



DESIGN OF AMPLITUDE CHROMINANCE EQUALIZER USING THE  
BERNSTEIN POLYNOMIAL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
2007

**หัวข้อปริญญาโท**

การออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์เพื่อแก้ความผิดเพี้ยน  
ทางขนาดของสัญญาณโดยใช้เบิร์นสไตน์โพลิโนเมียล  
Design of Amplitude Chrominance Equalizer using the  
Bernstein Polynomial

**รายชื่อนักศึกษา**

นายประทีป เทียนชัยอนันต์ 47010421  
นายประสิทธิ์ แซ่เบ๊ 47010428

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท**

อ.วันวิสา ชัชวงษ์

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทร่วม**

รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช

**ระดับการศึกษา**

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

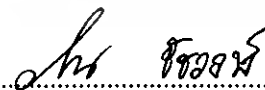
**ภาควิชา**

วิศวกรรมสารสนเทศ

**ปีการศึกษา**

2550

ปริญญาโทฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง



(อ.วันวิสา ชัชวงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อวิทยานิพนธ์</b>	การออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์เพื่อแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณสี่โดยใช้เบรินสไตน์โพลีโนเมียล
<b>รายชื่อนักศึกษา</b>	นายประทีป เทียนชัยอนันต์ 47010421 นายประสิทธิ์ แซ่เบ๊ 47010428
<b>อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์</b>	อาจารย์วันวิสา ชัชวงษ์ รศ.ดร.กนก เจริญพงษ์เวช
<b>ระดับการศึกษา</b>	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
<b>ภาควิชา</b>	วิศวกรรมสารสนเทศ
<b>ปีการศึกษา</b>	2550

### บทคัดย่อ

ในระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี่ สัญญาณจะถูกส่งผ่านวงจรต่าง ๆ รวมทั้งสายนำสัญญาณ ซึ่งมีปัญหามากกับผลตอบสนองทางขนาดของสัญญาณภาพที่มีความถี่สูง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอหลักการออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์ แบบปรับขนาดซึ่งสามารถลดระดับหรือยกระดับขนาดที่  $\pm 3$  dB ของสัญญาณโครมิแนนซ์ต่อสัญญาณลูมิแนนซ์ที่มีความผิดเพี้ยน โดยใช้การออกแบบด้วยเบรินสไตน์โพลีโนเมียล

ในการออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์ดังกล่าวข้างต้นได้นำเอาสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20 T ไซน์กำลังสองพัลส์ มาช่วยในการออกแบบเพื่อแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณสี่ในระบบการส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis title** Design of Amplitude Chrominance Equalizer using the Bernstein Polynomial

**Student** Mr.Prateep Tienchaiananda  
Mr.Prasit Saebae

**Advisor** Miss Vanvisa Chutchavong  
Assoc. Prof. Dr. Kanok Jachitrapongvej

**Graduate Level** Bachelor Degree of Information Engineering

**Department** Information Engineering

**Academic year** 2007

### ABSTRACT

In color television signal transmission system, video signal which transmit through any network and coaxial cable is normally deteriorate the magnitude response at high frequency

This project prefer to adjustable amplitude chrominance equalizer by using Bernstein polynomial. It can be increased or decreased by  $\pm 3$  dB at 4.43 MHz of color sub carrier with respect to Luminance signal by modulating 20T sine-squared test signal. It is shown that the proposed Equalizer can be used to correct the relative gain distortion of chrominance signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช และ อาจารย์วันวิสา  
ชัชวงษ์ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษา และให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งภาควิชา  
วิศวกรรมสารสนเทศ และขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลใกล้ชิดที่ให้ความช่วยเหลือใน  
ด้านต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด



นายประทีป เทียนชัยอนันต์  
นายประสิทธิ์ แซ่เบ๊

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวความคิดและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของ โครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการประมาณแบบเบียร์นสไตล์	3
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
3.1 ฟังก์ชัน โคร่งข่าย (network function)	6
3.2 วงจรกรองความถี่	6
3.3 การคืนอร์มาไลซ์ความถี่	7
3.4 การคืนอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์	8
3.5 การหาผลตอบสนองทางเฟส และ การหาผลตอบสนองทางขนาด	9
3.6 การวัดความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและดีเลย์ โดยใช้สัญญาณพัลส์โมดูเลชันไซน์ กำลังสอง (The Measurement of Gain Delay Distortion by using Modulation sine-Squaraed pulse)	10
3.7 ทฤษฎีและการหาสูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและดีเลย์	12
3.7.1 สาเหตุของการผิดเพี้ยน โดยความแตกต่างของอัตราขยายอย่างเดียว (Distortion Cause by Gain Difference Only)	13
3.7.2 สาเหตุของการผิดเพี้ยน โดยความแตกต่างของดีเลย์อย่างเดียว	15
3.7.3 กรณีที่เกิดการผิดเพี้ยนทางอัตราขยายและดีเลย์ พร้อมกัน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.8 ทฤษฎีการสร้างวงจรจากเน็ตเวิร์คฟังก์ชัน	17
3.8.1 วิธีการสร้างแบบ Cascade อันดับ 1	17
3.8.2 วิธีทางตรง (Direct Method)	23
บทที่ 4 การออกแบบ และ การจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	28
4.1 การออกแบบสมการอิกวอไลเซอร์	28
4.2 การจำลองการทำงานของวงจร โดยการใช้โปรแกรม Matlab	30
4.3 การออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์	34
4.4 การจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม Pspice	36
4.4.1 การจำลองสัญญาณทดสอบ	36
4.4.2 การจำลองผลลัพธ์ของสัญญาณทดสอบเมื่อผ่านวงจรอิกวอไลเซอร์	38
บทที่ 5 การทดลองและการทดสอบการทำงานของวงจร	50
บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์	54
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ฟังก์ชันความถี่ต่ำผ่าน	4
รูปที่ 3.1 แสดงผลตอบสนองทางความถี่เมื่อถูกทำการคิโนร์มาไลซ์ความถี่	8
รูปที่ 3.2 รูปวงจรมลิตสัญญาณรวม โมดูลีท 20T ไชน์กำลังสองพัลซ์	11
รูปที่ 3.3 แสดงการรวมสัญญาณ (b) + (c)	11
รูปที่ 3.4 แสดงความแตกต่างของความผิดเพี้ยนของอัตราขยายอย่างเดี่ยว	14
รูปที่ 3.5 แสดงการผิดเพี้ยนของคิเล็เพียงอย่างเดี่ยว (กรณี $Y1 = -Y2$ )	16
รูปที่ 3.6 แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายและคิเล็พร้อมกัน	16
รูปที่ 3.7 แสดงการ cascade กันของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน	18
รูปที่ 3.8 แสดงวงจร อินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์	18
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ที่สมบูรณ์	19
รูปที่ 3.10 แสดงรูปวงจรมลิตอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์ แบบที่ 2	20
รูปที่ 3.11 แสดงรูปวงจรมลิตอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์	20
รูปที่ 3.12 แสดงวงจร นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์แบบที่ 1	22
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์แบบที่ 2	23
รูปที่ 3.14 แสดงวงจร ชิงเกิ้ลแอมพลิฟายเออร์ แบบ วัน พอร์ท	24
รูปที่ 3.15 แสดงวงจร ทู แอมพลิฟายเออร์	27
รูปที่ 4.1 แสดงผลตอบสนองทางขนาดที่ $\pm 1$ dB	31
รูปที่ 4.2 แสดงผลตอบสนองทางเฟสที่ $\pm 1$ dB	31
รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองทางขนาดที่ $\pm 2$ dB	32
รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองทางเฟสที่ $\pm 2$ dB	32
รูปที่ 4.5 แสดงผลตอบสนองทางขนาดที่ $\pm 3$ dB	33
รูปที่ 4.6 แสดงผลตอบสนองทางเฟสที่ $\pm 3$ dB	33
รูปที่ 4.7 แสดงการจำลองวงจรมลิตสัญญาณทดสอบ 20T ไชน์กำลังสองพัลซ์	37
รูปที่ 4.8 แสดงการจำลองสัญญาณจากวงจรมลิตสัญญาณ 20T ไชน์กำลังสองพัลซ์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +1dB	38
รูปที่ 4.10 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +1dB	38
รูปที่ 4.11 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +1dB	39
รูปที่ 4.12 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ + 1dB เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์	39
รูปที่ 4.13 แสดงวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -1dB	40
รูปที่ 4.14 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -1dB	40
รูปที่ 4.15 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -1dB	41
รูปที่ 4.16 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ - 1dB เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์	41
รูปที่ 4.17 แสดงวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +2 dB	42
รูปที่ 4.18 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +2 dB	42
รูปที่ 4.19 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +2 dB	43
รูปที่ 4.20 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ +2 dB เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์	43
รูปที่ 4.21 แสดงวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -2 dB	44
รูปที่ 4.22 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -2 dB	44
รูปที่ 4.23 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -2 dB	45
รูปที่ 4.24 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ -2 dB เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์	45
รูปที่ 4.25 แสดงวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +3 dB	46
รูปที่ 4.26 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +3 dB	46
รูปที่ 4.27 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ +3 dB	47
รูปที่ 4.28 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ +3 dB เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์	47
รูปที่ 4.29 แสดงวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -3 dB	48
รูปที่ 4.30 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -3 dB	48
รูปที่ 4.31 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์ที่ -3 dB	49
รูปที่ 4.32 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ -3 dB เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอโคโนวไลเซอร์	49
รูปที่ 5.1 แสดงแผนภาพของระบบ	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 5.2 แสดงภาพอุปกรณ์และวงจรรอคิวไอเซออร์	50
รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณทดสอบ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอเซออร์ที่ +1 dB	51
รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณทดสอบ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอเซออร์ที่ +2 dB	51
รูปที่ 5.5 แสดงสัญญาณทดสอบ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอเซออร์ที่ +3 dB	52
รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณทดสอบ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอเซออร์ที่ -1 dB	52
รูปที่ 5.7 แสดงสัญญาณทดสอบ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอเซออร์ที่ -2 dB	53
รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณทดสอบ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ เมื่อผ่านวงจรรอคิวไอเซออร์ที่ -3 dB	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวความคิดและที่มา

ในระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์นั้น สัญญาณภาพรวมซึ่งประกอบด้วยสัญญาณลูมิแนนซ์(luminance signal) กับสัญญาณโครมิแนนซ์(chrominance signal) จะถูกส่งผ่านวงจรต่าง ๆ รวมทั้งสายส่งก่อนที่จะถูกส่งออกอากาศไปยังเครื่องรับ ซึ่งสัญญาณที่ส่งไปนั้นอาจเกิดปัญหากับผลตอบสนองความถี่ (frequency response) ของสัญญาณภาพที่มีความถี่สูง โดยทำให้สัญญาณโทรทัศน์มีอัตราขยายทางขนาดของสัญญาณโครมิแนนซ์ไม่เท่ากับสัญญาณลูมิแนนซ์ ซึ่งเรียกว่าเป็นความผิดเพี้ยนทางขนาด ดังนั้นสัญญาณที่รับได้ทางภาครับจึงผิดเพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งเกิดจากผลตอบสนองที่ไม่คงที่(non flat response) โดยในระบบการรับส่งสัญญาณโดยทั่วไปมักจะให้ลักษณะทางขนาดต่อความถี่ของระบบราบเรียบที่สุด (maximally flat amplitude characteristic) ซึ่งบางกรณีอาจจะต้องมีการยกระดับหรือลดระดับของสัญญาณบางช่วงความถี่เพื่อแก้ไขความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณโครมิแนนซ์ ในระบบการส่งสัญญาณภาพ ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบวงจรที่ใช้ปรับสัญญาณอิกวอไลเซอร์เพื่อแก้ไขปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์
2. เพื่อศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาค่าความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณลูมิแนนซ์ต่อสัญญาณโครมิแนนซ์
3. เพื่อศึกษาการวัด โดยใช้การทดสอบด้วยสัญญาณทดสอบ 20T ไซน์กำลังสองพัลส์
4. เพื่อศึกษาการจำลองการทำงาน (simulate) ของวงจรด้วยซอฟต์แวร์โดยใช้โปรแกรม Matlab และ Pspice

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ทำการออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์ที่ช่วยยกหรือลดระดับผลตอบสนองทางขนาดของสัญญาณในย่านความถี่สูง เพื่อแก้ไขความผิดเพี้ยนของอัตราขยาย โดยการจำลองผลตอบสนองทางความถี่โดยใช้ Matlab เพื่อแสดงผลตอบสนอง และออกแบบวงจรเพื่อแก้ความผิดเพี้ยนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณสี่ของสัญญาณโทรทัศน์ โดยใช้สัญญาณทดสอบ 20T ไซน์กำลังสองพัลส์ เพื่อลดหรือ ยกเลิกสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม Pspice แล้วทำการต่อวงจรเพื่อแก้ไขความผิดเพี้ยนของ สัญญาณ

#### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการงาน
2. กำหนดจุดประสงค์ขอบเขตในการทำงาน
3. ศึกษาอุปกรณ์ต่าง ๆ และ โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการงาน
4. ศึกษาการออกแบบวงจรกรองแอมพลิจูด
5. ศึกษาเบรินสไคน์โพลีโนเมียล
6. ทำการจำลองผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองแบบเบรินสไคน์
7. ทำการออกแบบ และ วัดผลตอบสนองจากวงจรที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีการประมาณแบบเบียร์นสไตน์

การออกแบบวงจรกรอง หรือ วงจรอิกควอไลเซอร์ สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของการประมาณ (Approximation) คือ ส่วนของการเลือกคุณฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับคุณสมบัติที่ต้องการ และ ส่วนของการสังเคราะห์ คือ การออกแบบระบบ ให้เป็นไปตามคุณสมบัติ และการเลือกโครงสร้างของวงจรและอุปกรณ์ที่เหมาะสม

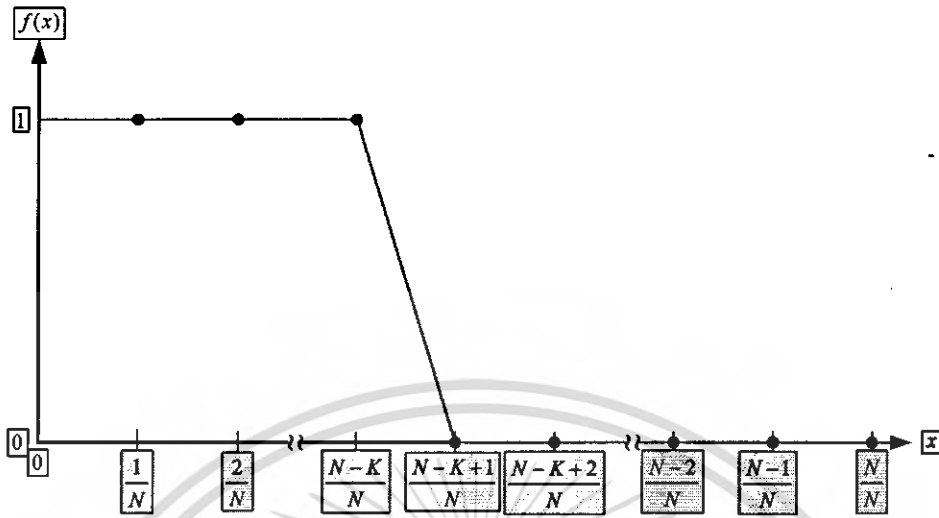
ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกทฤษฎีการประมาณแบบเบียร์นสไตน์มาใช้ในการออกแบบซึ่งมีลักษณะเด่นที่สำคัญ คือ เป็นวงจรกรองความถี่ที่มีความราบเรียบที่สุด (MAXFLAT) ประกอบกับการที่มีผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้น และ อีกประการหนึ่ง คือ สามารถควบคุมลักษณะทางขนาด เฟส โดยใช้พารามิเตอร์ควบคุมเพียง 3 ตัว คือ  $N$ ,  $K$  และ  $\epsilon$

กำหนดให้  $B_N(f; x)$  คือ เบียร์นสไตน์โพลิโนเมียล ที่ อันดับ  $N$  และ  $f(x)$  คือ ฟังก์ชันการประมาณในช่วง  $(0,1)$  แสดงดังสมการที่ (2.1)

$$B_N(f; x) = \sum_{i=0}^N f\left(\frac{i}{N}\right) \binom{N}{i} x^i (1-x)^{N-i} \quad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) เมื่อฟังก์ชันถูกหารด้วย  $N$  เท่ากับช่วงเวลา  $(0,1)$  ฟังก์ชันการประมาณนี้มีค่าทั้งหมด  $(N+1)$  จุด ถ้ากำหนดฟังก์ชันการประมาณเป็นฟังก์ชันความถี่ต่ำผ่าน สามารถแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อ  $K$  คือ จำนวนจุดของฟังก์ชันที่ให้ค่าเป็นศูนย์ แสดงดังสมการที่ (2.2)

$$f\left(\frac{i}{N}\right) = \begin{cases} 1, & 0 \leq i \leq N-K \\ 0, & N-K+1 \leq i \leq N \end{cases} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 ฟังก์ชันความถี่ต่ำผ่าน

แทนสมการที่ (2.1) ลงในสมการที่ (2.2) จะได้

$$B_N(f;x) = \sum_{i=0}^N \binom{N}{i} x^i (1-x)^{N-i} \quad (2.3)$$

จัดรูปสมการใหม่ ได้

$$B_{N,K}(f;x) = (1-x)^K \sum_{i=0}^{N-K} \binom{N-K}{i} x^i \quad (2.4)$$

ทำการแปลง หรือ ทรานส์ฟอร์มเมชัน คือ

$$x = \frac{\Omega^2}{1+\Omega^2} \quad (2.5)$$

จากเดิม x เป็นช่วงที่อยู่ระหว่าง (0,1) เมื่อใช้การแปลงตัวแปรในสมการที่ (2.5) ทำให้มีช่วงเป็น (0, ∞) นำลงไปแทนในสมการที่ (2.4)

$$B_{N,K}(f;\Omega) = \frac{\sum_{i=0}^{N-K} \binom{N-K}{i} \Omega^{2i}}{(1+\Omega^2)^N} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.6) เป็นสมการที่แสดงให้เห็นว่าเป็นตัวกรองแอนะล็อกที่ให้ผลตอบสนองมีความราบเรียบที่สุด(Maxflat) ซึ่งได้จากโพลีโนเมียล Bernstein

จากการเบิร์นสไตน์โพลีโนเมียล เราจะนำมาใช้ในการออกแบบวงจรกรอง โดยใช้ characteristic function โดยการแทนค่าในสมการ (2.7)

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0}{1 + \varepsilon^2 \beta^2(j\omega)} \quad (2.7)$$

นำสมการเบิร์นสไตน์โพลีโนเมียล (2.6) แทนลงในสมการ (2.8) จะได้

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H^2}{1 + \varepsilon^2 \frac{\left( \sum_{i=0}^{N-K} \binom{N}{i} \left(\frac{1}{\omega}\right)^{2i} \right)^2}{\left(1 + \frac{1}{\omega^2}\right)^N}} \quad (2.8)$$

สามารถลดรูปสมการได้เป็น

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{(1 + \omega^2)^{2N}}{(1 + \omega^2)^{2N} + \varepsilon^2 \omega^{4N} \left[ \sum_{i=0}^{N-K} \binom{N}{i} \left(\frac{1}{\omega}\right)^{2i} \right]^2} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 ฟังก์ชันโครงข่าย (network function)

ฟังก์ชันโครงข่าย คือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่จะกำหนดผลตอบสนองทางความถี่ (frequency response) ของวงจร ซึ่งสามารถมองได้สองลักษณะคือ สัญญาณในโดเมนของเวลา และ สัญญาณในโดเมนของความถี่ อย่างไรก็ตามในการศึกษาวงจรกรองเราจะสนใจสัญญาณในโดเมนของความถี่

รูปแบบทั่วไปของฟังก์ชันโครงข่าย

$$H(s) = \frac{A(s)}{B(s)} = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ms^m}{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_ns^n} \quad (3.1)$$

โดย  $H(s)$  คือ ฟังก์ชันโครงข่ายของระบบ และเราจะนิยามให้ โพล (poles) และซีโร (zeros) ของฟังก์ชันโครงข่ายคือค่าตัวแปร  $s$  ที่ทำให้  $H(s)$  เท่ากับ  $\infty$  และ  $0$  ตามลำดับ โดยเราสามารถแสดงได้ว่าเมื่อ  $m$  และ  $n$  คืออันดับของ  $A(s)$  และ  $B(s)$  ตามลำดับแล้ว  $A(s)$  และ  $B(s)$  จะมีรากเป็นจำนวน  $m$  และ  $n$  ตามลำดับ โดยที่ รากทุกตัวของ  $A(s)$  คือซีโรของ  $H(s)$ , รากทุกตัวของ  $B(s)$  คือ โพลของ  $H(s)$

$$\text{เช่น } H(s) = \frac{s^2 - 1}{s^2 - 4} = \frac{(s-1)(s+1)}{(s-2)(s+2)} \quad (3.2)$$

