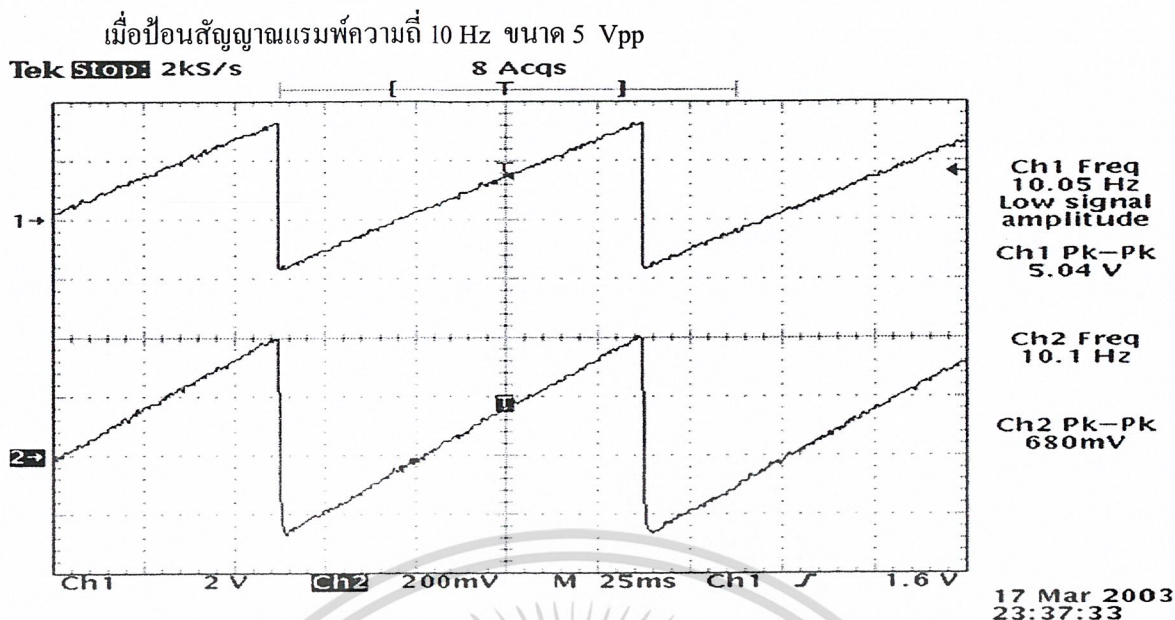


รูปที่ 4.19ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

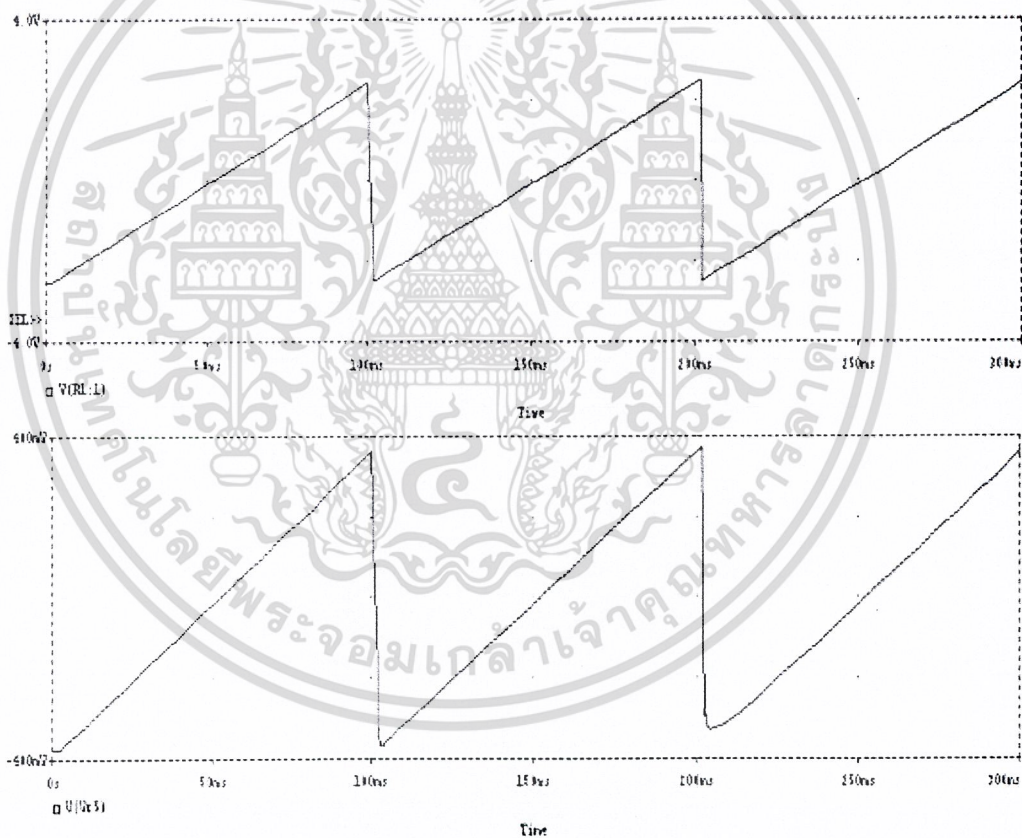
สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