ค่าซีโร คือ  $\pm 1$ , ค่าโพล คือ  $\pm 2$  ผลของโพลและซีโรจะกำหนดผลตอบสนองของระบบ

#### 3.2 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ คือ วงจรที่ถูกออกแบบให้แถบความถี่ของสัญญาณที่ต้องการผ่านไปได้ และทำการกำจัดหรือลดทอนแถบความถี่อื่นที่ไม่ต้องการ

ประเภทของวงจรกรอง แบ่งเป็น

- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass Filter) จะผ่านแถบความถี่ต่ำและลดทอนแถบ

ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (Highpass Filter) จะผ่านแถบความถี่สูง และลดทอนแถบความถี่ต่ำ
- วงจรกรองผ่านแถบความถี่ (Bandpass Filter) จะผ่านแถบความถี่ภายใน( $\omega_1 - \omega_2$ ) และกำจัด หรือลดทอนแถบความถี่ภายนอก
- วงจรกรองกำจัดแถบความถี่ (Bandstop Filter) จะผ่านแถบความถี่ภายนอก และกำจัด หรือลดทอนแถบความถี่ภายใน

### 3.3 การคืนอร์มาไลซ์ความถี่

โดยทั่วไปฟังก์ชัน โคร่งข่ายที่ออกแบบมาจากฟังก์ชันคณิตศาสตร์จะมีความถี่กึ่งกลางไม่เท่ากับความถี่ที่จะใช้งาน จึงจะทำการเปลี่ยนค่าความถี่กึ่งกลาง ซึ่งเรียกว่า การคืนอร์มาไลซ์ความถี่ (Frequency denormalization) ได้ โดยการเปลี่ยนฟังก์ชัน  $f_n$  เป็นฟังก์ชัน  $f_n = f_n(x/\Omega_n)$  โดย  $\Omega$  คือ ค่าคงที่ของการคืนอร์มาไลซ์ความถี่ (frequency-denormalization constant)

ในทำนองเดียวกันถ้าเรามีฟังก์ชัน โคร่งข่าย  $H_n(s)$  ใด ๆ เราสามารถแสดงได้ว่าฟังก์ชัน  $H(s) = H(s/\Omega)$  จะมีผลตอบสนองทางความถี่ ในลักษณะเดียวกับ  $H(s)$  แต่แกนความถี่  $\omega$  จะถูกสเกลด้วยอัตรา  $\Omega : 1$  เช่น

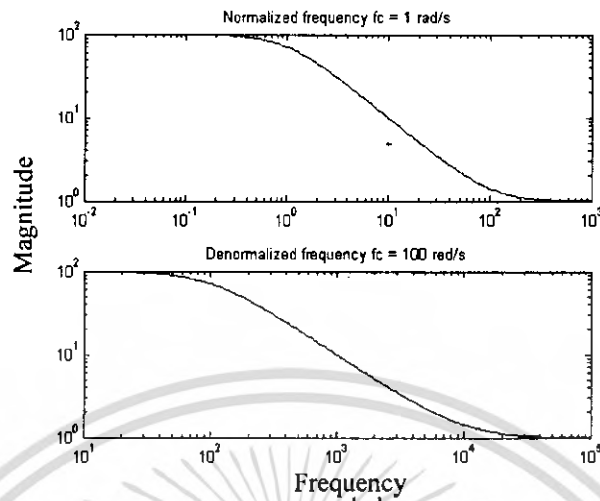
$$H(s) = \frac{s+100}{s+1} \quad (3.3)$$

ทำการคืนอร์มาไลซ์ความถี่ได้ โดยการแทน  $s$  ด้วย  $\frac{s}{\Omega}$  คือ

$$H(s) = H_n\left(\frac{s}{\Omega}\right) = \frac{(s/\Omega+100)}{(s/\Omega+1)} = \frac{s+100\Omega}{s+1\Omega} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $\Omega = 100$  จะได้

$$H(s) = \frac{s+10000}{s+100} \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.1 แสดงผลตอบสนองทางความถี่เมื่อถูกทำการคืนอร์มาไลซ์ความถี่

การคืนอร์มาไลซ์ความถี่ให้วงจรใด ๆ จะส่งผลให้ค่าอุปกรณ์เปลี่ยนไปด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าเดิมในวงจรมีขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่มีค่าความเหนี่ยวนำและความจุเท่ากับ  $L$  เฮนรีและ  $C$  ฟารัด ตามลำดับ นั่นคืออิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ทั้งสองจะเท่ากับ  $Z_L(s) = sL, Z_C(s) = 1/sC$  การคืนอร์มาไลซ์ความถี่โดยการแทนค่า  $s$  ด้วย  $\frac{s}{\Omega_n}$  จะได้

$$Z_L(s) = Z_{nL}(s/\Omega_n) = s(L/\Omega_n) \quad (3.6)$$

$$Z_C(s) = Z_{nC}(s/\Omega_n) = \frac{1}{s(C/\Omega_n)} \quad (3.7)$$

ซึ่งจะทำให้ค่าตัวเก็บประจุเปลี่ยนจาก  $C$  เป็น  $C/\Omega_n$  และ  $L$  เป็น  $L/\Omega_n$

### 3.4 การคืนอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์

ในการออกแบบวงจรค่าของอุปกรณ์ที่ใช้มักจะมีค่าอยู่ในหลักหน่วยที่ไม่เหมาะสม เช่น  $1\Omega, 1F, 1H$  แต่ในทางปฏิบัติค่าอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่เป็นไปตามนี้ ตัวอย่างเช่นค่าของตัวเก็บประจุของวงจรกรองมักมีค่าไม่เกินหลัก  $\mu F$  ดังนั้นในการออกแบบวงจรกรองเพื่อให้ค่าอุปกรณ์ที่เหมาะสมเราจึงต้องทำการคืนอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance denormalization) วงจรกรองด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z(s) = z_n Z_n(s) \quad (3.8)$$

โดย  $Z_n(s)$  คือ ค่านอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์ (Normalized impedance) หรือค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ก่อนการทำให้ค่านอร์มาไลซ์ ค่า

$Z(s)$  คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์หลังการค่านอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์ (ค่าอุปกรณ์ที่จะใช้ในวงจรจริง)

$z_n$  คือ ค่าคงที่ของการค่านอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์

ตัวอย่างเช่น ถ้าในวงจรมีตัวต้านทาน ขดลวดเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุ ที่มีค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความจุ เท่ากับ  $R, L$  และ  $C$  ตามลำดับ เมื่อทำการค่านอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์ แล้ว ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ทั้งสามจะเปลี่ยนเป็น

$$Z_R(s) = z_n R$$

$$Z_L(s) = s(z_n L)$$

$$Z_C(s) = \frac{1}{s(C/z_n)}$$

ตามลำดับ นั้นหมายความว่าเราจะได้ค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำและค่าความจุของตัวต้านทาน ขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเท่ากับ  $z_n R, z_n L$  เฮนรี และ  $C/z_n$  ฟารัด ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการค่านอร์มาไลซ์อิมพีแดนซ์ ถ้าเราต้องการลดค่าความจุของตัวเก็บประจุก็ต้องเพิ่มค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำของตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำลงไป ในอัตราส่วนเดียวกัน

### 3.5 การหาผลตอบสนองทางเฟส และ การหาผลตอบสนองทางขนาด

จากฟังก์ชันถ่ายโอน

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (3.9)$$

ทำการแทนค่า  $s$  ด้วย  $j\omega$  แล้วทำการแยกหาส่วนจริงและส่วนจินตภาพจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(j\omega) = \frac{N(j\omega)}{D(j\omega)} = \frac{\text{Re } N(j\omega) + j \text{Im } N(j\omega)}{\text{Re } D(j\omega) + j \text{Im } D(j\omega)} \quad (3.10)$$

ทำการแปลงให้อยู่ในรูป Polar form จะได้

$$H(j\omega) = \left| \frac{N(j\omega)}{D(j\omega)} \right| \frac{e^{j\theta_N(\omega)}}{e^{j\theta_D(\omega)}} \quad (3.11)$$

$$H(j\omega) = \left| \frac{N(j\omega)}{D(j\omega)} \right| e^{j(\theta_N(\omega) - \theta_D(\omega))} \quad (3.12)$$

ทำการหาผลตอบสนองทางขนาดจะได้

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{N(j\omega)}{D(j\omega)} \right| = \frac{\sqrt{[\text{Re } N(j\omega)]^2 + [j \text{Im } N(j\omega)]^2}}{\sqrt{[\text{Re } D(j\omega)]^2 + [j \text{Im } D(j\omega)]^2}} \quad (3.13)$$

ทำการหาผลตอบสนองทางความถี่จะได้

$$\begin{aligned} \theta(\omega) &= \theta_N(\omega) - \theta_D(\omega) \\ \theta(\omega) &= \tan^{-1} \left[ \frac{\text{Im } N(j\omega)}{\text{Re } N(j\omega)} \right] - \tan^{-1} \left[ \frac{\text{Im } D(j\omega)}{\text{Re } D(j\omega)} \right] \end{aligned} \quad (3.14)$$

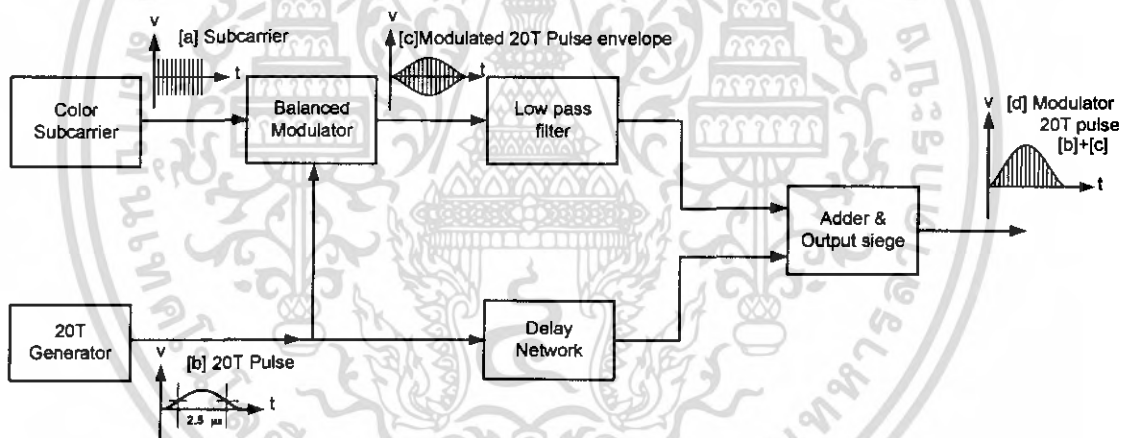
### 3.6 การวัดความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและคิเลย์ โดยใช้สัญญาณพัลส์ โมดูเลชันไซน์กำลังสอง (The Measurement of Gain Delay Distortion by using Modulationsine-Squared pulse)

ในการวัดคุณสมบัติของสายส่งสำหรับงานด้านโทรทัศนส์ การทดสอบมิแนนซ์โคร-มิแนนซ์ อัตราขยายและคิเลย์ อินอิกควอลิตี้ (Luminance-Chrominance Gain and Delay Inequality) โดยการใช้สัญญาณรวม (Composite Signal) ซึ่งประกอบด้วยพัลส์กำลังสองหรือโคไซน์กำลังสองอย่างใดอย่างหนึ่ง ในที่นี้จะกล่าวถึงพัลส์โคไซน์กำลังสอง (Sine Squared Pulse) รวมกับพัลส์มอด (Pulse Mod) ที่ความถี่คลื่นพาหะของสี (Color Sub carrier) ในกรณีที่ไม่มี ความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น

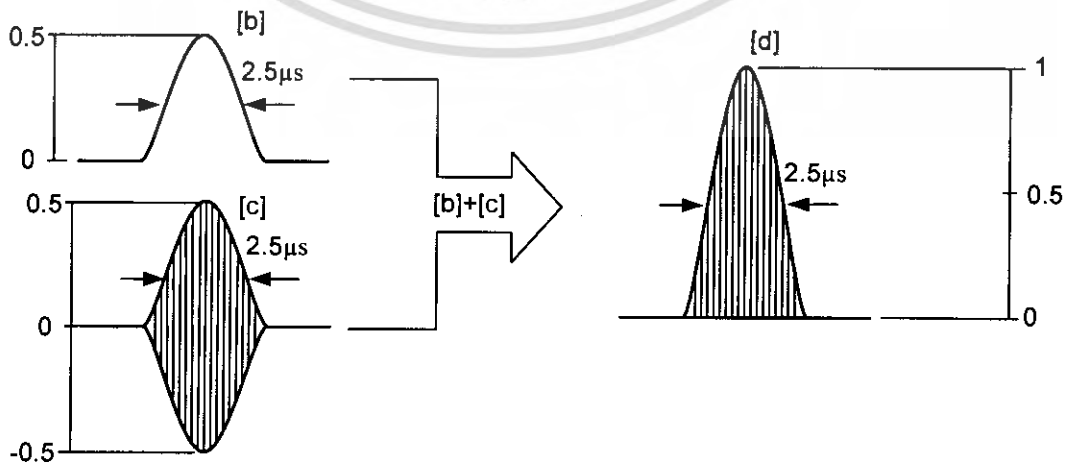
สัญญาณรวมจะมีเ็นvelope (Envelope) โดยเฉพาะที่ฐานของพัลส์ (Baseline) เป็นเส้นตรงและในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เกิดความผิดเพี้ยนขึ้นในระบบการส่ง จากการสังเกตเอ็นโวลอปของฐานของพัลส์ (Envelope of Baseline) ซึ่งอาจจะเกิดเป็นสัญลักษณ์ของไซน์ หรือโคไซน์นั้นเราสามารถพิจารณาได้จาก ออสซิลโลสโคป โดยการวัดค่ายอด (peak) สูงสุดและต่ำสุดของฐานพัลส์เราก็สามารถคำนวณหาค่า อัตราการขยาย (Gain) และดีเลย์ (Delay) ได้

สัญญาณรวมโมดูเลตพัลส์ 20T (Composite 20T pulse) สามารถสร้างขึ้นได้ ดังแสดงในรูป 3.8 โดยการป้อนสัญญาณพัลส์ 20T จากเครื่องกำเนิด รูป (b) โดยสัญญาณดังกล่าวมีค่า h.a.d. 2 ไมโครวินาที ในระบบ PAL และ 2.5 ไมโครวินาทีในระบบ NTSC. แล้วมีออกกับสัญญาณคัลเลอร์ ขับแคเรียอร์ (a) จะได้สัญญาณรูป (c) โดยสัญญาณที่มีออกแล้วจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบวช กว้าง เพื่อกรองเอาฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออก ส่วนสัญญาณจาก (b) อีกทางหนึ่งจะผ่านวงจรหนึ่ง (Delay network) เพื่อปรับให้สัญญาณ (b) กับสัญญาณ (c) มีไทม์มิ่งเท่ากัน แล้วจึงผ่านวงจรรวม (adder) ก็จะได้สัญญาณรวมโมดูเลตพัลส์ 20T ในรูป (d) ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาใช้วัดความ ผิดเพี้ยนของสัญญาณ โทรทัศน์สี



รูปที่ 3.2 รูปวงจรผลิตสัญญาณรวม โมดูเลต 20T



รูปที่ 3.3 แสดงการรวมสัญญาณ (b) + (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 ทฤษฎีและการหาสูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและคิเลย์

การหาความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี (Chrominance signal) ทั้งอัตราขยาย (gain) ซึ่งใช้สัญลักษณ์  $A$  และ ไทม์ คิเลย์ ( $\tau$ ) โดยผลจากการคำนวณหาความผิดเพี้ยนทั้ง  $A$  และ  $\tau$  จะสัมพันธ์กับค่ายอดทั้งสองจากฐานของพัลส์ ซึ่งในทางปฏิบัติถ้าทราบค่ายอดจากฐานของพัลส์ ก็สามารถที่จะหาความผิดเพี้ยนของพัลส์ว่าในระบบทดสอบ (System Under test) จะมีผลต่อสัญญาณสีทางด้านไหน เช่น ระบบทดสอบอาจมีผลทางด้านความผิดเพี้ยนของอัตราขยาย (Gain distortion) อย่างเดียว หรือความผิดเพี้ยนทางด้านไทม์ คิเลย์ (Time delay Distortion) เพียงอย่างเดียว หรือมีผลของความผิดเพี้ยนทั้งอัตราขยาย ไทม์ คิเลย์ ซึ่งในบทนี้จะแสดงค่าโดยประมาณด้วยค่าที่กำหนดให้ของค่ายอดทั้งสองที่ฐานของพัลส์และอัตราขยายที่ไม่เท่ากัน ( $A$ ) และคิเลย์อินอิควอลิตี้ ( $\tau$ ) ที่สัมพันธ์กัน

วิธีการคำนวณของอัตราขยาย และคิเลย์อินอิควอลิตี้ กำหนดสัญลักษณ์การคำนวณดังต่อไปนี้

$f(t)$  = เบสไลน์ฟังก์ชันของ โคไซน์กำลังสองพัลส์

$u(t)$  = เอ็นวิโพล ด้านบนของ โคไซน์กำลังสองพัลส์

$l(t)$  = เอ็นวิโพล ด้านล่างของ โคไซน์กำลังสองพัลส์

$Y_1$  &  $Y_2$  = ขนาดของเบสไลน์ด้านล่างของ โคไซน์กำลังสองพัลส์

$A$  = อัตราขยายของโคไซน์กำลังสองพัลส์ที่ได้ถูกรวมกับเบสแบน (base band) ที่สัมพันธ์กัน

$\tau$  = คิเลย์อินอิควอลิตี้ ส่วนที่ถูกรวมเข้าไป หรือนำหน้าสัญญาณที่ยังไม่มีการมอด

$T_0$  = ระยะเวลาของขนาดของพัลส์ ในกรณีของ 20T pulse คือ  $2\mu s$ . และ  $12.5T$

สามารถคำนวณเอ็นวิโพลด้านบนและด้านล่างดังนี้

$$U(t) = f(t) + Af(t - \tau) \quad (3.15)$$

$$l(t) = f(t) - Af(t - \tau) \quad (3.16)$$

และค่าเบสแบน (Baseband) ก็คือ

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} \cos^2 \frac{\pi t}{2T_0} & 0 < t < T_0 \\ 0 & t > T_0 \end{cases} \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า เอ็นวิโลปด้านบนและด้านล่างสามารถแสดงได้ดังนี้

$$A = \frac{1 - (y_1 + y_2 + y_1 y_2)}{1 + (y_1 + y_2 - y_1 y_2)} \quad (3.18)$$

โดยกำหนดให้  $y_1 = \frac{Y_1}{Y_{\max}}, \quad y_2 = \frac{Y_2}{Y_{\max}}$

จากเอ็นวิโลปด้านล่างที่ฐานของพัลส์เราสามารถหาค่าดีเลย์ อินอควอลิตี้ (Delay Inequality) จากค่ายอดทั้งค่าบวกและค่าลบของ  $Y_1$  และ  $Y_2$  ตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้สูตรสำเร็จในการหาค่าดีเลย์ อินอควอลิตี้ดังนี้

$$\tau = \frac{T_0}{\pi} \cos^{-1} \left[ \frac{8y_1 y_2}{\{1 - (y_1 + y_2 + y_1 y_2)\} \cdot \{1 + (y_1 + y_2 - y_1 y_2)\}} \right] \quad (3.19)$$

ค่ายอดทั้งค่าบวกและค่าลบของเอ็นวิโลปด้านล่างจากฐานของพัลส์  $Y_1$  และ  $Y_2$  ทำการ normalized ด้วยค่ายอดสูงสุดของเอ็นวิโลปด้านบน นั่นก็คือ

$$y_1 = \frac{Y_1}{Y_{\max}}, \quad y_2 = \frac{Y_2}{Y_{\max}}$$

สมการ (3.18) และสมการ (3.19) เป็นสูตรสำเร็จที่ใช้ในการวัดความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและดีเลย์ อินอควอลิตี้ ตามลำดับ

### 3.7.1 สาเหตุของการผิดเพี้ยนโดยความแตกต่างของอัตราขยายอย่างเดียว (Distortion cause by gain difference only)

ในกรณีนี้แสดงว่าค่ายอด  $Y_1$  และ  $Y_2$  ค่าใดค่าหนึ่งมีค่าเป็น 0 ดังนั้นจะไม่มี ความผิดเพี้ยนทางดีเลย์เกิดขึ้นก็คือ  $\tau = 0$  เพราะฉะนั้นความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นจึงมีค่าความผิดเพี้ยนของอัตราขยายอย่างเดียวซึ่งสามารถให้เห็นจริงได้ ดังนี้

เมื่อ  $Y_1$  หรือ  $Y_2$  มีค่าเป็น 0 สมการ (3.20) จะกลายเป็น

$$\tau = \frac{T_0}{\pi} \cos^{-1}(1) = 0$$

และสมการ (3.18) จะกลายเป็น

$$A = \frac{1 - y_{1,2}}{1 + y_{1,2}} = \frac{1 - \frac{Y}{Y_{max}}}{1 + \frac{Y}{Y_{max}}} \tag{3.20}$$

ซึ่ง  $(y_{1,2})$  หรือ  $Y$  อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบ เนื่องจากขนาดของความผิดเพี้ยนที่สัมพันธ์กัน

คังรูป (3.11)

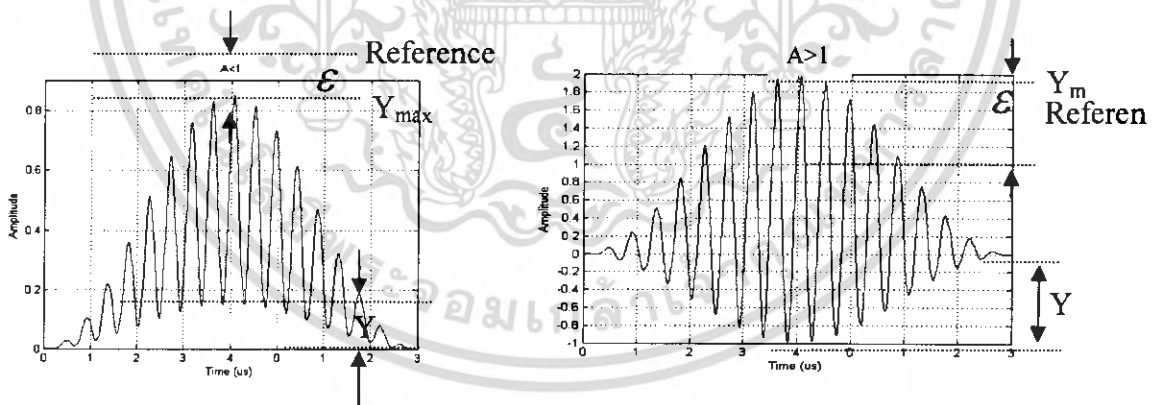
โดย

$$A = \frac{1 - y}{1 + y}$$

(ก) อัตราการขยายต่ำ

$$A = \frac{1 + y}{1 - y}$$

(ข) อัตราการขยายสูง



รูปที่ 3.4 แสดงความแตกต่างของความผิดเพี้ยนของอัตราขยายอย่างเดียว

ความผิดเพี้ยนของอัตราการขยาย ( $\epsilon$ ) พิจารณาได้จากสมการ (3.20) ดังนี้

$$\epsilon = 1 - A = \frac{2Y/Y_{max}}{1 - Y/Y_{max}} \tag{3.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า  $1 \gg Y/Y_{\max}$  ดังนั้น  $\varepsilon = 2Y/Y_{\max}$

ซึ่ง  $2Y/Y_{\max}$  จะถูกเรียกเป็น Relative Chrominance Level (RCL) และบางครั้งถูกเรียกว่า Relative Amplitude of the Color Sub – Carrier

### 3.7.2 สาเหตุของการผิดเพี้ยนโดยความแตกต่างของดีเลย์อย่างเดียว

ในกรณีที่  $Y_1 = Y_2$  ซึ่งฐานของพัลส์มีรูปร่างเป็นคลื่นไซน์ที่มีค่ายอดเท่ากัน แต่อยู่ตรงข้าม แสดงว่าไม่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราขยาย ความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นมีแต่ความผิดเพี้ยนทางค่านิเสธเพียงอย่างเดียว ดังได้แสดงต่อไปนี้

จากสมการ (3.18) แทนค่า  $Y_1 = Y_2$  จะได้ดังนี้

$$A = \frac{1 + (Y/Y_{\max})^2}{1 + (Y/Y_{\max})^2} = 1 = 0 \text{ db}$$

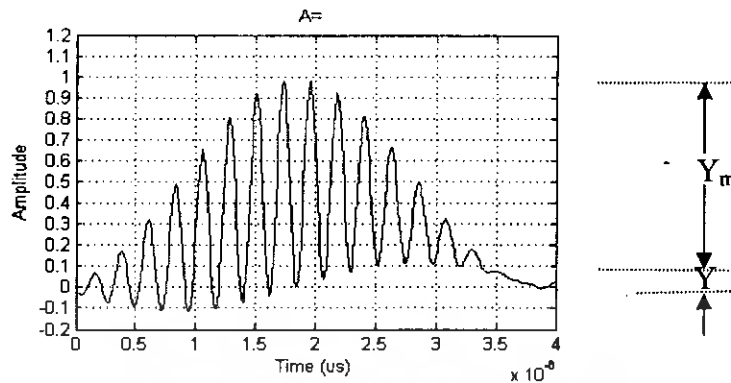
จากสมการ (3.19) จะกลายเป็น

$$\tau = \frac{T_0}{\pi} \cos^{-1} \left[ 1 - \frac{8(Y/Y_{\max})^2}{\{1 + (Y/Y_{\max})^2\}^2} \right] \quad (3.22)$$

โคไซน์อินเวอร์สทางตรีโกณมิติ สมการ (3.22) จะกลายเป็น

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2T_0}{\pi} \tan^{-1} \frac{2Y/Y_{\max}}{\{1 - (Y/Y_{\max})^2\}} \\ &= \frac{4T_0}{\pi} \tan^{-1} \frac{Y}{Y_{\max}} \end{aligned} \quad (3.23)$$

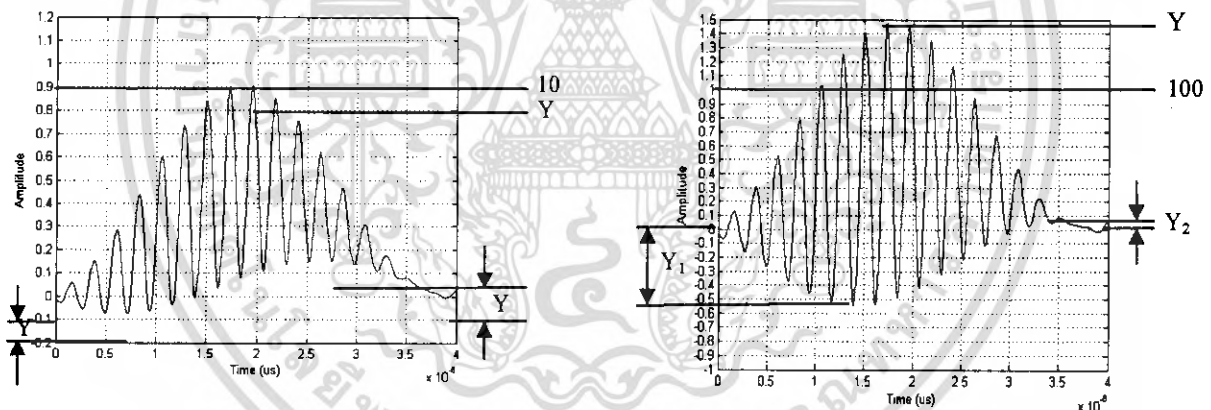
จะเห็นว่าเมื่อ  $Y_1 = -Y_2$  จะได้  $A = 0 \text{ dB}$  ส่วนการผิดเพี้ยนทางค่านิเสธดังแสดงดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงการผิดเพี้ยนของดีเลย์เพียงอย่างเดียว (กรณี  $Y_1 = -Y_2$ )

### 3.7.3 กรณีที่เกิดการผิดเพี้ยนทางอัตราขยายและดีเลย์ พร้อมกัน

กรณีที่เกิดการผิดเพี้ยนทางอัตราขยายและดีเลย์ พร้อมกัน ในกรณีที่เกิดความผิดเพี้ยนทั้งสองแบบ ค่าออกทั้งบวกและลบ มีค่าแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายและดีเลย์ พร้อมกัน

เมื่อความผิดเพี้ยนมีค่าน้อย ดังนั้นผลคูณของ  $Y_1 Y_2$  สามารถตัดทิ้งได้ สมการ (3.18) และ (3.19) อาจเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$A = \frac{1 - (y_1 + y_2)}{1 + (y_1 + y_2)} \tag{3.24}$$

$$\tau = \frac{T_0}{\pi} \cos^{-1} \left[ 1 + \frac{8y_1 y_2}{1 - (y_1 y_2)} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถ้า  $(y_1 + y_2)^2 \ll 1$  ความผิดพลาดทางด้านดีเลย์อาจเขียนได้ใหม่ คือ

$$\tau = \frac{4T_0}{\pi} \sqrt{-y_1 y_2} \tag{3.25}$$

ความผิดพลาดทางอัตราขยายคำนวณด้วยสมการ (3.18) และ (3.24) จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากและความผิดพลาดทางด้านดีเลย์เมื่อคำนวณด้วยสมการ (3.19) และ (3.25) ค่าที่ได้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อผลคูณ  $y_1 y_2$  มีค่าน้อย

### 3.8 ทฤษฎีการสร้างวงจรจากเน็ตเวิร์คฟังก์ชัน

#### การออกแบบ

เทคนิคการสังเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอน โดยใช้อุปกรณ์ แอ็กทีฟ RC มี 2 วิธี คือ (1) วิธี Cascade ซึ่ง ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน จะแยกตัวประกอบให้อยู่ในรูปผลคูณของลำดับที่ 1 หรือ ลำดับที่ 2 โดยแต่ละเทอมสามารถนำมาสร้างวงจรโดยใช้วงจร แอ็กทีฟ RC ได้โดยเดี่ยว ๆ และนำเอาวงจรที่สร้างได้แต่ละ ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน มาต่อ cascade กันก็จะได้ ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ทั้งหมด และ (2) วิธี Direct Method จาก ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ที่ต้องการสามารถนำมาสร้างวงจรเพียงวงจรเดียวได้

#### 3.8.1 วิธีการสร้างแบบ Cascade อันดับ 1

พิจารณา ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ทั่วไปที่แยกตัวประกอบอยู่ในรูป

$$H(s) = \frac{(s - z_1)(s - z_2)(s - z_3) \dots (s - z_n)}{(s - p_1)(s - p_2)(s - p_3) \dots (s - p_m)} \tag{3.26}$$

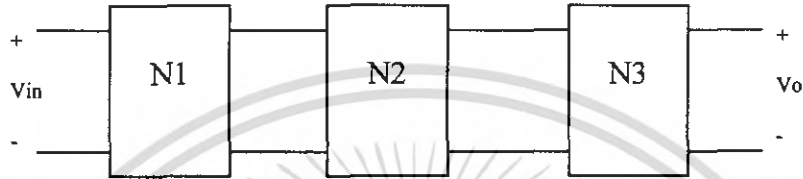
จากสมการ (1) สามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$H(s) = \left[ \frac{s - z_1}{s - p_1} \right] \left[ \frac{s - z_2}{s - p_2} \right] \left[ \frac{s - z_3}{s - p_3} \right] \dots \left[ \frac{s - z_n}{s - p_m} \right] \tag{3.27}$$

จากสมการ (3.27) สามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูป ทรานเฟอร์ฟังก์ชันย่อย ๆ ได้ดังนี้

$$H(s) = H_1(s)H_2(s)H_3(s)\dots H_q(s) = \prod_{i=1}^q H_i(s) \quad (3.28)$$

สามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการ cascade กันของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

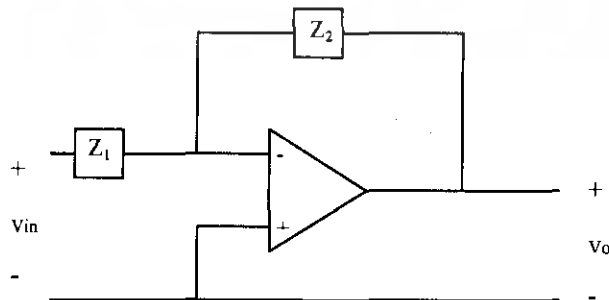
จากสมการที่ (3.27) และ (3.28) จะพบว่าแต่ละทรานเฟอร์ฟังก์ชันย่อย จะมีเลขยกกำลังสูงสุดเท่ากับ 1 จึงสามารถนำหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับ อินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ และ นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ มาใช้งาน

เมื่อกำหนดให้

$$H(s) = K \frac{s+a}{s+b} \quad (3.29)$$

### อินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์(Inverting Amplifier)

เมื่อ a และ b เป็นค่าจำนวนจริง ซึ่งสามารถใช้โครงสร้างของ อินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ ได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงวงจร อินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้โวลต์เตจทรานเฟอร์ฟังก์ชันดังนี้

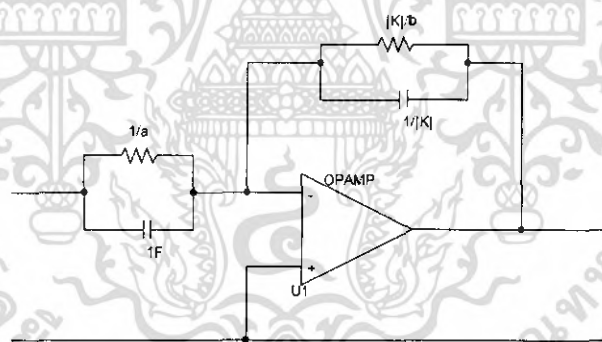
$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \quad (3.30)$$

### แบบที่ 1

$$-\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = -K \frac{s+a}{s+b} \quad (3.31)$$

จะได้  $Z_1(s) = \frac{1}{s+a}$ ,  $Z_2(s) = \frac{K}{s+b}$

ซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจร อินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ที่สมบูรณ์

หรือสามารถสร้างได้อีกแบบหนึ่งคือ

### แบบที่ 2

จากสมการที่ (3.31) ให้เอา  $s$  หารทั้งเศษและส่วน

$$H(s) = -\frac{K_1(s+a)/s}{K_2(s+b)/s} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \quad (3.32)$$

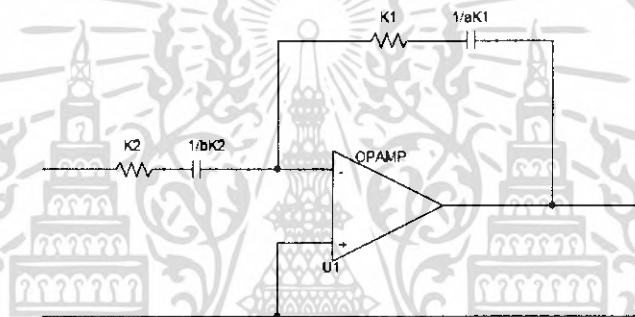
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $|K| = \frac{K_1}{K_2}$

เมื่อเราใช้โครงสร้างแบบอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ จะได้

$$Z_1(s) = K_2 \frac{s+b}{s}, Z_2(s) = K_1 \frac{s+a}{s}$$

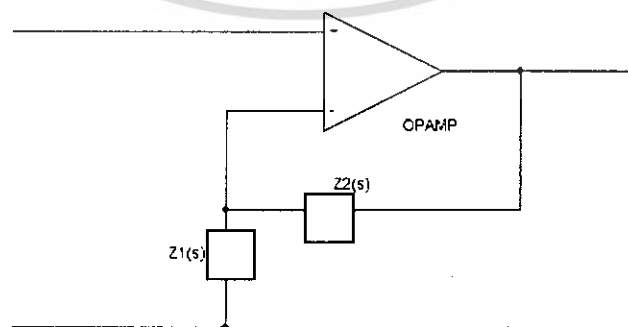
ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นวงจร อินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงรูปวงจรอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์ แบบที่ 2

### นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ (NonInverting Amplifier)

นอกจากนี้สามารถใช้รูปแบบ นอนอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ มาใช้สร้างวงจรโดยใช้โครงสร้างของ นอนอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงรูปวงจรถนอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ โวลเตจ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันดังนี้

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = 1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \quad (3.33)$$

จากสมการที่ (3.29)

$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = K \frac{s+a}{s+b} - 1 = \frac{K(s+a) - (s+b)}{s+b} = \frac{(K-1)s + (Ka-b)}{s+b} \quad (3.34)$$

**แบบที่ 1**

กำหนดให้  $K=1$  จะได้

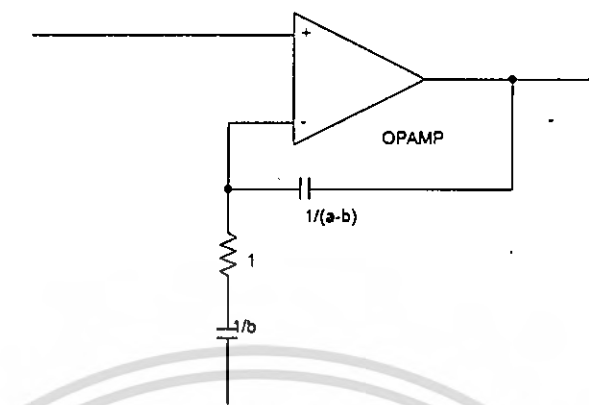
$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{a-b}{s+b} \quad (3.35)$$

เมื่อหารทั้งเศษและส่วนด้วย  $s$  จะได้

$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{(a-b)/s}{(s+b)/s} \quad (3.36)$$

$$\text{จะได้ } Z_1(s) = \frac{s+b}{s}, Z_2(s) = \frac{a-b}{s}$$

สามารถนำมาเขียนวงจร นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.12 โดยที่  $a > b \geq 0$



รูปที่ 3.12 แสดงวงจร นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์แบบที่ 1

### แบบที่ 2

กำหนดให้  $Ka = b$  จะได้

$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{(b-a)s/a}{s+b} \quad (3.37)$$

เมื่อหารเศษและส่วนด้วย  $s$  จะได้

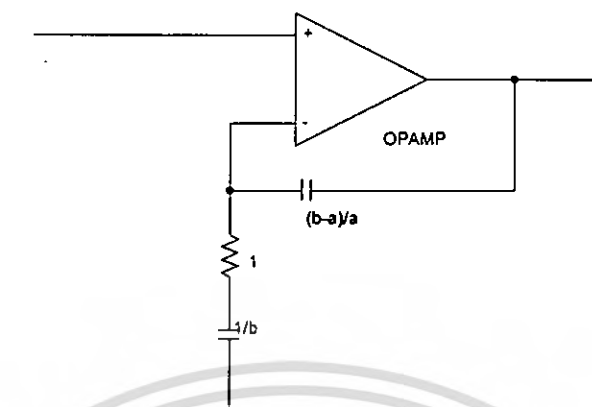
$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{(b-a)/a}{(s+b)/s} \quad (3.38)$$

$$\text{จะได้ } Z_1(s) = \frac{s+b}{s}, Z_2(s) = \frac{b-a}{a}$$

สามารถนำมาเขียนวงจร นอนอินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.13

โดยที่  $b \geq a > 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



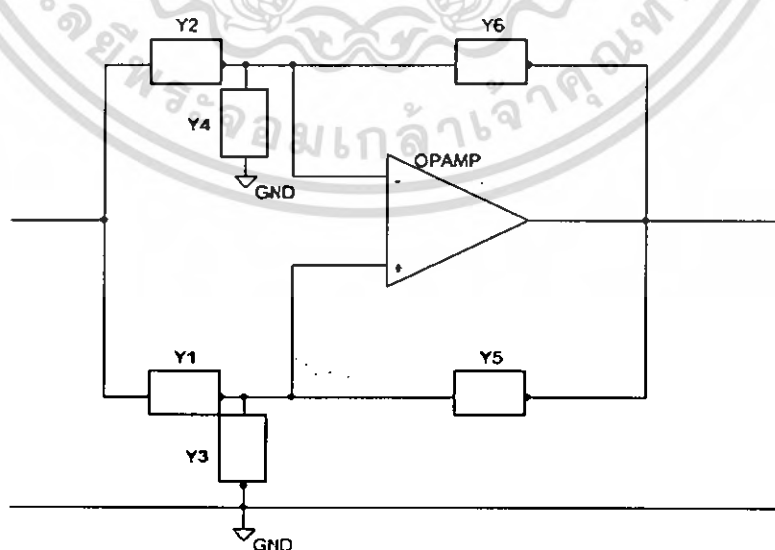
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ ที่สมบูรณ์แบบที่ 2

### 3.8.2 วิธีทางตรง (Direct Method)

จาก ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ที่ต้องการสามารถสร้างวงจรโดย RC วันพอร์ท และออปแอมป์ โดยที่ RC วันพอร์ท กำหนดเป็น แอคมิตแตนซ์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธี คือ ชิงเกิ้ล แอมพลิฟายเออร์ และ ทุ แอมพลิฟายเออร์