รูปที่ 4.19 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20ก ผลการทดลองจากชิ้นงาน: สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา



รูปที่ 4.20ข ผลการทดลองจากการจำลองข้อมูล(simulation by using PSPICE Program):

สัญญาณ V_{IN} ในแกนเวลาเทียบกับ V_{OUT} ในแกนเวลา

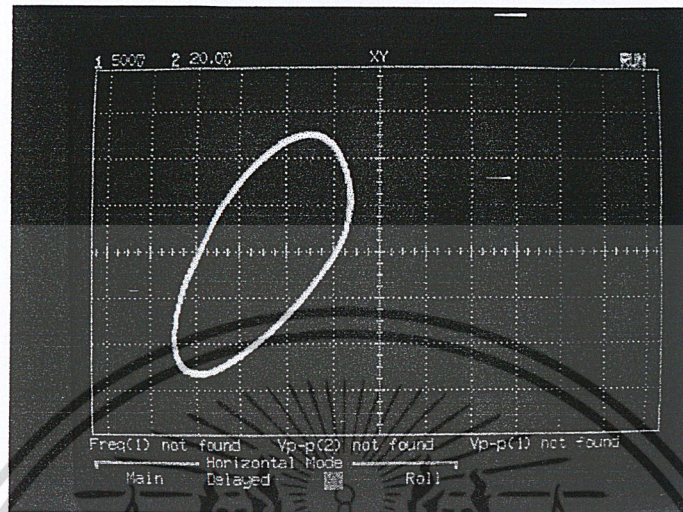
รูปที่ 4.20 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเครื่องส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่รับได้ที่เครื่องรับเป็น

สัญญาณแอมป์ความถี่ 10 Hz ขนาด 5 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

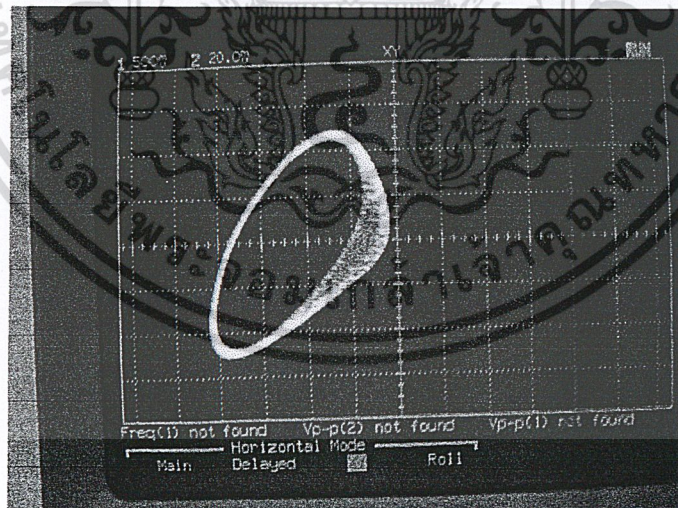
4.6 สถานะต่างๆ ไป ของวงจรถองหู

ในช่วงค่าความต้านทาน R_s (642 โอห์ม ถึง 647 โอห์ม) เกิดจุดสมมูล และฮอฟฟ์ไบเฟอร์เคชั่น จะเกิดการออสซิลเลตที่ความถี่คงที่ค่าหนึ่ง



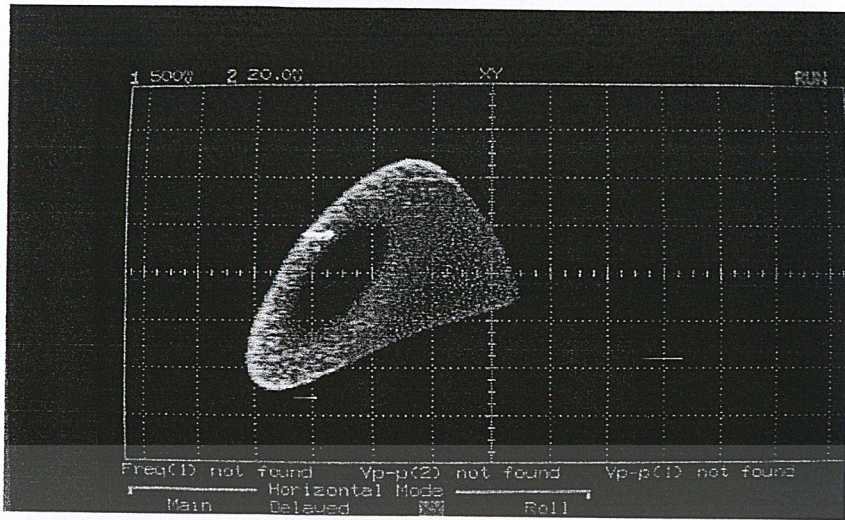
รูปที่ 4.21 ผลการทดลองจากชิ้นงาน:จุดสมมูลและฮอฟฟ์ไบเฟอร์เคชั่น

เมื่อค่อย ๆ ลดค่าความต้านทาน R_s ลง (ช่วงค่า 638-642 โอห์ม)จะเกิดการออสซิลเลตที่มีลักษณะสไปรัลแอกแทรกเตอร์ ซึ่งถือว่าเป็นสถานะที่เป็นเคออสติก