#### ชิงเกิ้ล แอมพลิฟายเออร์(Single Amplifier)

พิจารณารูปที่ 3.14 ประกอบด้วย ออปแอมป์ 1 ตัว และ RC วัน พอร์ท แอคมิตแตนซ์ 6 ตัว



รูปที่ 3.14 แสดงวงจร ชิงเกิ้ลแอมพลิฟายเออร์ แบบ วัน พอร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนสมการที่ โหนด อินพุต ของออปแอมป์ ได้ดังนี้

$$Y_2(V^- - V_{in}) + Y_4V^- + Y_6(V^- - V_o) = 0 \quad (3.39)$$

$$Y_1(V^- - V_{in}) + Y_3V^- + Y_5(V^- - V_o) = 0 \quad (3.40)$$

กำจัด  $V^-$  ออกจะได้ โวลเตจของฟังก์ชันถ่ายโอน

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{Y_1(Y_2 + Y_4 + Y_6) - Y_2(Y_1 + Y_3 + Y_5)}{Y_6(Y_1 + Y_3 + Y_5) - Y_5(Y_2 + Y_4 + Y_6)} \quad (3.41)$$

$$\text{จะได้ } Y_1 + Y_3 + Y_5 = Y_2 + Y_4 + Y_6 \quad (3.42)$$

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_6 - Y_5} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_5 - Y_6} \quad (3.43)$$

จากสมการ (3.43) เขียนในรูปโพลีโนเมียล

$$H(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} \quad (3.44)$$

จากสมการ (3.44) นำค่า  $D(s)$  หารทั้งเศษและส่วน

$$H(s) = \frac{P(s)/D(s)}{Q(s)/D(s)} \quad (3.45)$$

เมื่อ  $D(s)$  มีรากเป็นค่าจำนวนจริงเป็นค่าลบ เทียบสัมประสิทธิ์ สมการที่ (3.43) และ (3.44) จะ ได้

$$\frac{P(s)}{D(s)} = Y_1 - Y_2 \quad (3.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = Y_6 - Y_5 \quad (3.47)$$

หรือ

$$\frac{P(s)}{D(s)} = Y_2 - Y_1 \quad (3.48)$$

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = Y_5 - Y_6 \quad (3.49)$$

จากคุณสมบัติของ RC วันพอร์ท แอคติวิตแดนซ์

$$K_i = (s + \delta_i) \left. \frac{P(s)}{sD(s)} \right|_{s=-\delta_i} \quad (3.50)$$

หรือ

$$K_i = (s + \delta_i) \left. \frac{Q(s)}{sD(s)} \right|_{s=-\delta_i} \quad (3.51)$$

จะได้

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \sum_i \frac{K_i s}{s + \delta_i} - \sum_j \frac{K_j s}{s + \delta_j} + K_\infty s \quad (3.52)$$

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \sum_u \frac{K_u s}{s + \delta_u} - \sum_v \frac{K_v s}{s + \delta_v} + K_\infty s \quad (3.53)$$

เมื่อ  $K_p, K_j, K_u$  และ  $K_v$  เป็นจำนวนเต็มบวก ส่วน  $K_\infty$  และ  $K_\infty$  เป็นจำนวนจริง เทียบสัมประสิทธิ์สมการที่ (3.46),(3.47),หรือ (3.48),(3.49) และ(3.50),(3.51) จะได้

$$Y_1(s) = K_\infty s + \sum_i \frac{K_i s}{s + \delta_i}, \quad Y_2(s) = \sum_j \frac{K_j s}{s + \delta_j} \quad (3.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_5(s) = \sum_v \frac{K'_v s}{s + \delta_v}, \quad Y_6(s) = K'_\infty + \sum_u \frac{K'_u s}{s + \delta_u} \quad (3.55)$$

หรือ

$$Y_1(s) = \sum_j \frac{K_j s}{s + \delta_j}, \quad Y_2(s) = K_\infty + \sum_i \frac{K_i s}{s + \delta_i} \quad (3.56)$$

$$Y_5(s) = K'_\infty + \sum_u \frac{K'_u s}{s + \delta_u}, \quad Y_6(s) = \sum_v \frac{K'_v s}{s + \delta_v} \quad (3.57)$$

$Y_3$  และ  $Y_4$  กำหนดโดย

$$Y_3 - Y_4 = (Y_6 - Y_5) - (Y_1 - Y_2) = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} \quad (3.58)$$

$$\text{หรือ } Y_4 - Y_3 = (Y_5 - Y_6) - (Y_2 - Y_1) = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} \quad (3.59)$$

$$\frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \sum_m \frac{K'_m s}{s + \delta_m} - \sum_q \frac{K'_q s}{s + \delta_q} + K'_\infty s = \pm(Y_3 - Y_4) \quad (3.60)$$

จะได้

$$Y_3(s) = K'_\infty s + \sum_m \frac{K'_m s}{s + \delta_m}, \quad Y_4(s) = \sum_q \frac{K'_q s}{s + \delta_q} \quad (3.61)$$

$$Y_3(s) = \sum_q \frac{K'_q s}{s + \delta_q}, \quad Y_4(s) = K'_\infty s + \sum_m \frac{K'_m s}{s + \delta_m} \quad (3.62)$$

### ทุ แอมพลิฟายเออร์ (Two Amplifier)

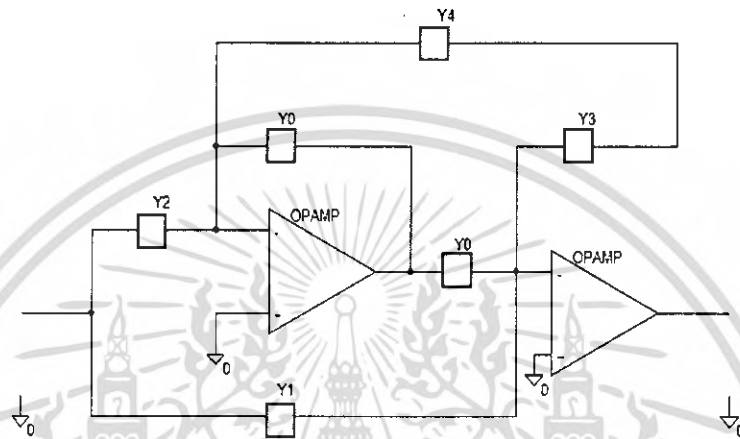
พิจารณาจาก รูปที่ 3.15 ประกอบด้วย ออปแอมป์ 2 ตัว และ RC วัน พอร์ต 4 คิวจะได้

โวลต์เดจของฟังก์ชันถ่ายโอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_3 - Y_4} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_4 - Y_3} \quad (3.63)$$

พิจารณาเทียบเคียงกับสมการที่ 3.43



รูปที่ 3.15 แสดงวงจร ฟู แอมพลิฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบ และ การจำลองการทำงานของวงจรถ่ายโปรแกรมหอคอมพิวเตอร์

#### 4.1 การออกแบบสมการอิกวอไลเซอร์

จากสมการ order N

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2 \times (1 + \omega^2)^{2N}}{(1 + \omega^2)^{2N} + \varepsilon^2 \omega^{4N} \left( \sum_{i=0}^{N-K} \binom{N}{i} \left( \frac{1}{\omega} \right)^{2i} \right)^2} \quad (4.1)$$

เมื่อ N=1, K=1

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2 \times (1 + \omega^2)^{2(1)}}{(1 + \omega^2)^{2(1)} + \varepsilon^2 \omega^{4(1)} \left( \sum_{i=0}^{1-1} \binom{1}{i} \left( \frac{1}{\omega} \right)^{2i} \right)^2} \quad (4.2)$$

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2 \times (1 + \omega^2)^2}{(1 + \omega^2)^2 + \varepsilon^2 \omega^4 \left[ \binom{1}{0} \left( \frac{1}{\omega} \right)^0 \right]^2} \quad (4.3)$$

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2 \times (1 + \omega^2)^2}{(1 + \omega^2)^2 + \varepsilon^2 \omega^4} \quad (4.4)$$

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2 \times (1 + \omega^2)^2}{1 + 2\omega^2 + \omega^4 + \varepsilon^2 \omega^4} \quad (4.5)$$

$$|N(s)|^2 = \frac{H_0^2 \times (1 - s^2)^2}{1 - 2s^2 + s^4 + \varepsilon^2 s^4} \quad (4.6)$$

$$|N(s)|^2 = \frac{H_0^2 \times (s^4 - 2s^2 + 1)}{s^4(1 + \varepsilon^2) - 2s^2 + 1} \quad (4.7)$$

เมื่อ  $\varepsilon = 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|N(s)|^2 = \frac{H_0^2 \times (s^4 - 2s^2 + 1)}{101s^4 - 2s^2 + 1} \quad (4.8)$$

ทำการเปลี่ยนเป็นสมการอิกวอไลเซอร์ โดยการบวกหนึ่ง

$$|N(s)|^2 = \frac{H_0^2 \times (s^4 - 2s^2 + 1)}{101s^4 - 2s^2 + 1} + 1 \quad (4.9)$$

$$|N(s)|^2 = \frac{(H_0^2 + 101)s^4 - (2H_0^2 + 2)s^2 + (H_0^2 + 1)}{101s^4 - 2s^2 + 1} \quad (4.10)$$

ที่อิกวอไลเซอร์ +3dB จะทำการกำหนดค่า  $H_0 = 1$

$$|N(s)|^2 = \frac{102s^4 - 4s^2 + 2}{101s^4 - 2s^2 + 1} \quad (4.11)$$

ทำการเลือกโพล และ ซีโร

$$N(s) = \frac{s^2 + 0.5650s + 0.1400}{s^2 + 0.4678s + 0.0995} \quad (4.12)$$

แปลงสมการอิกวอไลเซอร์

$$N(s) = \frac{1.4073s^2 + 5.6786s + 10.0499}{s^2 + 4.7010s + 10.0499} \quad (4.13)$$

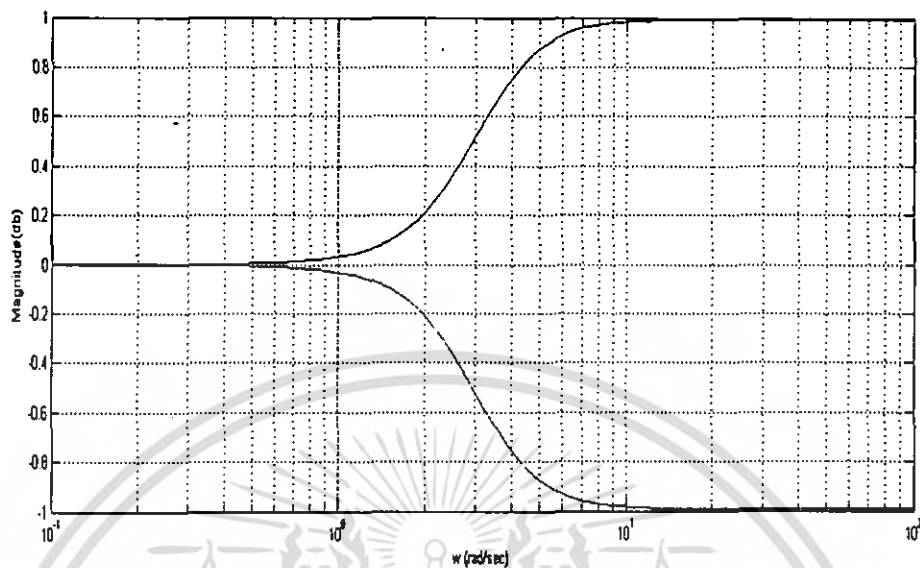
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม MATLAB

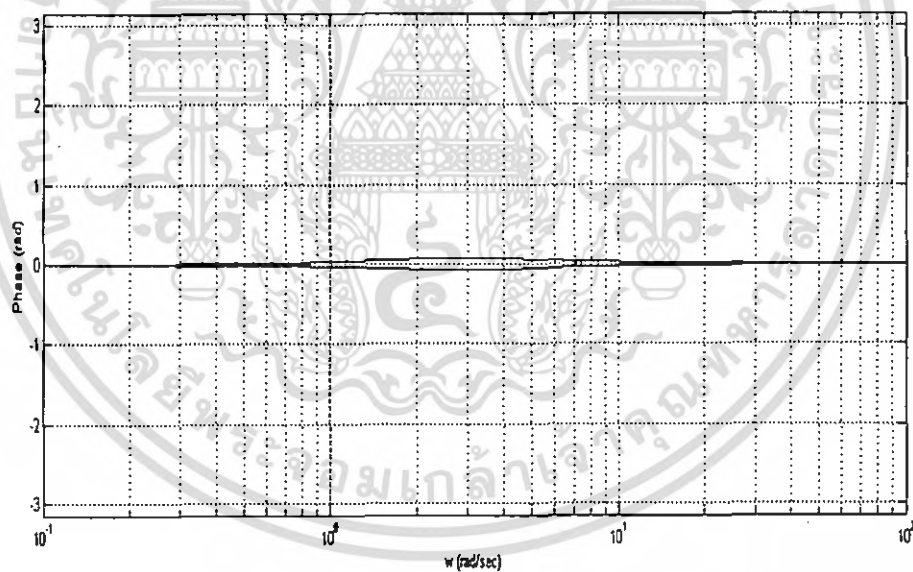
MATLAB (Matrix Laboratory) เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณสมการคณิตศาสตร์ ทั้งในทางวิศวกรรมศาสตร์ และทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะการนำมาใช้สร้างกราฟตามรูปแบบต่าง ๆ ของสมการที่กำหนดขึ้นตามวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกัน

ในที่นี้เราได้นำ MATLAB มาใช้ในการคำนวณหาผลตอบสนองทางขนาด และผลตอบทางความถี่จากสมการของฟังก์ชัน โคร่งข่ายก่อนที่จะนำสมการนี้ไปทำการสร้างวงจร โดยการใช้ทฤษฎีของเน็ตเวิร์คฟังก์ชันหาค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรออกมา โดยกราฟที่ได้จาก Matlab ได้ผลดังนี้

- ผลตอบสนองทางขนาดของสมการอิกวอไลเซอร์ที่  $\pm 1$  dB
- ผลตอบสนองทางขนาดของสมการอิกวอไลเซอร์ที่  $\pm 2$  dB
- ผลตอบสนองทางขนาดของสมการอิกวอไลเซอร์ที่  $\pm 3$  dB
- ผลตอบสนองทางเฟสของสมการอิกวอไลเซอร์ที่  $\pm 1$  dB
- ผลตอบสนองทางเฟสของสมการอิกวอไลเซอร์ที่  $\pm 2$  dB
- ผลตอบสนองทางเฟสของสมการอิกวอไลเซอร์ที่  $\pm 3$  dB

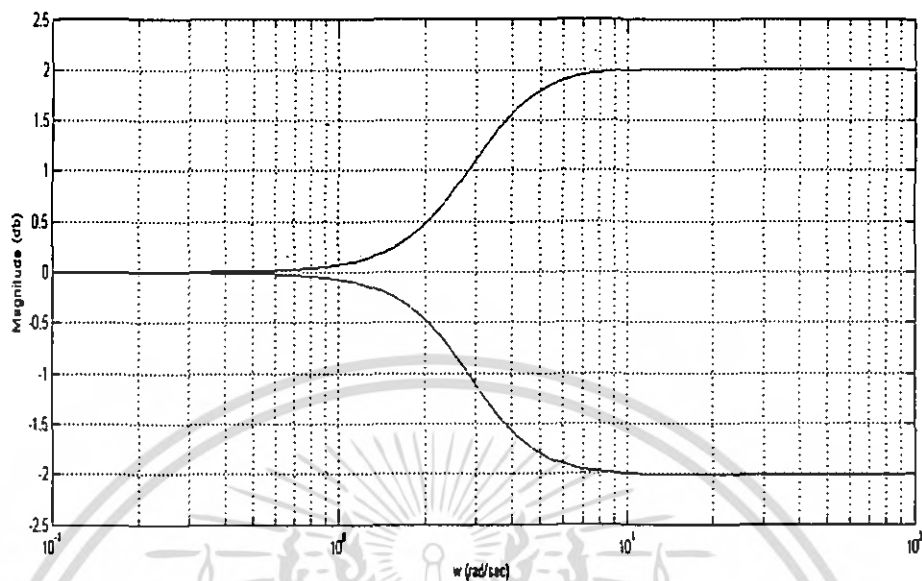


รูปที่ 4.1 แสดงผลตอบสนองทางขนาดที่  $\pm 1$  dB

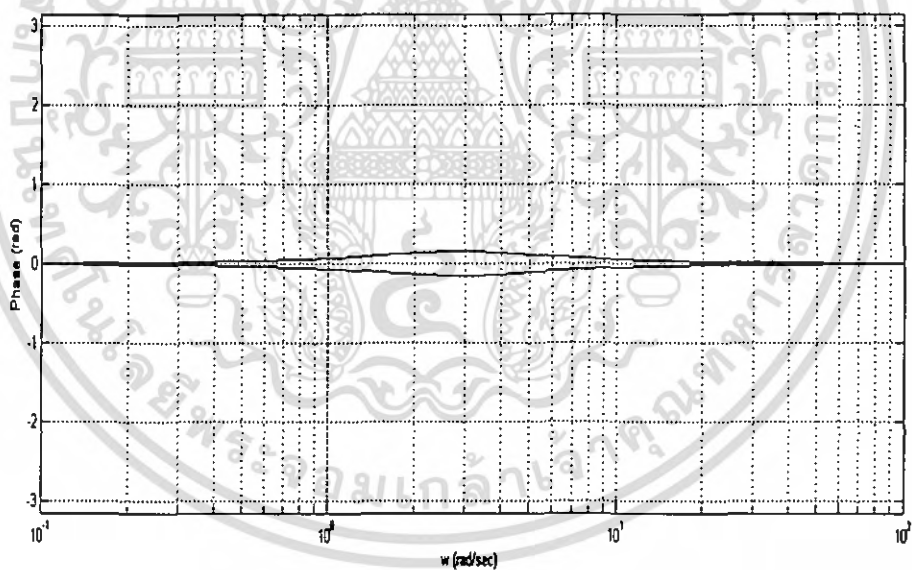


รูปที่ 4.2 แสดงผลตอบสนองทางเฟสที่  $\pm 1$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

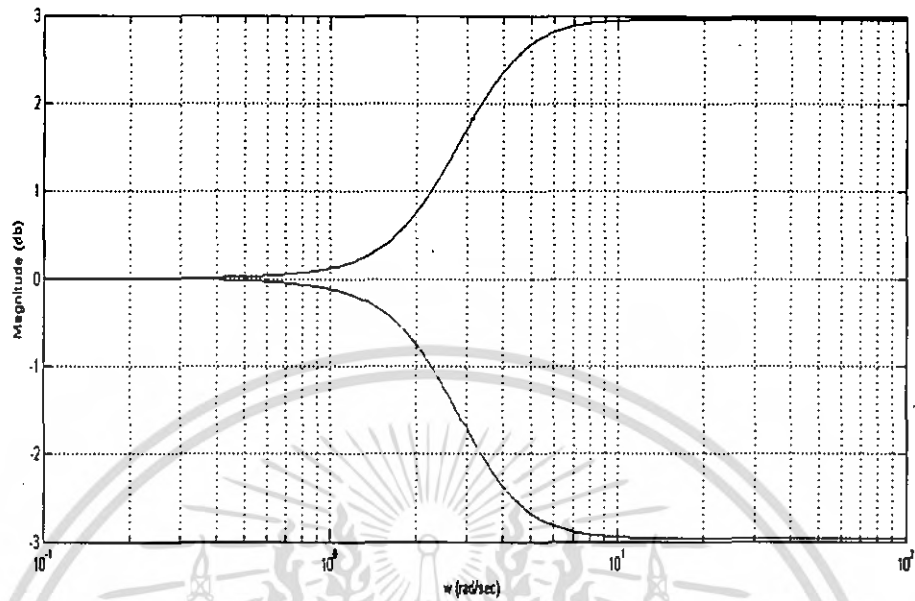


รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองทางขนาดที่  $\pm 2$  dB

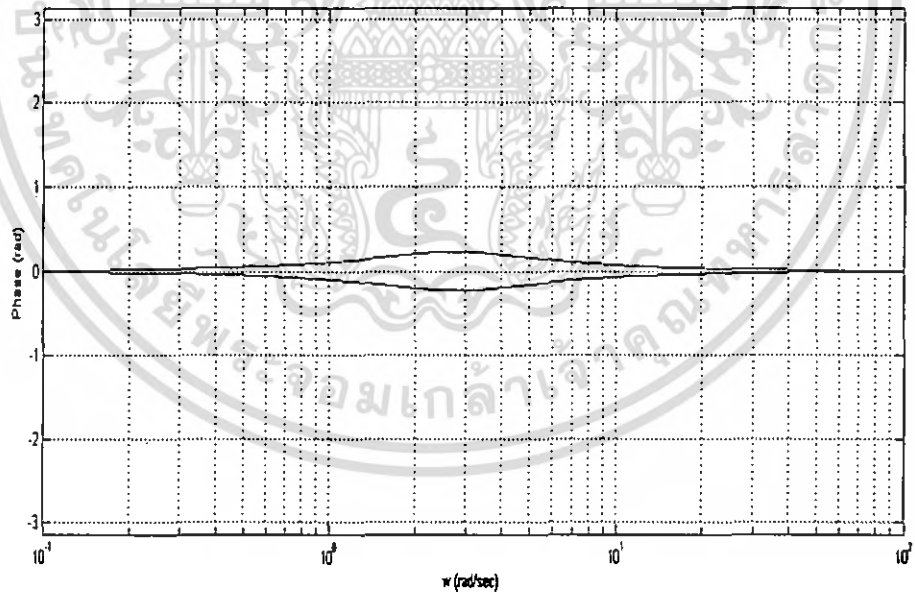


รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองทางเฟสที่  $\pm 2$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงผลตอบสนองทางขนาดที่  $\pm 3$  dB



รูปที่ 4.6 แสดงผลตอบสนองทางเฟสที่  $\pm 3$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การออกแบบวงจรอิกวอไลเซอร์

จากสมการฟังก์ชันถ่ายโอนที่หาได้จากเบิร์นสไตล์โพลีโนเมียลที่ +3 dB นำมาสร้างวงจรรอไอควอไลเซอร์ด้วยวิธีซึ่งเกิดแอมพลิฟายเออร์(Single Amplifier)

$$H = \frac{1.4073s^2 + 5.6786s + 10.0499}{s^2 + 4.7010s + 10.0499} = \frac{P(s)}{Q(s)} \quad (4.14)$$

ให้  $D(s) = (s+2)(s+5)$  (4.15)

เมื่อ  $\frac{P(s)}{D(s)} = Y_1 - Y_2, \frac{Q(s)}{D(s)} = Y_6 - Y_5, \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)}, Y_3 = Y_4$  (4.16)

จาก  $\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{1.4073s^2 + 5.6786s + 10.0499}{s(s+2)(s+5)} = Y_1 - Y_2$  (4.17)

ดังนั้น  $= \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5}$  (4.18)

ดังนั้น  $A = 1.0050$   
 $B = -0.7203$   
 $C = 1.1226$

ดังนั้น  $\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{1.0050s}{s} - \frac{0.7203s}{s+2} + \frac{1.1226s}{s+5}$  (4.19)  
 $= Y_1 - Y_2$

$$\therefore Y_1 = \frac{1.0050s}{s} + \frac{1.1226s}{s+5} \quad (4.5)$$

$$Y_1 = \frac{1}{0.9950} + \frac{1}{0.8908 + \frac{1}{0.2245s}} \quad (4.20)$$

$$\therefore Y_2 = \frac{0.7203s}{s+2} \quad (4.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_2 = \frac{1}{1.3883 + \frac{1}{0.3602s}} \quad (4.22)$$

จาก  $\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 4.7010s + 10.0499}{s(s+2)(s+5)} = Y_6 - Y_5$  (4.23)

$$= \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.24)$$

ดังนั้น

$$D = 1.0050$$

$$E = -0.7747$$

$$F = 0.7697$$

ดังนั้น

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{1.0050s}{s} - \frac{0.7747s}{s+2} + \frac{0.7697s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.25)$$

$$\therefore Y_6 = \frac{1.0050s}{s} + \frac{0.7697s}{s+5} \quad (4.26)$$

$$Y_6 = \frac{1}{0.9950} + \frac{1}{1.2992 + \frac{1}{0.1539s}} \quad (4.27)$$

$$\therefore Y_5 = \frac{0.7747s}{s+2} \quad (4.28)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1.2908 + \frac{1}{0.3874s}} \quad (4.29)$$

จาก  $Y_3 - Y_4 = (Y_6 - Y_5) - (Y_1 - Y_2)$

$$= \frac{-0.7747s}{s+2} + \frac{0.7697s}{s+5} + \frac{0.7203s}{s+2} - \frac{1.1226s}{s+5}$$

$$= \frac{-0.0544s}{s+2} - \frac{0.3529s}{s+5} \quad (4.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore Y_3 = 0 \quad (4.31)$$

$$\therefore Y_4 = \frac{0.0544s}{s+2} + \frac{0.3529s}{s+5} \quad (4.32)$$

$$Y_4 = \frac{1}{18.3824 + \frac{1}{0.0272s}} + \frac{1}{2.8337 + \frac{1}{0.0706s}} \quad (4.33)$$

#### 4.4 การจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม Pspice

โปรแกรม Pspice เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรที่เราทำการออกแบบก่อนจะนำไปสร้างวงจรจริง ซึ่งโปรแกรม Pspice เป็นเพียงโปรแกรมที่ช่วยตรวจสอบความถูกต้องของวงจรที่เราออกแบบขึ้น ว่าผลการทำงานของวงจรว่าจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเช่นไร โดยจะคำนวณอ้างอิงตามสมการคณิตศาสตร์ ถ้าผลลัพธ์การจำลองวงจรถูกต้องจึงค่อยนำไปต่อวงจรจริงต่อไป ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการต่อวงจรจริง

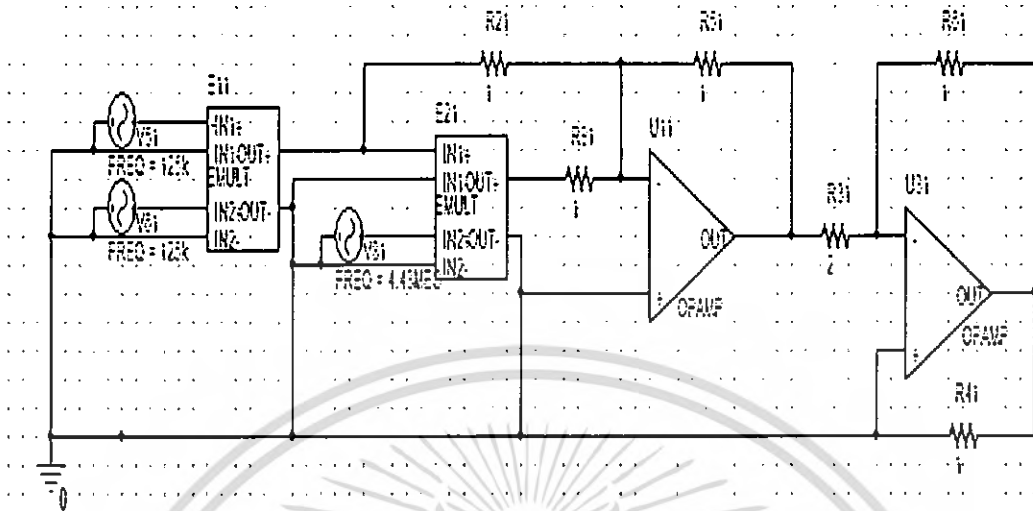
ในบทนี้เราจะนำโปรแกรม P-spice มาใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร โดยจะเริ่มตั้งแต่การจำลองสัญญาณทดสอบ คือ สัญญาณ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์, การจำลองผลตอบสนองของวงจรอิกวอไลเซอร์ และผลตอบสนองเมื่อทำการป้อนสัญญาณทดสอบผ่านวงจรอิกวอไลเซอร์

##### 4.4.1 การจำลองสัญญาณทดสอบ

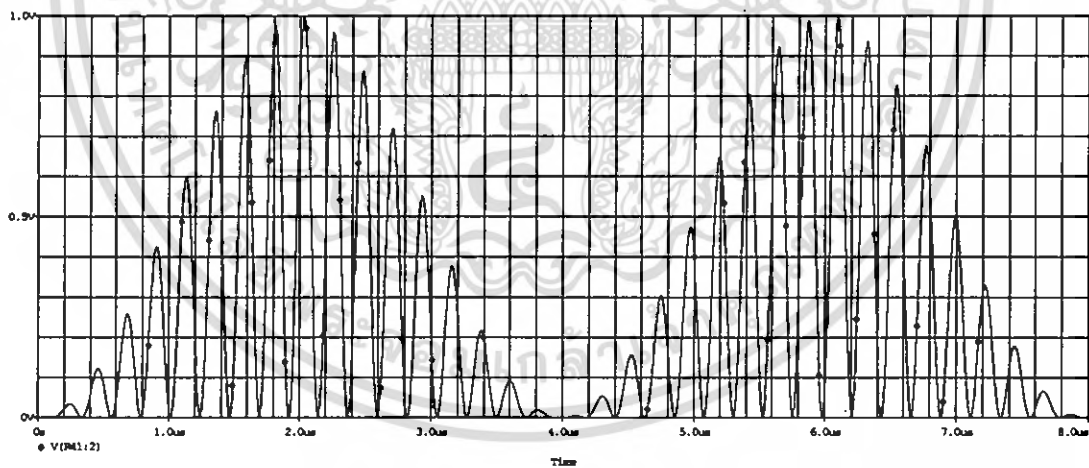
จากสมการสัญญาณทดสอบ 20T พัลส์ไชน์กำลังสอง

$$x(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} \sin^2\left(\frac{\pi t}{40T}\right) + \frac{A}{2} \sin^2\left(\frac{\pi t}{40T}\right) \cos \omega_c t; & |t| \leq 20T \\ 0 & ; |t| > 20T \end{cases}$$

นำมาสร้างเป็นวงจรกำหนดสัญญาณทดสอบ ได้ดังรูป



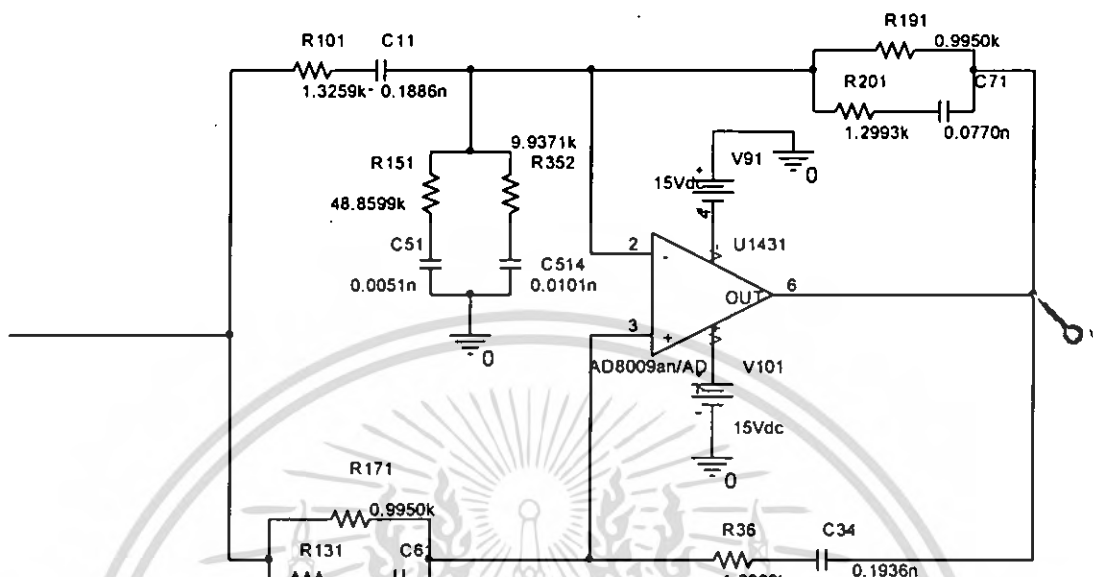
รูปที่ 4.7 แสดงการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณทดสอบ 20T ไซน์กำลังสองพัลส์



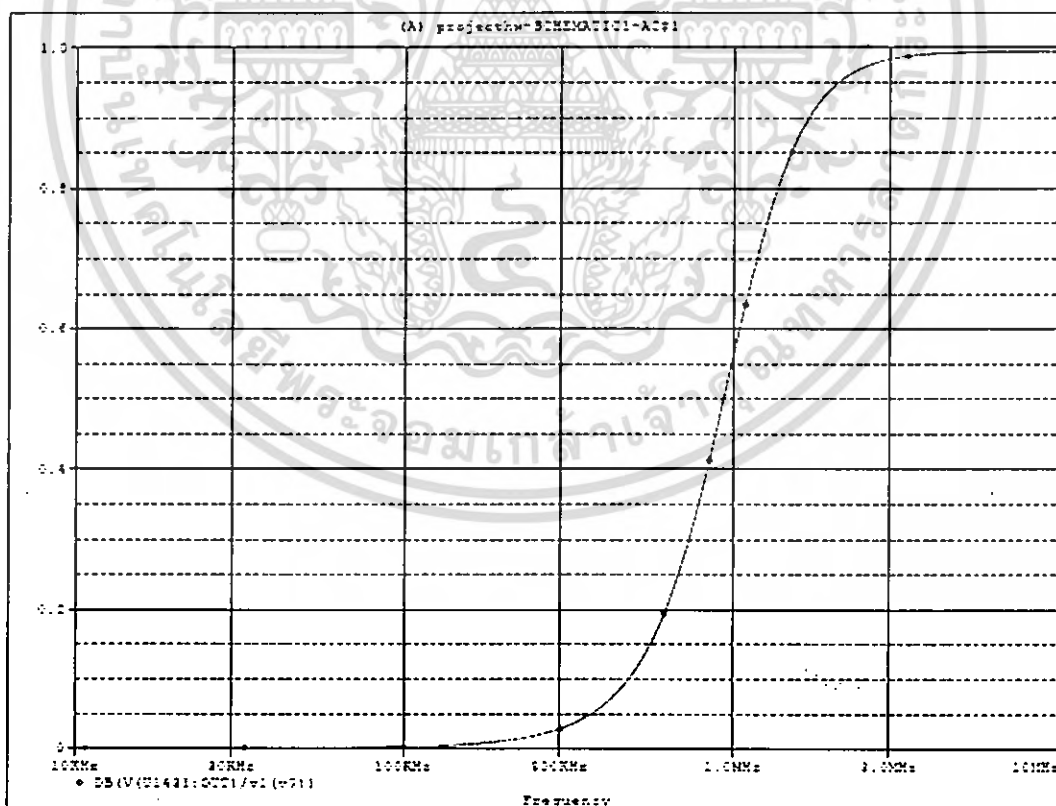
รูปที่ 4.8 แสดงการจำลองสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณ 20T ไซน์กำลังสองพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.4.2 การจำลองผลลัพธ์ของสัญญาณทดสอบเมื่อผ่านวงจรออสซิลโลสโคป

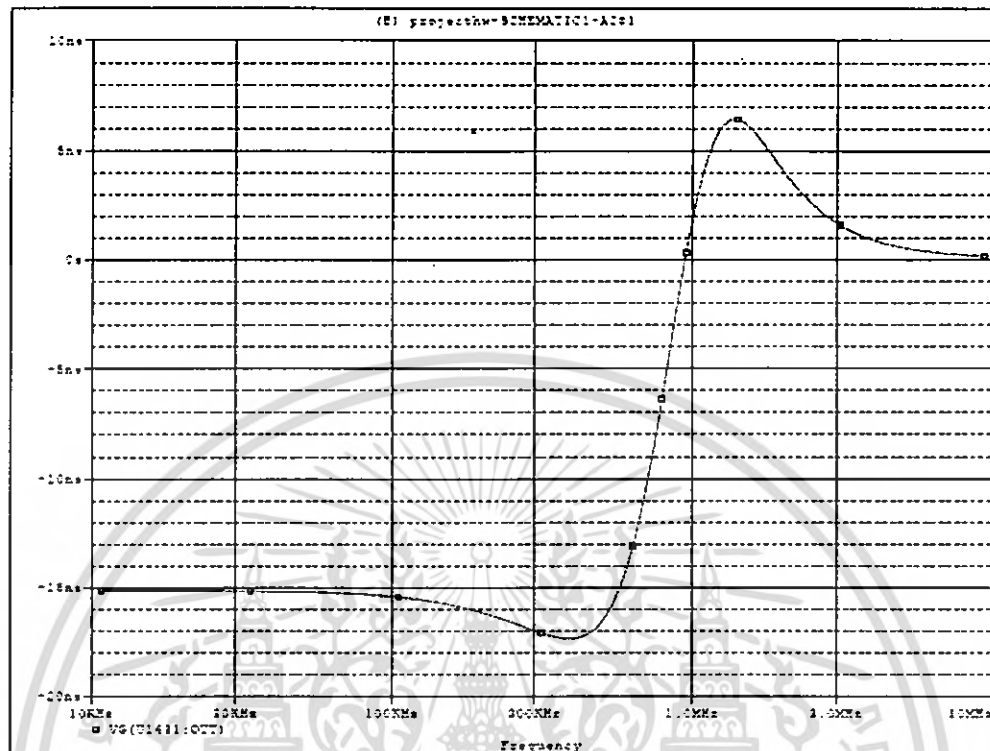


รูปที่ 4.9 แสดงวงจรออสซิลโลสโคปที่ +1dB

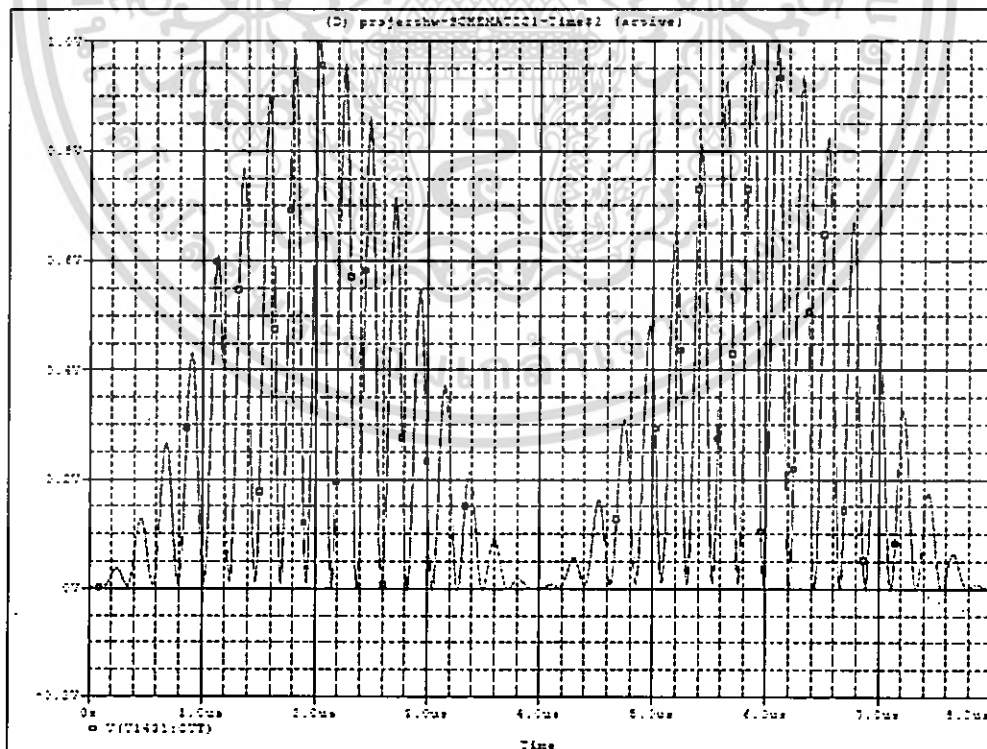


รูปที่ 4.10 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรออสซิลโลสโคปที่ +1dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

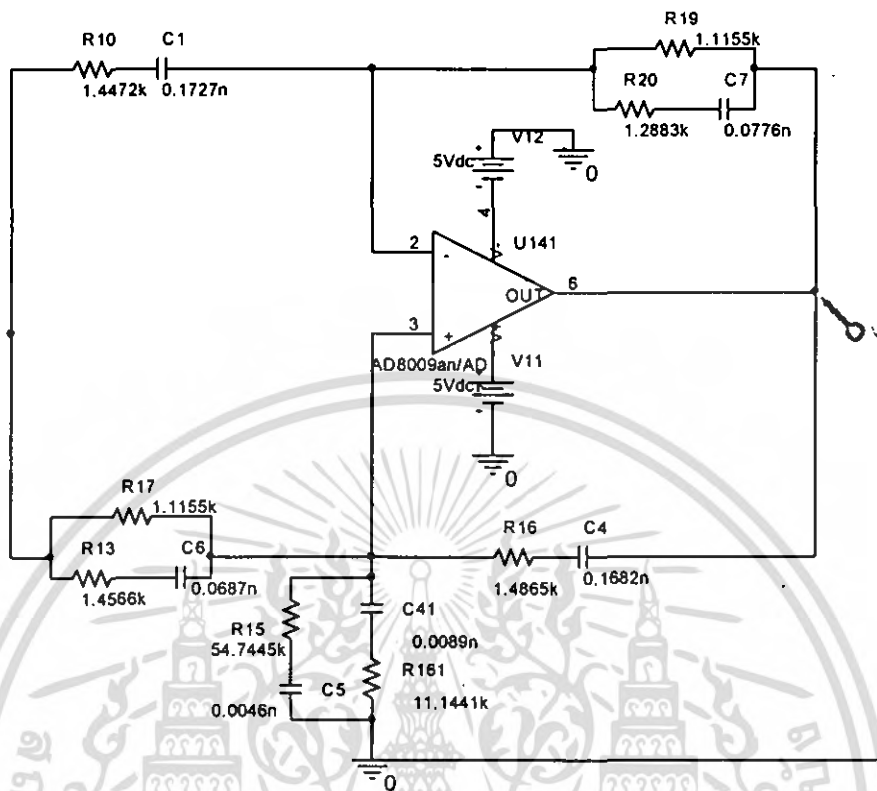


รูปที่ 4.11 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรอควาไลเซอร์ที่ +1dB