รูปที่ 4.22 ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สไปรัลแอกแทรกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ผลการทดลองจากชิ้นงาน:สไปรัลแอตแทรกเตอร์

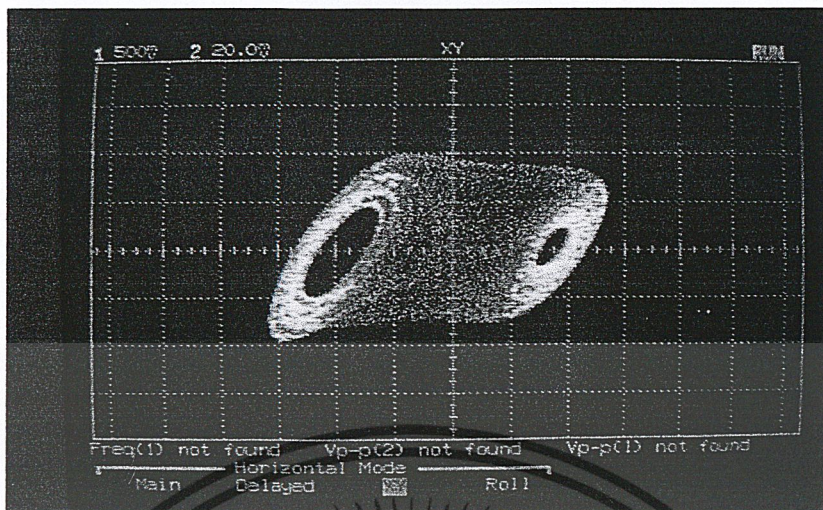
ในช่วงค่าความต้านทาน 630 – 638 โอห์ม เกิดสถานะสัญญาณเคออสติกแบบดับเบิลสกรอล
แอตแทรกเตอร์ (double-scroll attractor)



รูปที่ 4.24 ผลการทดลองจากชิ้นงาน:ดับเบิลสกรอลแอตแทรกเตอร์

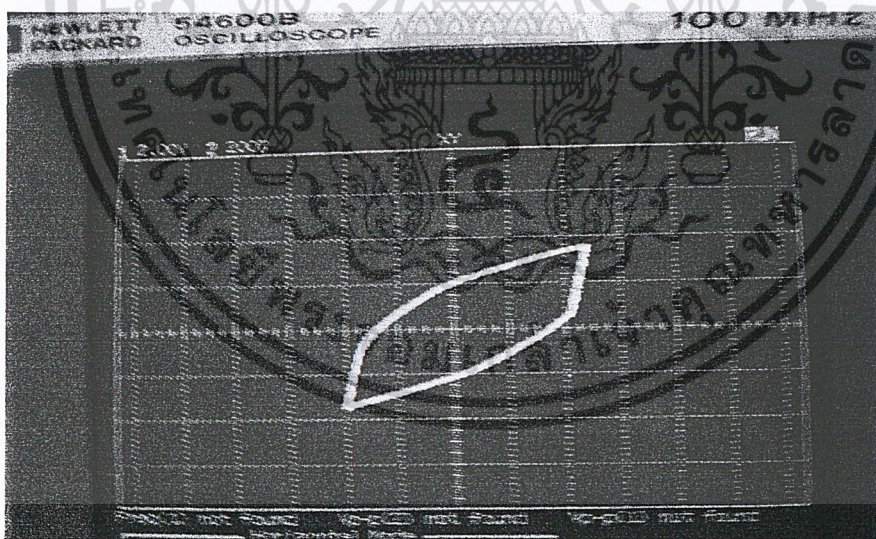
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลดค่าความต้านทานลง วงแอมแทรคเตอร์ทั้ง 2 วงเขยื้อนเข้าหากัน



รูปที่ 4.25 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: ดับเบิ้ลสกรอลแอมแทรคเตอร์(2)

ช่วงค่า R_s ที่น้อยกว่าช่วงที่เกิดสัญญาณเคออดิก (587-630 โอห์ม) เรียกว่าขอบเขตวิกฤติ ทราเจ็คทอรีทั้งหมดจะกลายเป็นไร่ขอบเขต วงวัฏจักรที่แสดงในรูปเป็นการย่อส่วนจากวงวัฏจักรจริงซึ่งจะมีขนาดใหญ่มาก



รูปที่ 4.26 ผลการทดลองจากชิ้นงาน: ขอบเขตวิกฤติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

จากการทดลองทั้งทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์พิสูจน์คุณสมบัติของสัญญาณเคออดิกได้ค่อนข้างตรงกันและพบว่าเครื่องส่งสามารถส่งข้อมูล และเครื่องรับสามารถรับข้อมูลโดยรูปลักษณะสัญญาณและเฟสตรงกัน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสัญญาณที่ความถี่ต่ำ อันได้แก่ สัญญาณเสียง

ปัญหาที่พบในการทดลองมีหลายประการ

1. การออกแบบและการคำนวณวงจรทำให้สามารถนำมาใช้งานการสื่อสารในทางปฏิบัติทำได้ยาก ไม่สามารถนำมาใช้กับสัญญาณที่มีความถี่สูง เนื่องจากวงจรจะไวต่อตัวเก็บประจุในวงจร
2. เนื่องจากเหตุผลในข้อ 1. สัญญาณที่มีองค์ประกอบทางความถี่มาก เช่น สัญญาณแรมพ์ ณ เครื่องรับ จะมีรูปลักษณะสัญญาณผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่ง
3. วงจรไม่ค่อยเสถียรอันเนื่องมาจากสัญญาณเคออดิกมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะระบบ ในการทดลองที่เครื่องส่งต้องทำการปรับจูนคลื่นพาห์ให้อยู่ในสภาวะเคออสตลอด ส่วนเครื่องรับก็ต้องปรับจูนพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เข้ากับเครื่องส่ง และรับสัญญาณที่ส่งมาได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

General Description

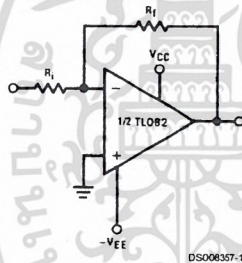
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL082 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and most LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

Features

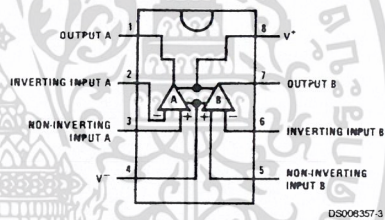
- Internally trimmed offset voltage: 15 mV
- Low input bias current: 50 pA
- Low input noise voltage: 16nV/√Hz
- Low input noise current: 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth: 4 MHz
- High slew rate: 13 V/μs
- Low supply current: 3.6 mA
- High input impedance: $10^{12}\Omega$
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$: <0.02%
 $R_L = 10k, V_O = 20 V_p - p,$
 $BW = 20 \text{ Hz} - 20 \text{ kHz}$
- Low 1/f noise corner: 50 Hz
- Fast settling time to 0.01%: 2 μs

Typical Connection



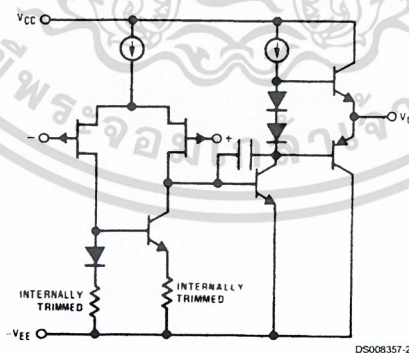
Connection Diagram

DIP/SO Package (Top View)



Order Number TL082CM or TL082CP
See NS Package Number M08A or N08E

Simplified Schematic



BI-FET II™ is a trademark of National Semiconductor Corp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation	(Note 2)
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T _{J(MAX)}	150°C
Differential Input Voltage	±30V

Input Voltage Range (Note 3)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	260°C
ESD rating to be determined.	

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

DC Electrical Characteristics (Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	TL082C			Units
			Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ, T _A = 25°C		5	15	mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ		10	20	μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	T _J = 25°C, (Notes 5, 6) T _J ≤ 70°C		25	200	pA nA
I _B	Input Bias Current	T _J = 25°C, (Notes 5, 6) T _J ≤ 70°C		50	400	pA nA
R _{IN}	Input Resistance	T _J = 25°C		10 ¹²		Ω
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S = ±15V, T _A = 25°C V _O = ±10V, R _L = 2 kΩ	25	100		V/mV
		Over Temperature	15			V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S = ±15V, R _L = 10 kΩ	±12	±13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S = ±15V	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤ 10 kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 7)	70	100		dB
I _S	Supply Current			3.6	5.6	mA

AC Electrical Characteristics (Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	TL082C			Units
			Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T _A = 25°C, f = 1Hz- 20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	V _S = ±15V, T _A = 25°C	8	13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V _S = ±15V, T _A = 25°C		4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A = 25°C, R _S = 100Ω, f = 1000 Hz		25		nV/√Hz
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _J = 25°C, f = 1000 Hz		0.01		pA/√Hz

Note 2: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W junction to ambient for the N package.

Note 3: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 4: The power dissipation limit, however, cannot be exceeded.

Note 5: These specifications apply for V_S = ±15V and 0°C ≤ T_A ≤ +70°C. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at V_{CM} = 0.

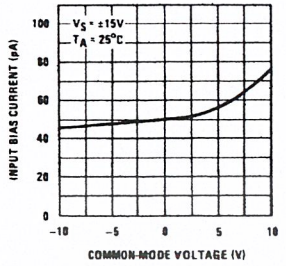
Note 6: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D. T_J = T_A + θ_{JA} P_D where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 7: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. V_S = ±6V to ±15V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