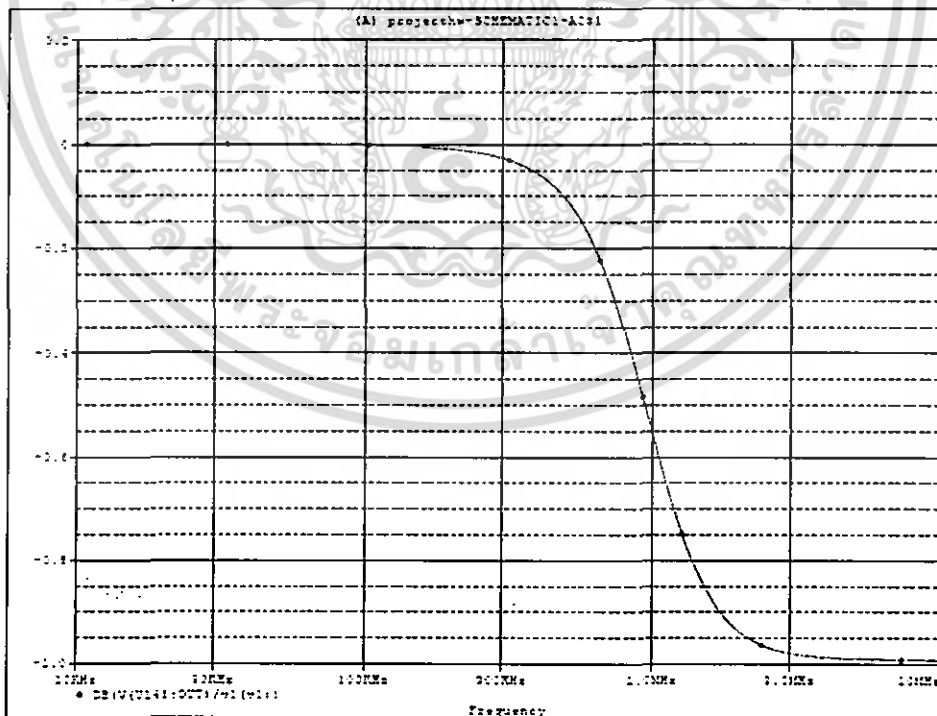


รูปที่ 4.12 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ + 1dB เมื่อผ่านวงจรอควาไลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

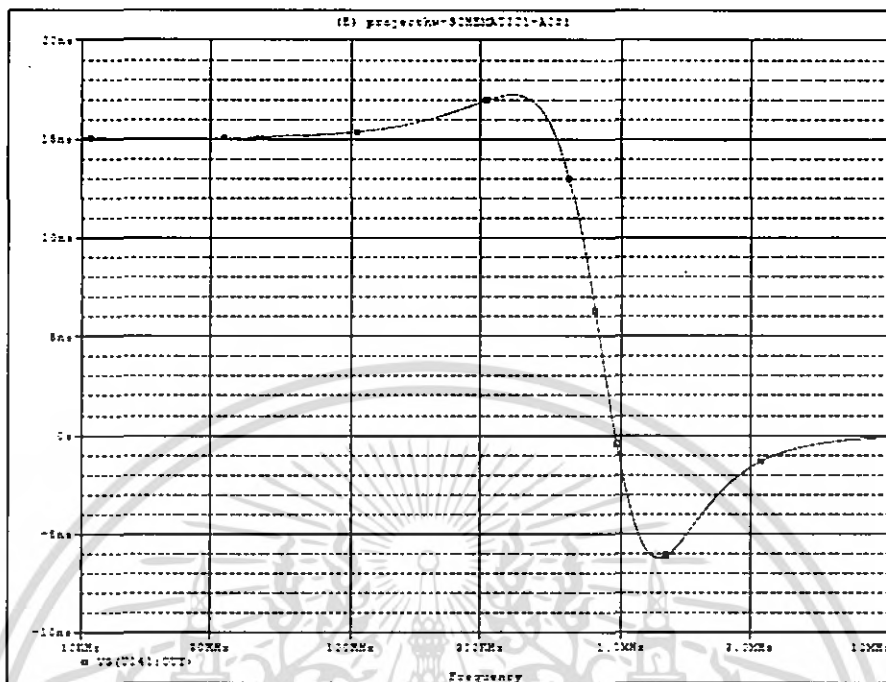


รูปที่ 4.13 แสดงวงจรอิกควไลเซอร์ที่ -1dB

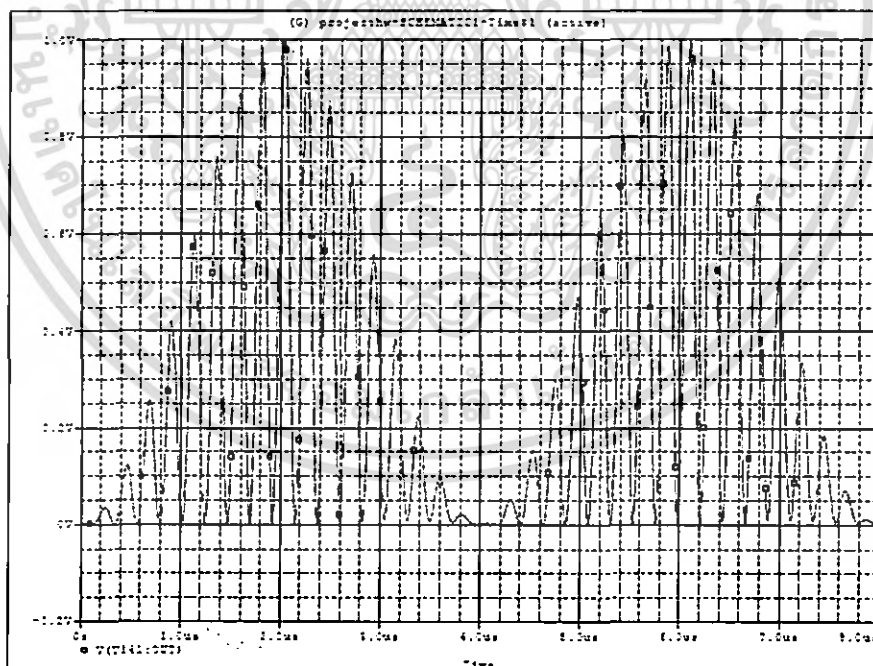


รูปที่ 4.14 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรอิกควไลเซอร์ที่ -1dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

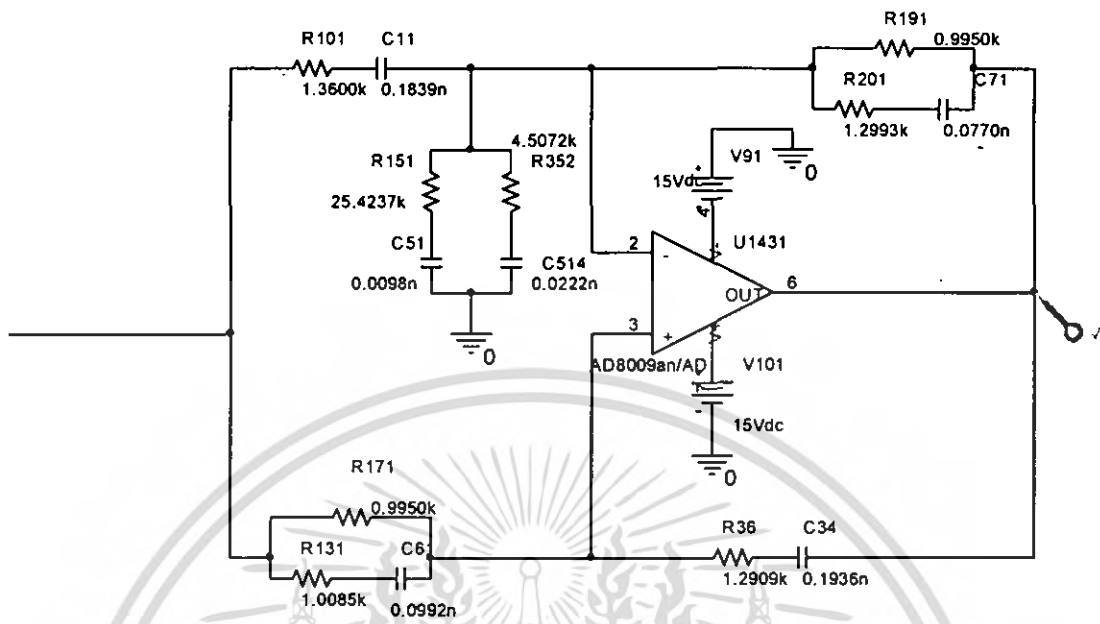


รูปที่ 4.15 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรถอไอเซอร์ที่ -1dB

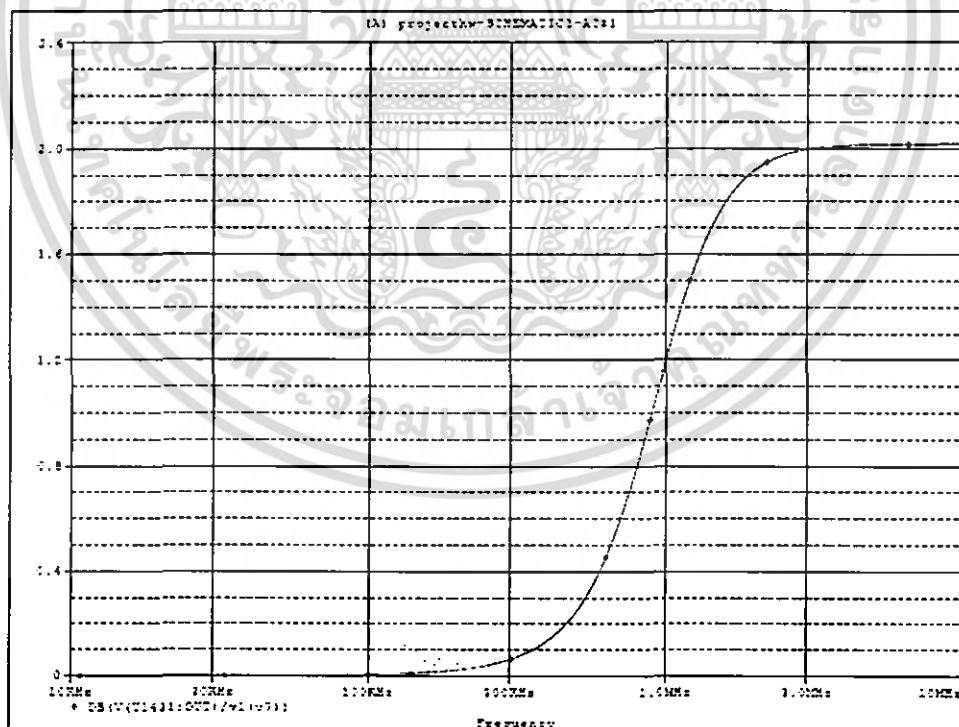


รูปที่ 4.16 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ -1dB เมื่อผ่านวงจรถอไอเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

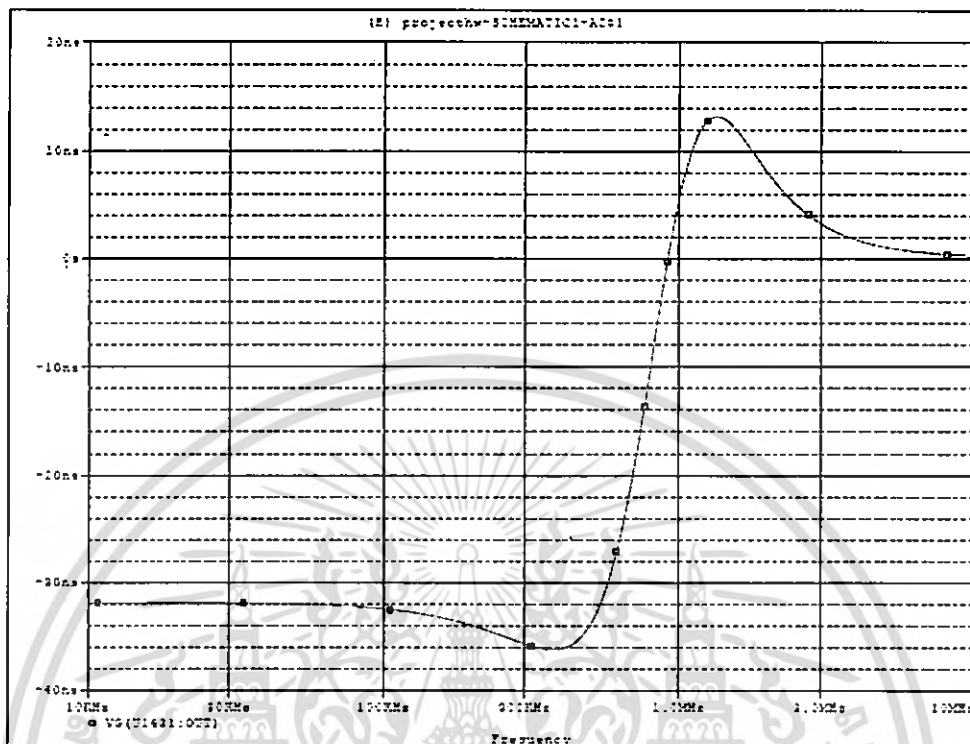


รูปที่ 4.17 แสดงวงจรอิกควไลเซอร์ที่ +2 dB

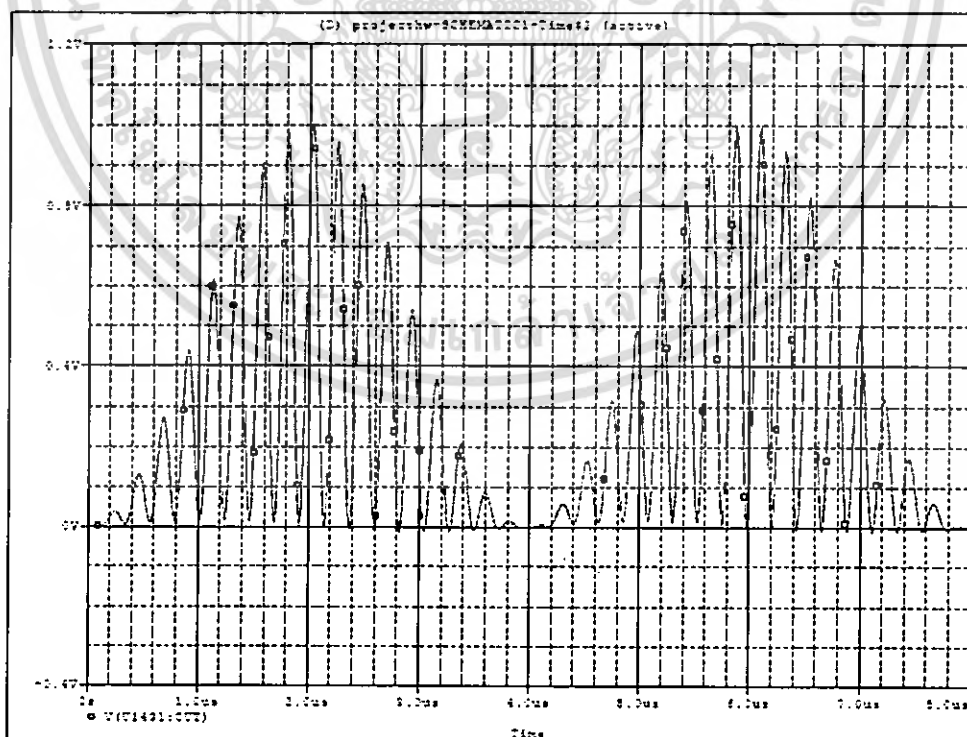


รูปที่ 4.18 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรอิกควไลเซอร์ที่ +2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

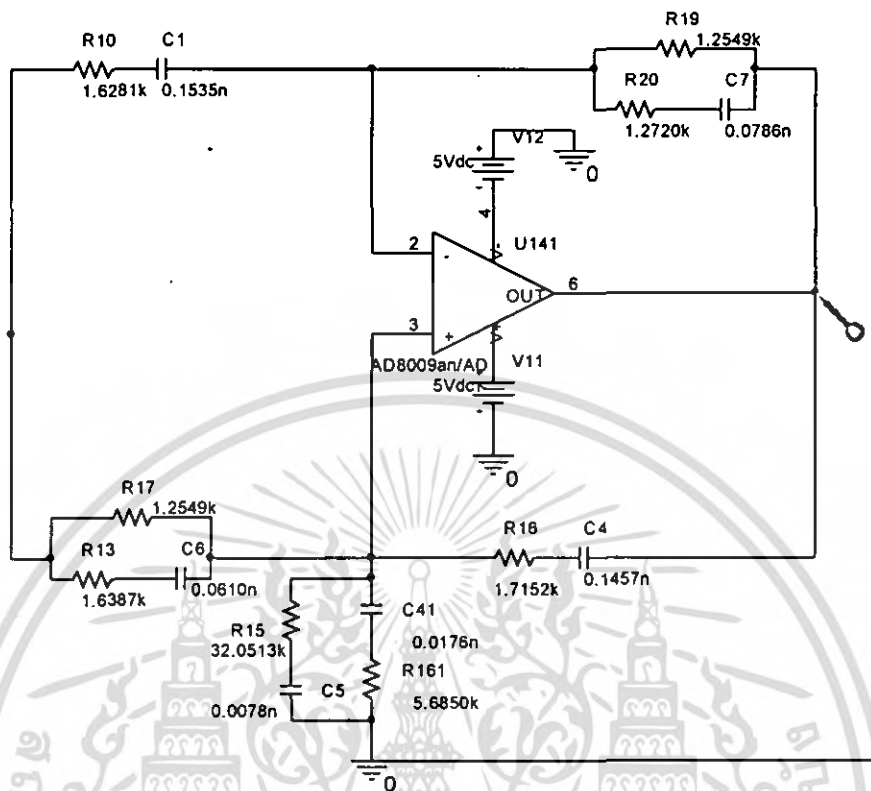


รูปที่ 4.19 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล็ขของวงจรถอไอเซอร์ที่ +2 dB

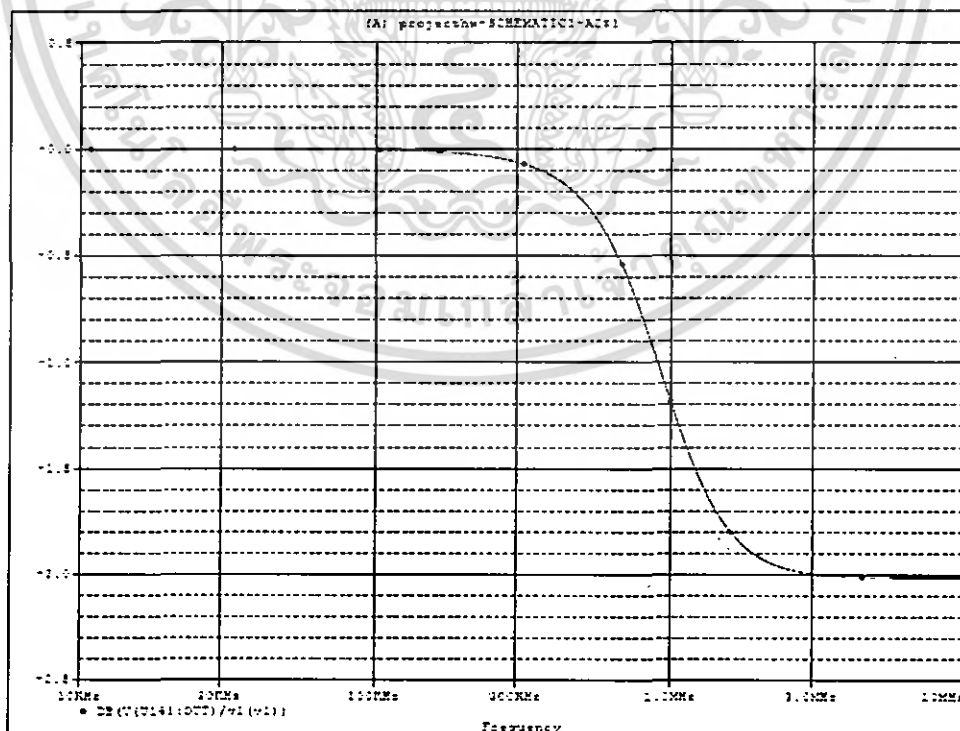


รูปที่ 4.20 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ +2 dB เมื่อผ่านวงจรถอไอเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

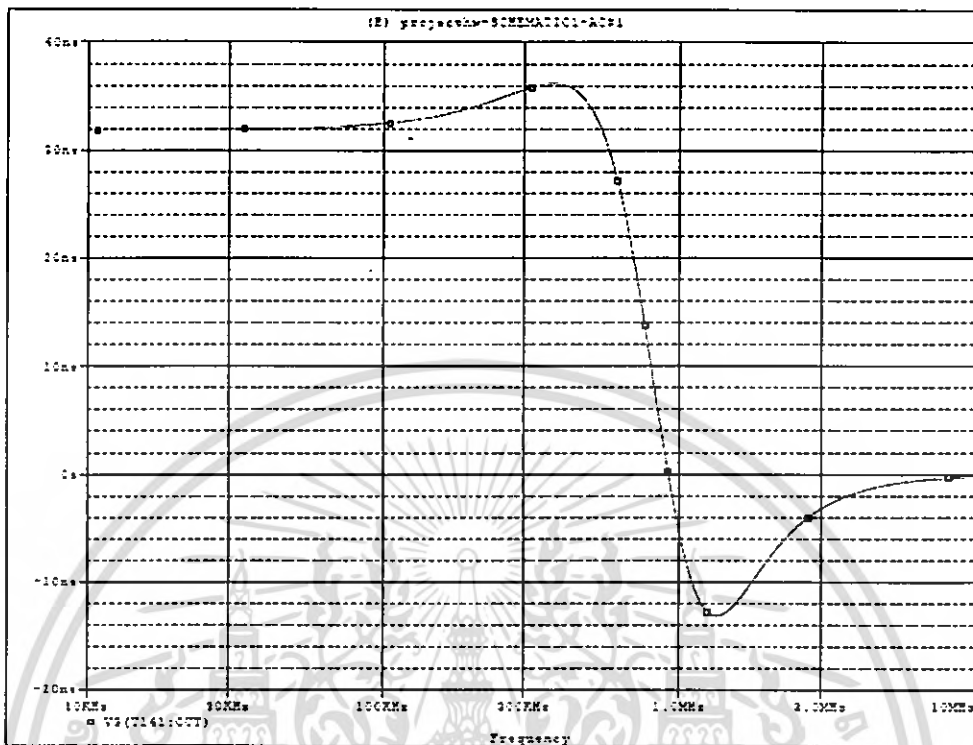


รูปที่ 4.21 แสดงวงจรอิกควไลเซอร์ที่ -2 dB

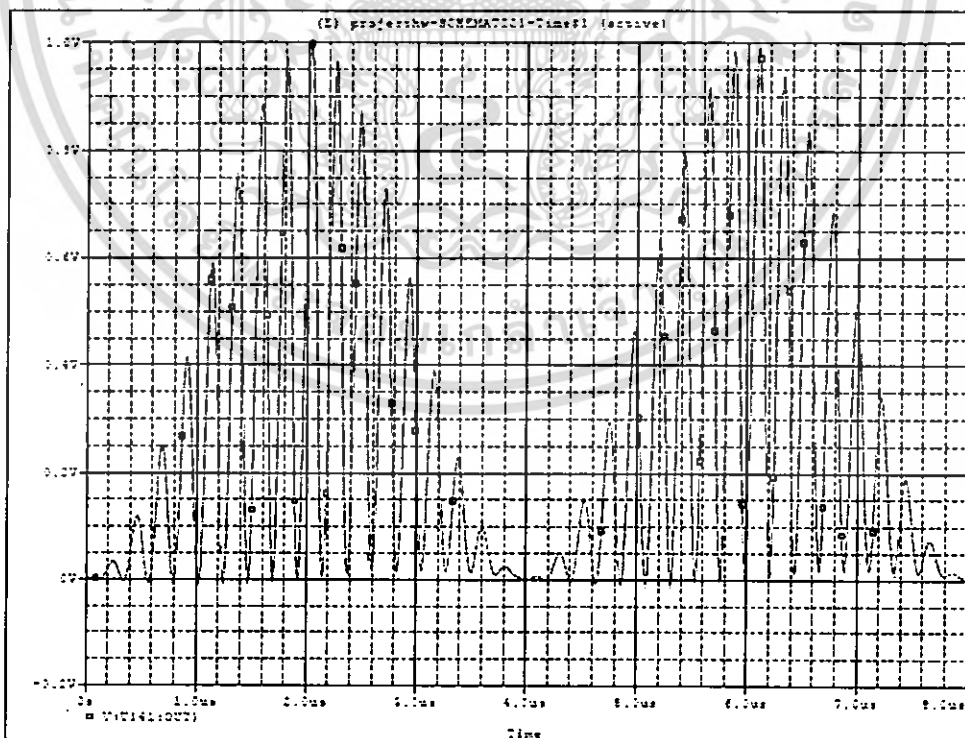


รูปที่ 4.22 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรอิกควไลเซอร์ที่ -2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

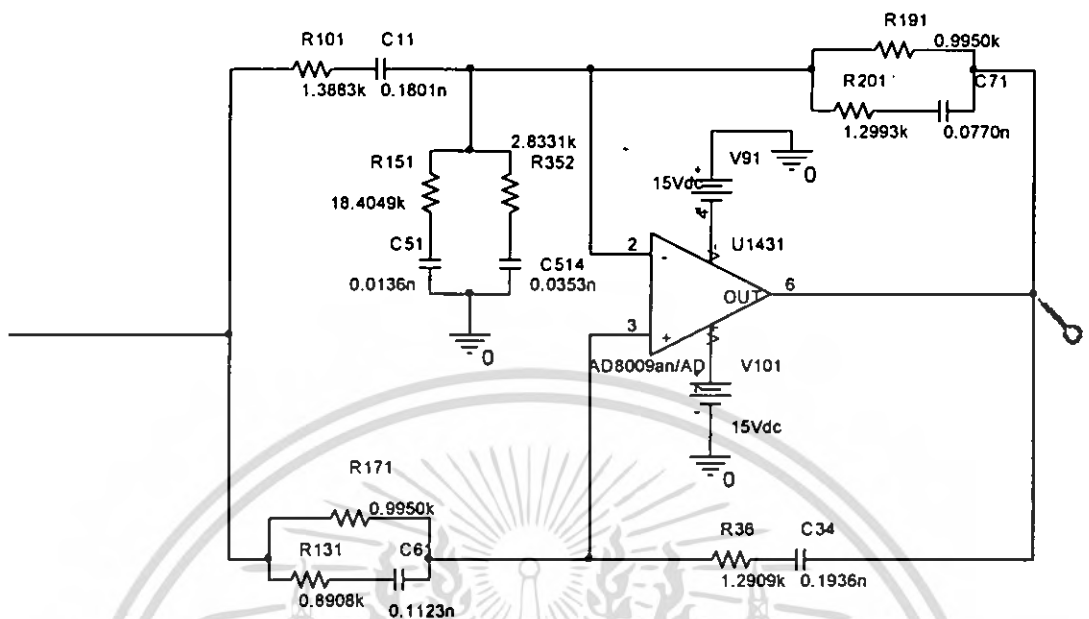


รูปที่ 4.23 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเล่ย์ของวงจรถอดไอเซอ์ที่ -2 dB

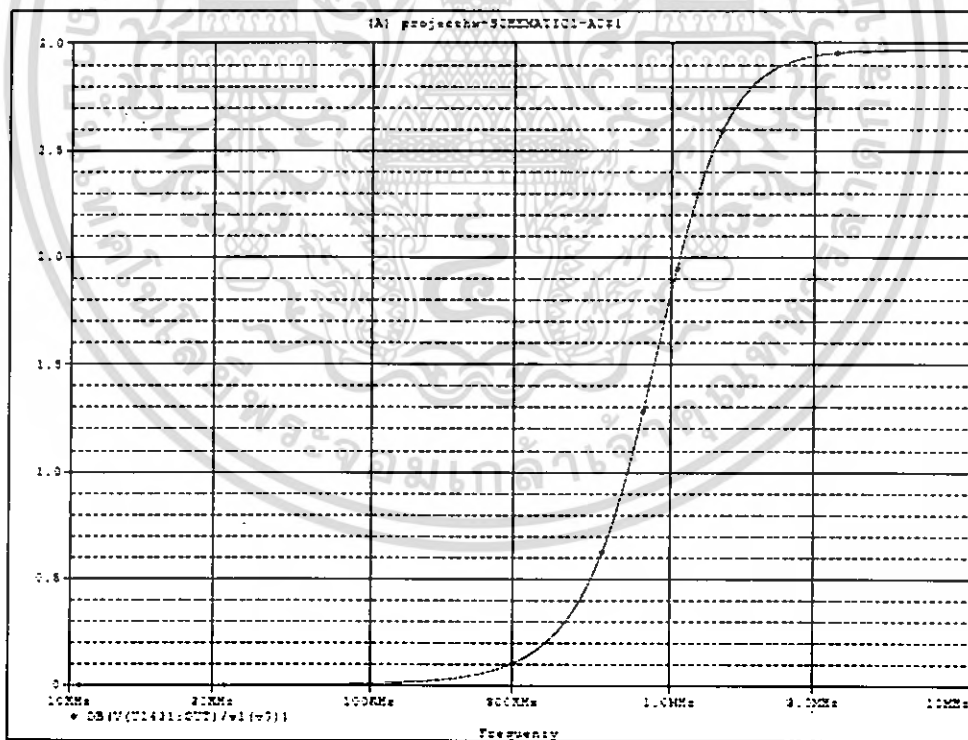


รูปที่ 4.24 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ -2 dB เมื่อผ่านวงจรถอดไอเซอ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

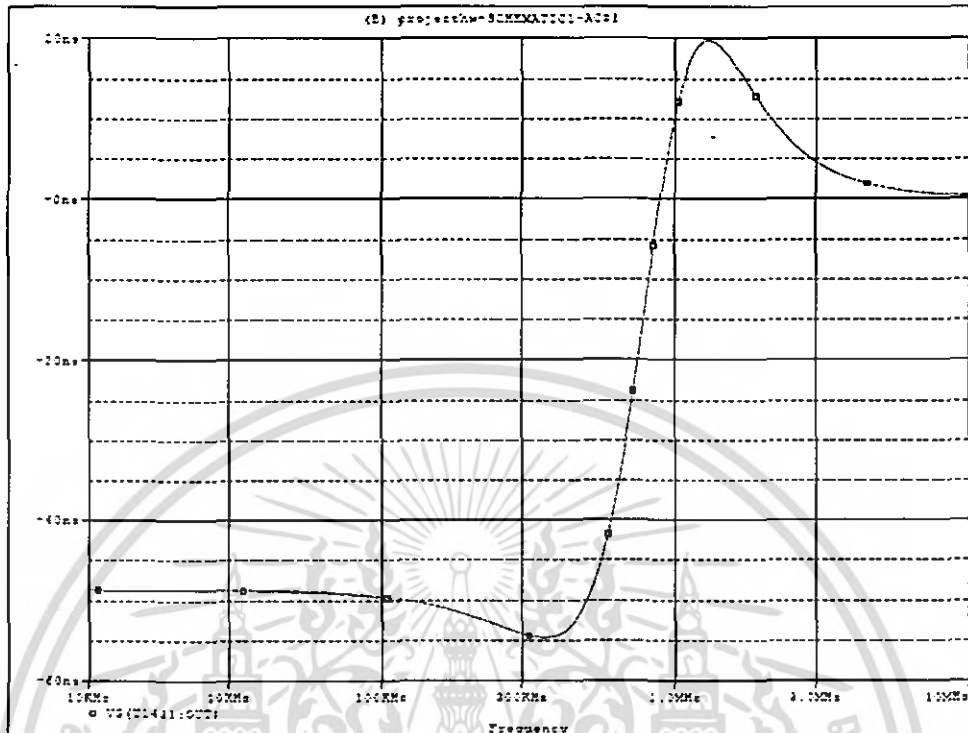


รูปที่ 4.25 แสดงวงจรอิกควไลเซอร์ที่ +3 dB

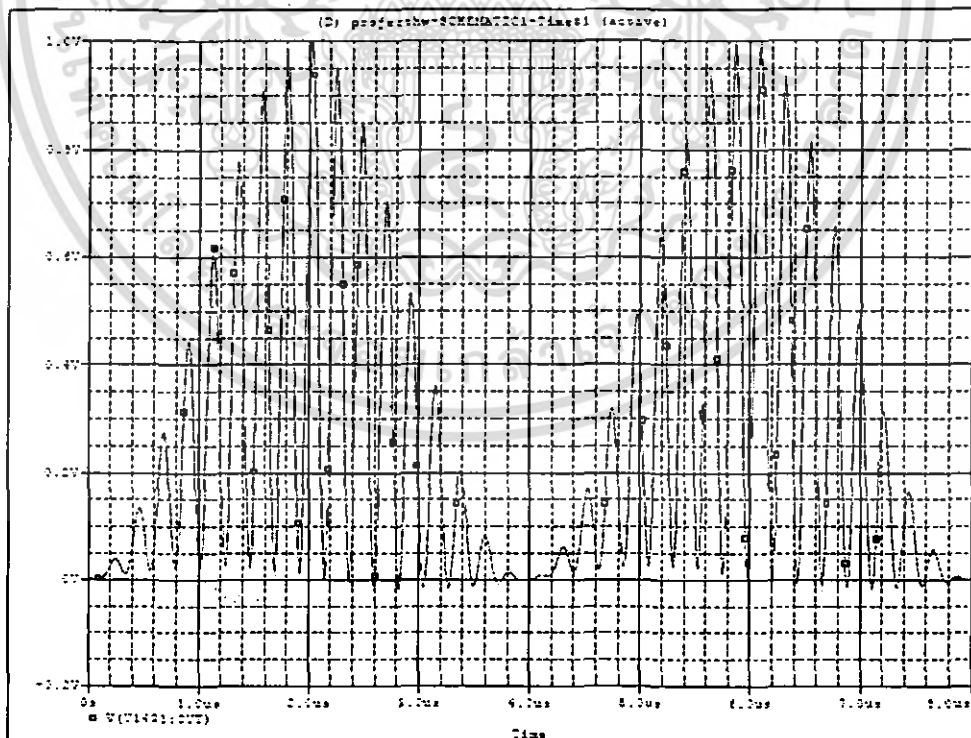


รูปที่ 4.26 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรอิกควไลเซอร์ที่ +3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

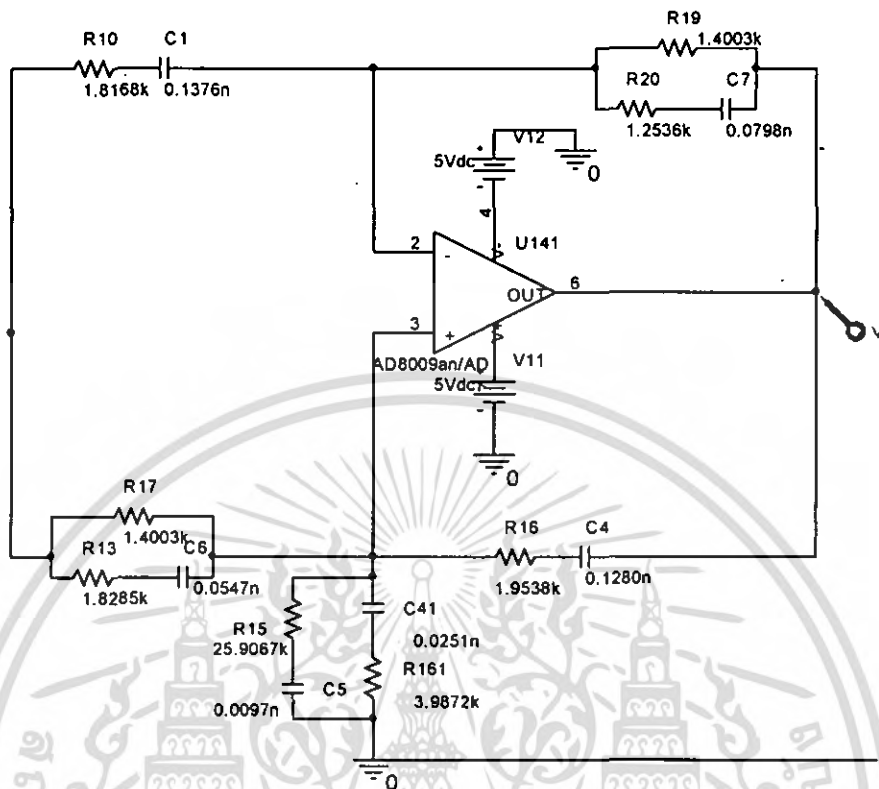


รูปที่ 4.27 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคิเลียของวงจรอควาไลเซอร์ที่ +3 dB

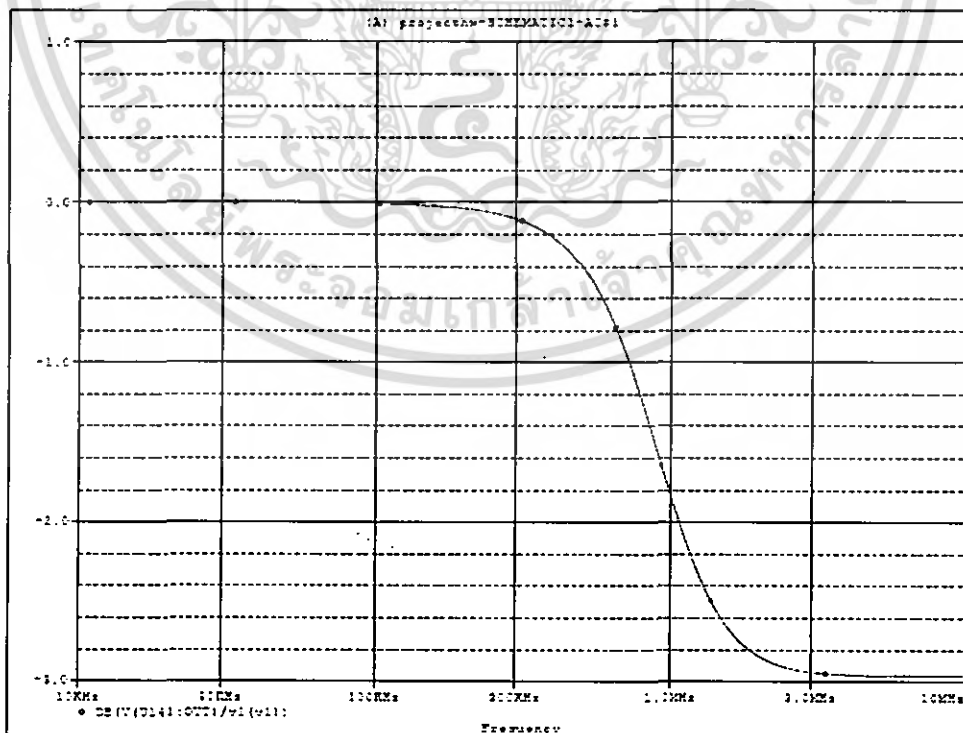


รูปที่ 4.28 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ +3 dB เมื่อผ่านวงจรอควาไลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