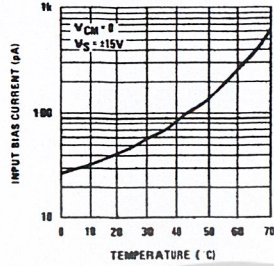
Typical Performance Characteristics

Input Bias Current



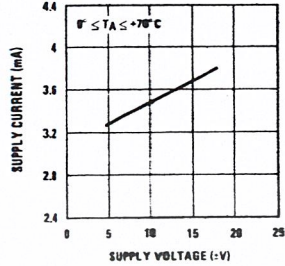
DS008357-18

Input Bias Current



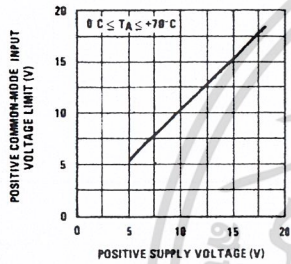
DS008357-19

Supply Current



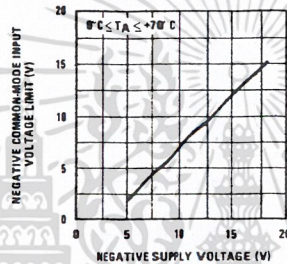
DS008357-20

Positive Common-Mode Input Voltage Limit



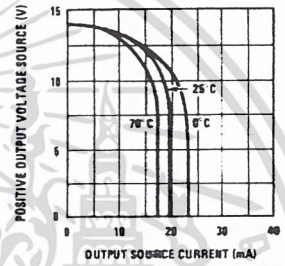
DS008357-21

Negative Common-Mode Input Voltage Limit



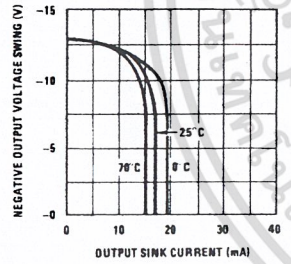
DS008357-22

Positive Current Limit



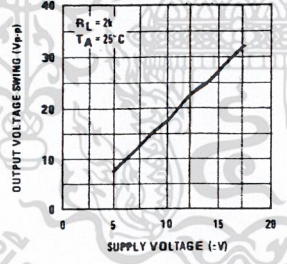
DS008357-23

Negative Current Limit



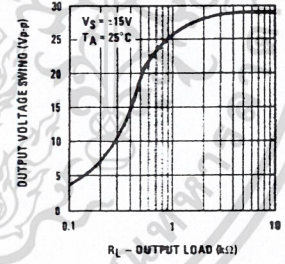
DS008357-24

Voltage Swing



DS008357-25

Output Voltage Swing

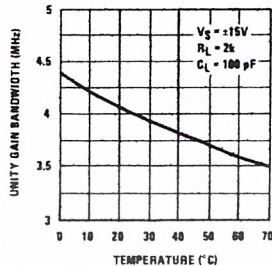


DS008357-26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

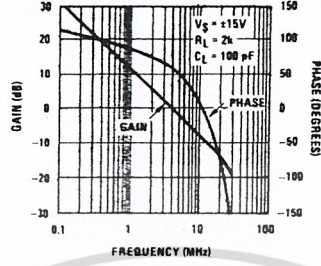
Typical Performance Characteristics (Continued)

Gain Bandwidth



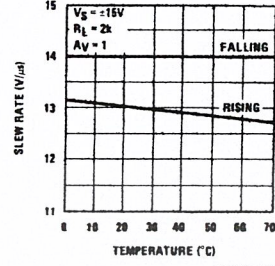
DS000357-27

Bode Plot



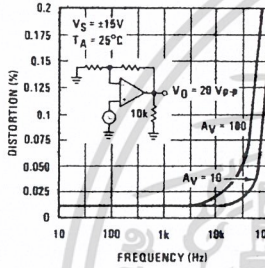
DS000357-28

Slew Rate



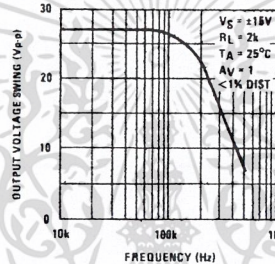
DS000357-29

Distortion vs Frequency



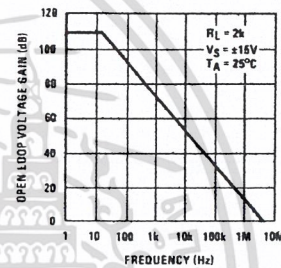
DS000357-30

Undistorted Output Voltage Swing



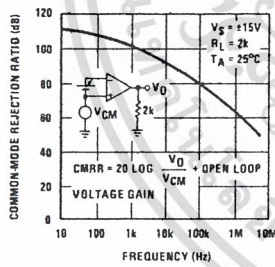
DS000357-31

Open Loop Frequency Response



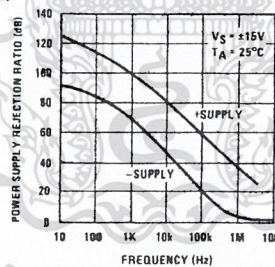
DS000357-32

Common-Mode Rejection Ratio



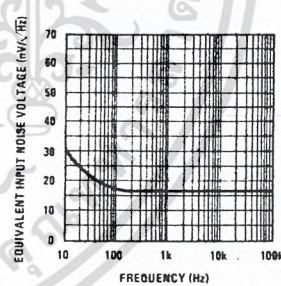
DS000357-33

Power Supply Rejection Ratio



DS000357-34

Equivalent Input Noise Voltage

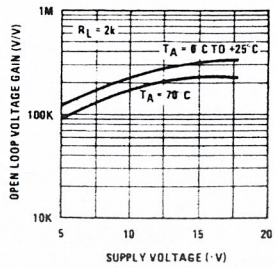


DS000357-36

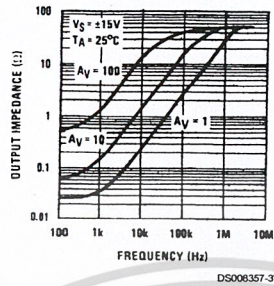
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

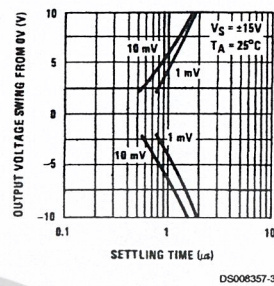
Open Loop Voltage Gain (V/V)



Output Impedance

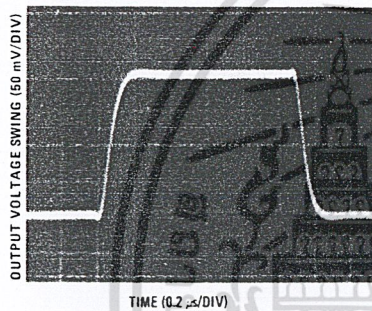


Inverter Setting Time

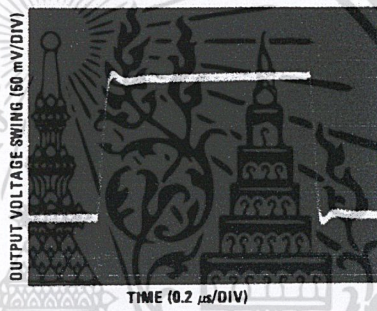


Pulse Response

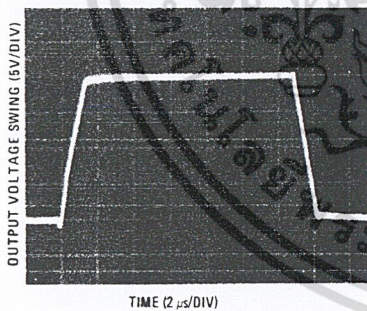
Small Signal Inverting



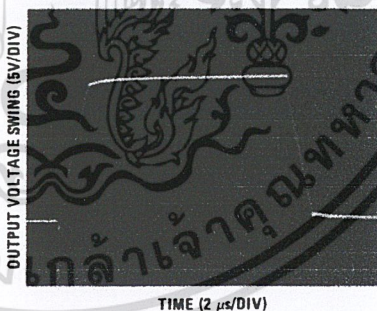
Small Signal Non-Inverting



Large Signal Inverting

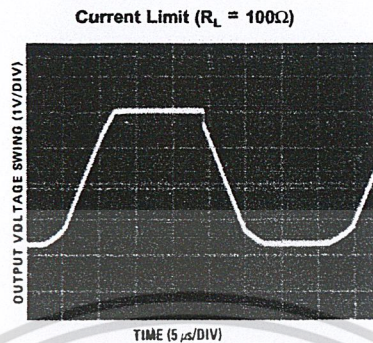


Large Signal Non-Inverting



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulse Response (Continued)



Application Hints

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

Exceeding the negative common-mode limit on either input will cause a reversal of the phase to the output and force the amplifier output to the corresponding high or low state. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

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

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

Each amplifier is individually biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 6V$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

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

Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

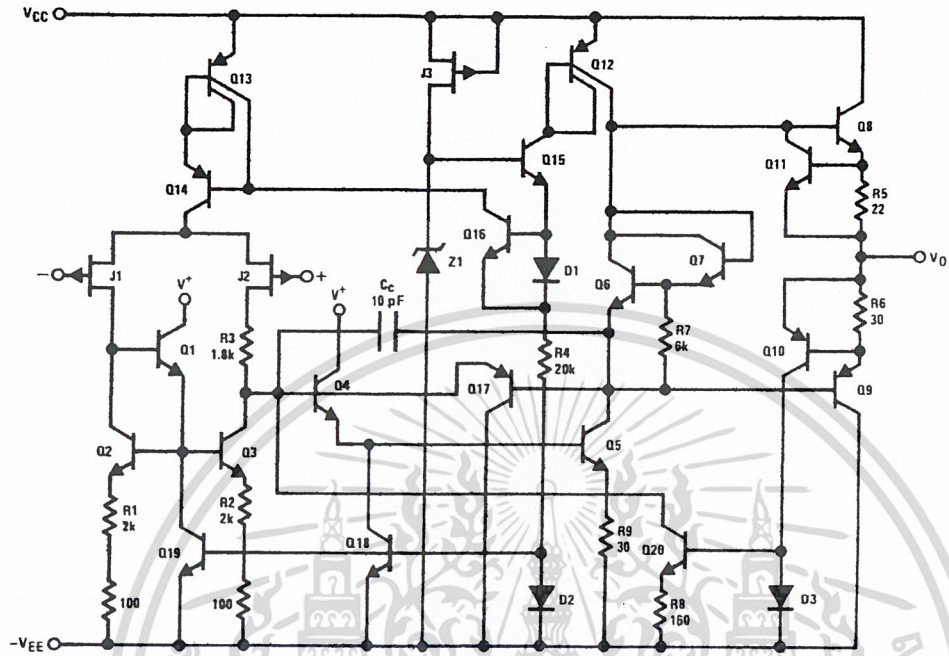
Because these amplifiers are JFET rather than MOSFET input op amps they do not require special handling.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

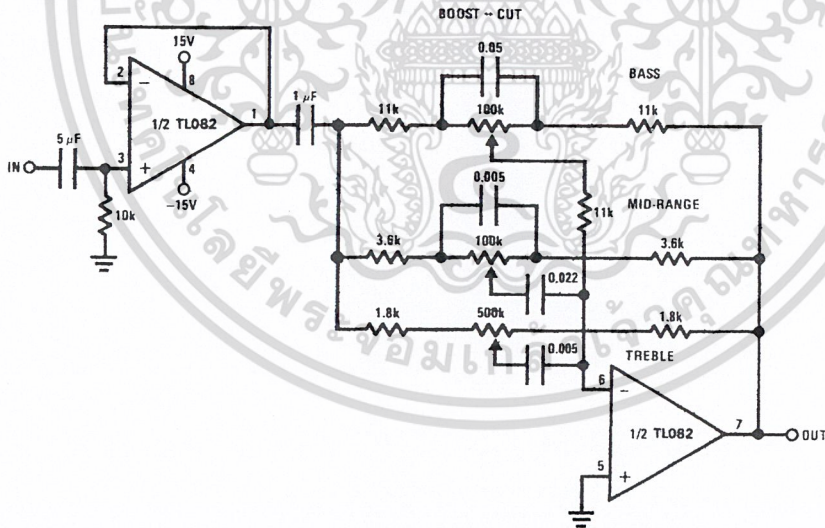
Detailed Schematic



DS006357-11

Typical Applications

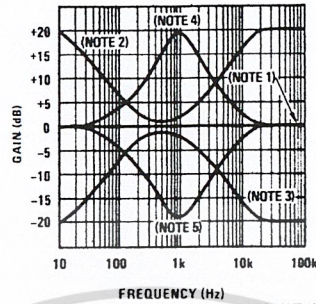
Three-Band Active Tone Control



DS006357-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



DS006357-13

- All potentiometers are linear taper
- Use the LF347 Quad for stereo applications

Note 8: All controls flat.

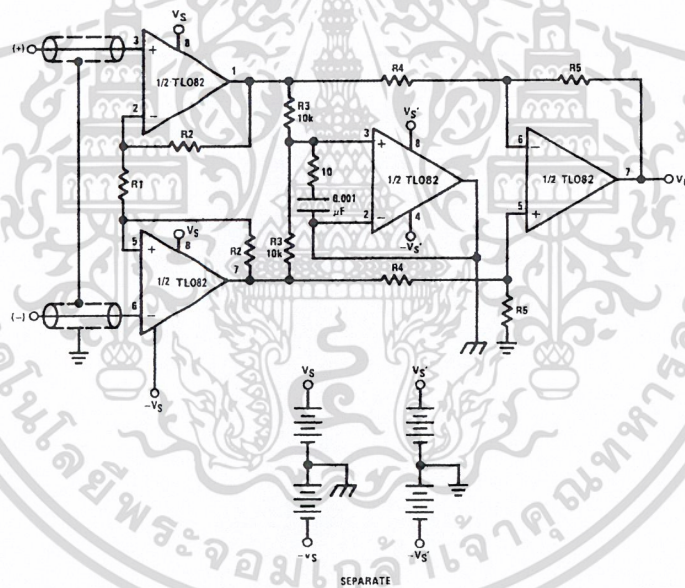
Note 9: Bass and treble boost, mid flat.

Note 10: Bass and treble cut, mid flat.

Note 11: Mid boost, bass and treble flat.

Note 12: Mid cut, bass and treble flat.

Improved CMRR Instrumentation Amplifier



DS006357-14

$$A_V = \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{R_5}{R_4}$$

R1 and *R2* are separate isolated grounds

Matching of *R2*'s, *R4*'s and *R5*'s control CMRR

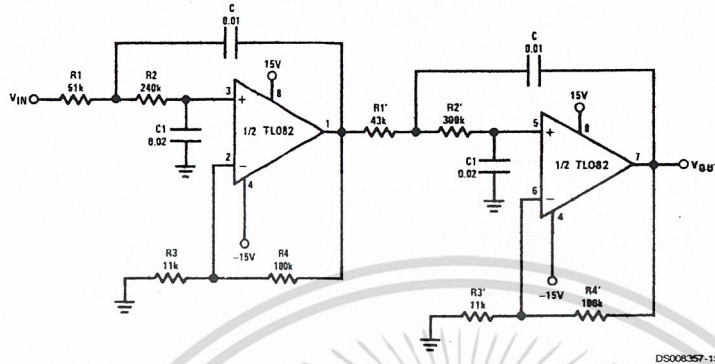
With $A_{VT} = 1400$, resistor matching = 0.01%: CMRR = 136 dB

- Very high input impedance
- Super high CMRR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

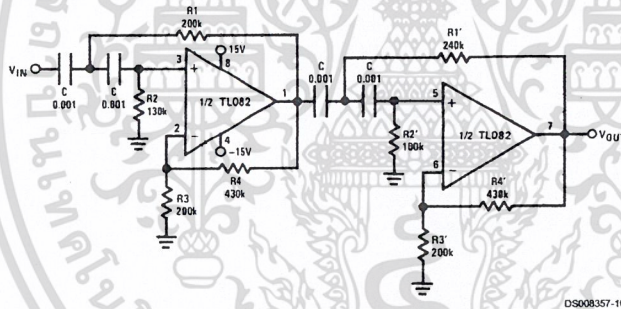
Typical Applications (Continued)

Fourth Order Low Pass Butterworth Filter



- Corner frequency (f_c) = $\frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C C_1}} = \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{\sqrt{R_1' R_2' C C_1}} = \frac{1}{2\pi}$
- Passband gain (H_0) = $(1 + R_4/R_3) (1 + R_4'/R_3')$
- First stage $Q = 1.31$
- Second stage $Q = 0.541$
- Circuit shown uses nearest 5% tolerance resistor values for a filter with a corner frequency of 100 Hz and a passband gain of 100
- Offset nulling necessary for accurate DC performance

Fourth Order High Pass Butterworth Filter

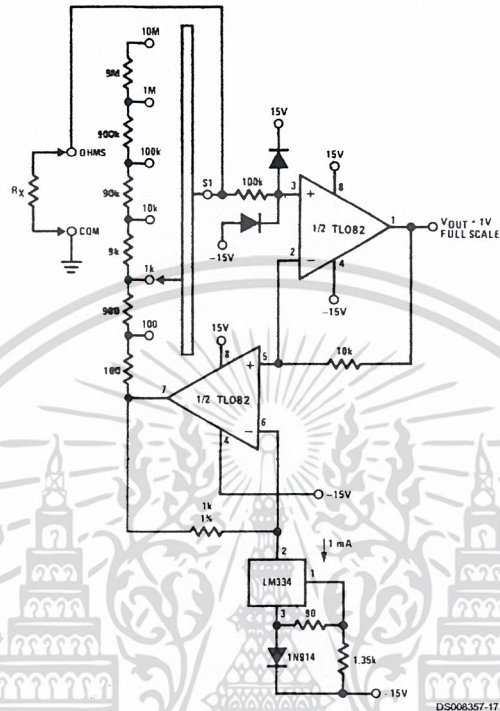


- Corner frequency (f_c) = $\frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C^2}} = \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{\sqrt{R_1' R_2' C^2}} = \frac{1}{2\pi}$
- Passband gain (H_0) = $(1 + R_4/R_3) (1 + R_4'/R_3')$
- First stage $Q = 1.31$
- Second stage $Q = 0.541$
- Circuit shown uses closest 5% tolerance resistor values for a filter with a corner frequency of 1 kHz and a passband gain of 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Ohms to Volts Converter



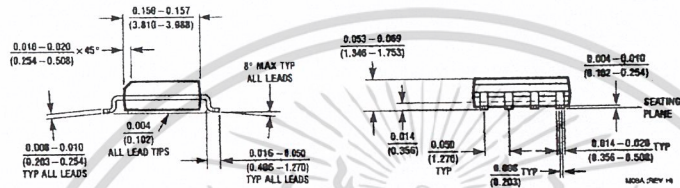
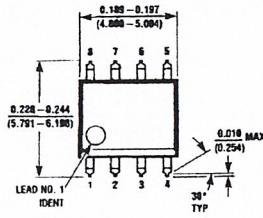
$$V_O = \frac{1V}{R_{LADDER}} \times R_x$$

Where R_{LADDER} is the resistance from switch S1 pole to pin 7 of the TL082CP.

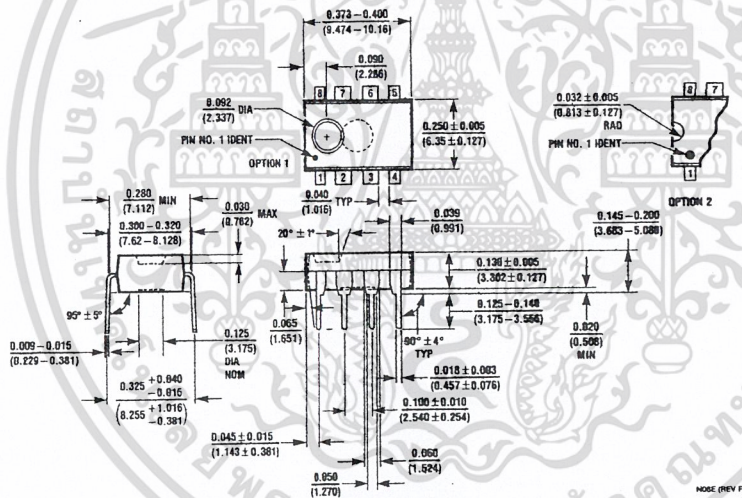
DS008357-17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Order Number TL082CM
NS Package M08A



Order Number TL082CP
NS Package N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes



LIFE SUPPORT POLICY

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

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

 **National Semiconductor Corporation**
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Michael Peter Kennedy, "Three Steps to Chaos—Part 1 : A Chua's Circuit Primer," IEEE Trans. Circuits Syst. I, vol. 40, No 10, Oct. 1993.

Michael Peter Kennedy, "Three Steps to Chaos—Part 2 : A Chua's Circuit Primer," IEEE Trans. Circuits Syst. I, vol. 40, pp.657-674, Oct. 1993.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้