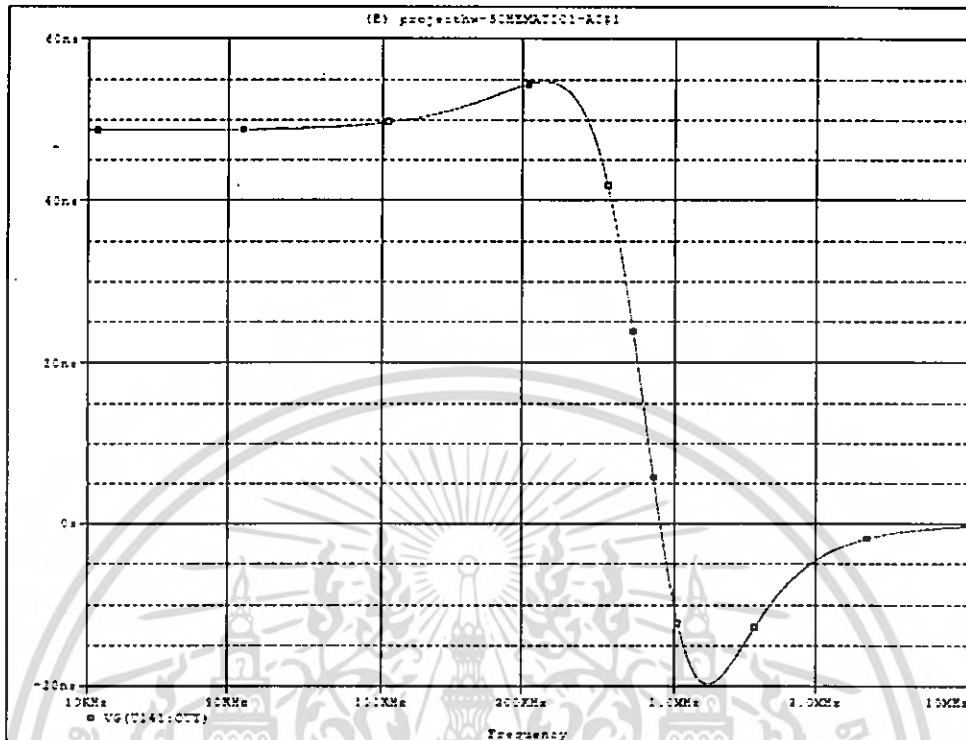


รูปที่ 4.29 แสดงวงจรอิกควอลไลเซอร์ที่ -3 dB

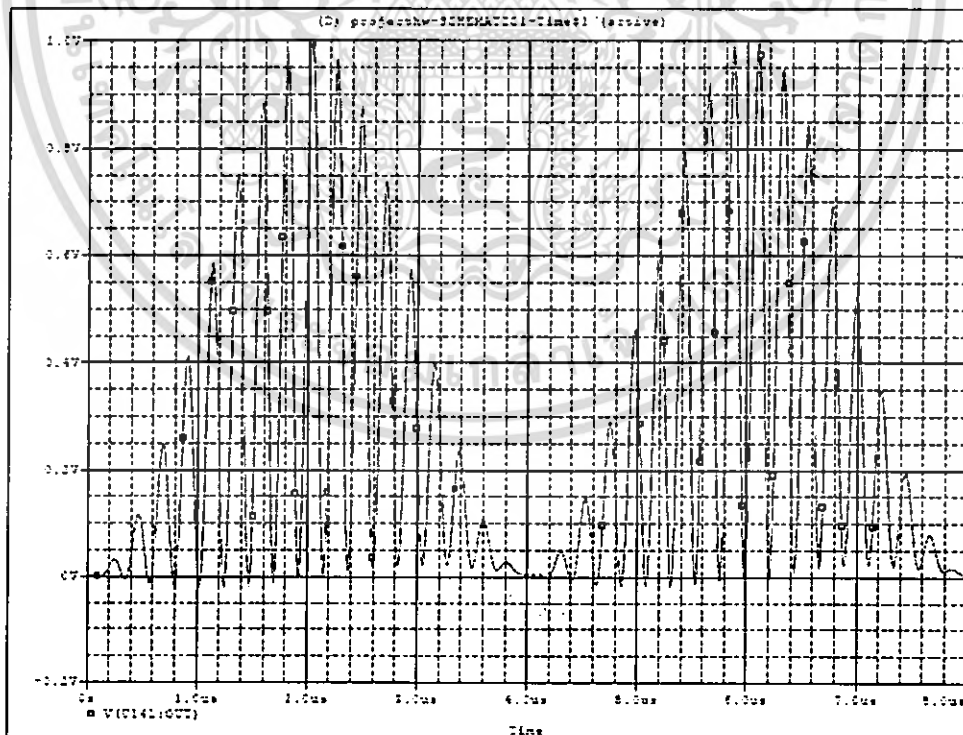


รูปที่ 4.30 แสดงการจำลองผลตอบทางขนาดของวงจรอิกควอลไลเซอร์ที่ -3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงการจำลองผลตอบสนองทางคี่เลขของวงจรถอดไอเซอร์ที่ -3 dB



รูปที่ 4.32 แสดงการจำลองภาพของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่ -3 dB เมื่อผ่านวงจรถอดไอเซอร์

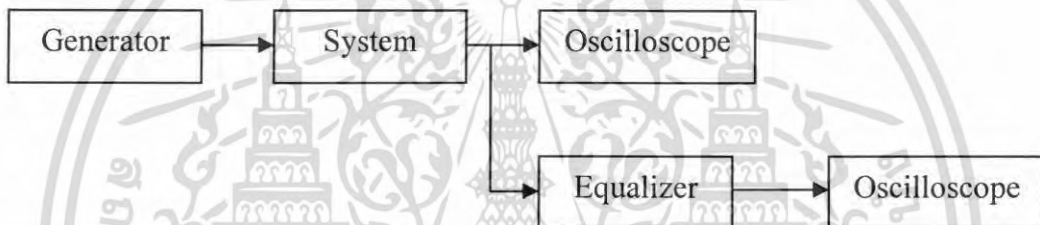
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

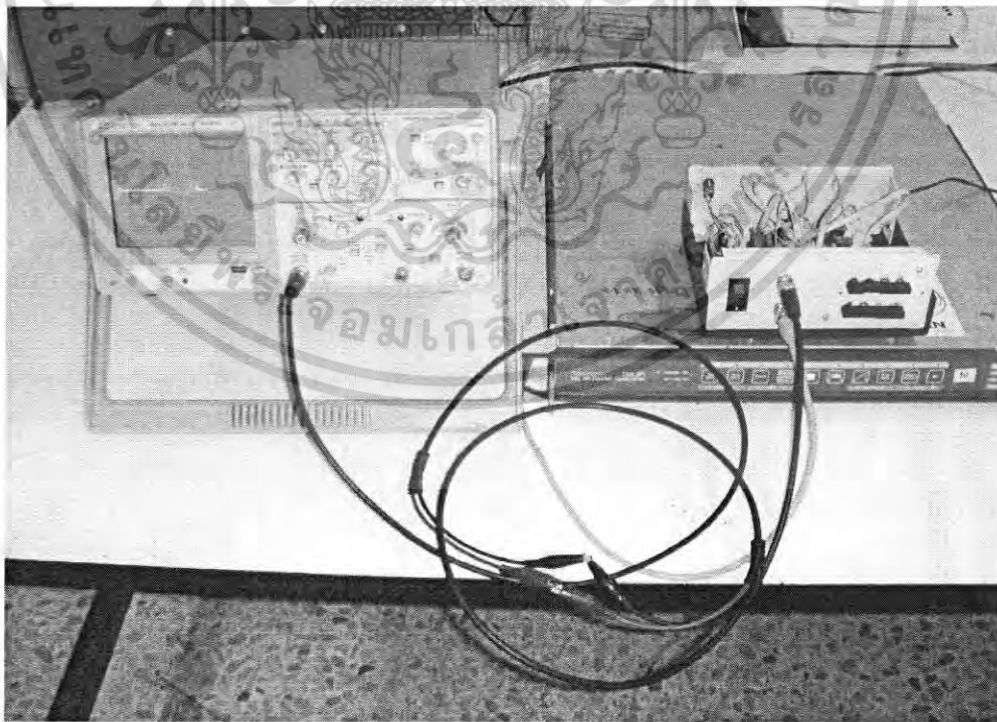
### การทดลองและการทดสอบการทำงานของวงจร

ในบทนี้เป็นการนำวงจรที่ได้ออกแบบมาทำการทดลอง และวัดผลตอบสนองของสัญญาณเมื่อผ่านวงจรอควอไลเซอร์ โดยการป้อนสัญญาณทดสอบมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ TSG 271 PAL Television Generator เข้าสู่วงจรอควอไลเซอร์ แล้วทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรอควอไลเซอร์ ซึ่งอุปกรณ์มีดังนี้

- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
- เครื่องกำเนิดสัญญาณ (TSG 271 PAL Television Generator)
- วงจรอควอไลเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบ



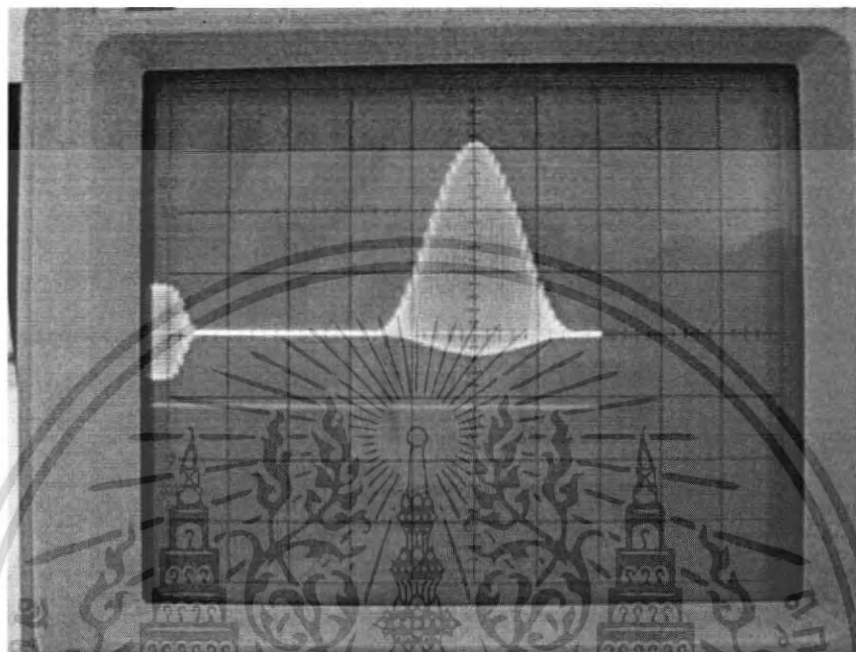
รูปที่ 5.1 แสดงแผนภาพของระบบ



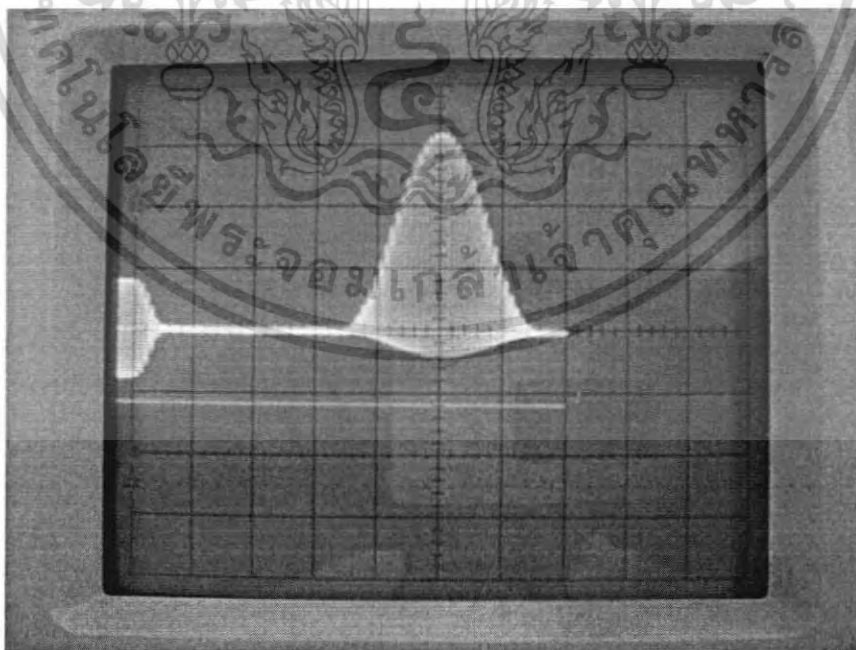
รูปที่ 5.2 แสดงภาพอุปกรณ์และวงจรอควอไลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

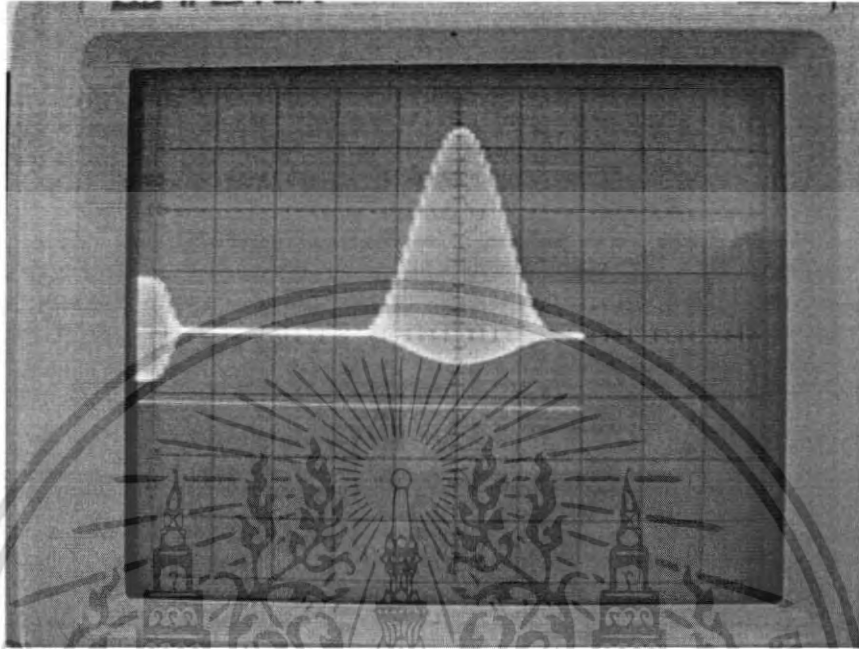
ในการทดลองนั้นได้ทำการป้อนสัญญาณมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T ผ่านวงจรอิกวอไลเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบไว้ จะได้ผลดังรูป



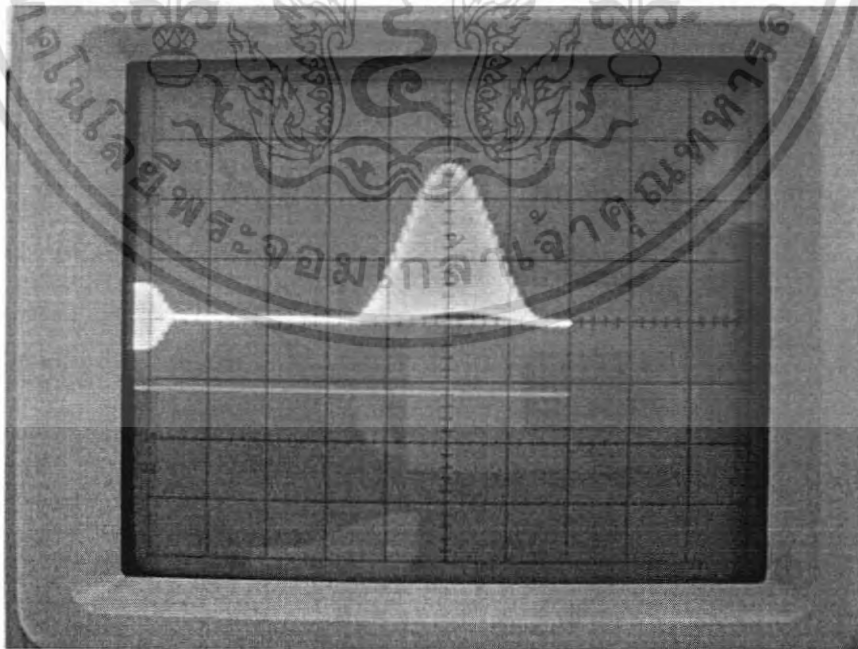
รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T เมื่อผ่านวงจรอิกวอไลเซอร์ที่ +1 dB



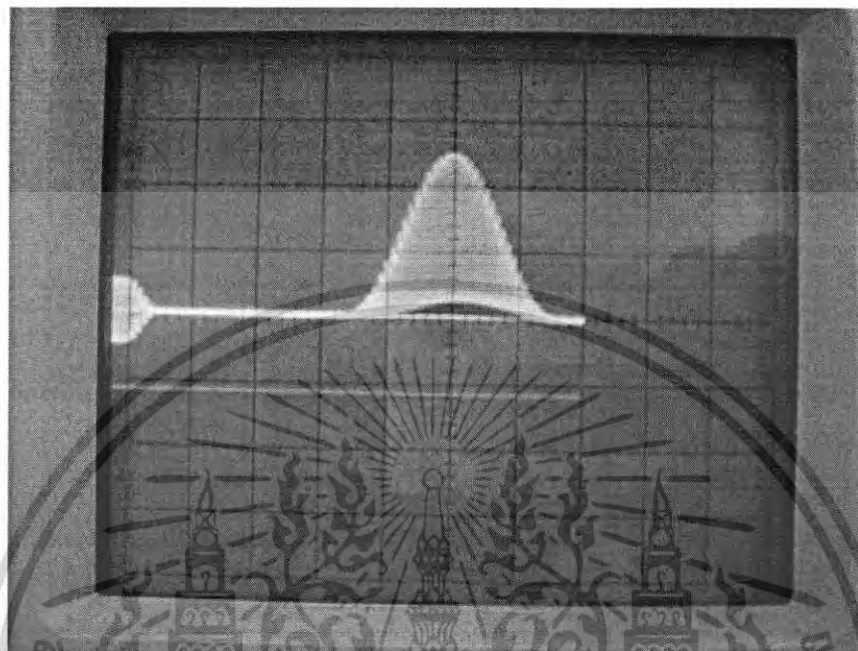
รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T เมื่อผ่านวงจรอิกวอไลเซอร์ที่ +2 dB เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



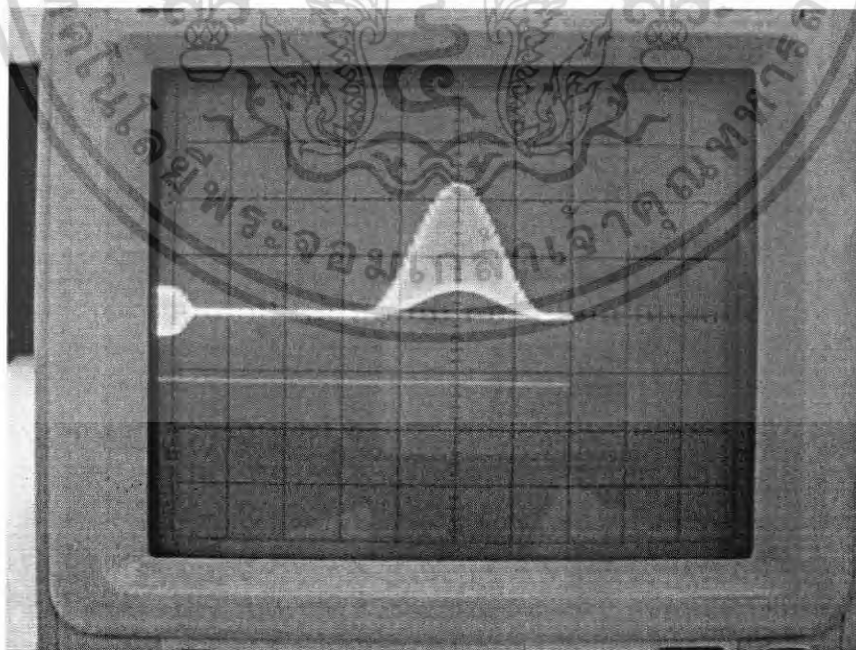
รูปที่ 5.5 แสดงสัญญาณมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T เมื่อผ่านวงจรอิกวอไลเซอร์ที่ +3 dB



รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T เมื่อผ่านวงจรอิกวอไลเซอร์ที่ -1 dB  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงสัญญาณมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T เมื่อผ่านวงจรถอไอเซอร์ที่ -2 dB



รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณมอดูเลทไซน์กำลังสองพัลส์แบบ 20T เมื่อผ่านวงจรถอไอเซอร์ที่ -3 dB  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุปและวิจารณ์

วงจรแอมป์ที่พอลิควอไลเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบ เพื่อแก้ไขความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โครมิกแนชต่อสัญญาณลูมิแนช ที่มีความผิดเพี้ยนที่ความถี่ 4.43 เมกกะเฮิร์ต โดยใช้เบรินสไตน์ โพลีโนเมียล โดยการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Matlab จะพบว่าได้ผลตอบสนองทางขนาดที่มีความราบเรียบที่สุด(Maximally flat amplitude characteristic) และเมื่อจำลองสัญญาณด้วยโปรแกรม Pspice จะพบว่ามีการเกิดกรูฟดิเลย์ต่ำ

จากวงจรที่ได้ออกแบบนี้จะเป็นพื้นฐานในการนำไปใช้งานเป็นอิกควอไลเซอร์หรือฟีดเตอร์ที่มีความราบเรียบที่สุด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยอาจนำไปใช้เพื่อพัฒนาในการปรับแก้สัญญาณทางกรูฟดิเลย์ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำหวังว่าปริญยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาต่อไป

## บรรณานุกรม

1. Baez-Lopez, D. 1991. LINEAR PHASE IIR DIGITAL FILTERS USING THE BERSTEIN POLYNOMIAL. Proceedings of ICASSP-91. pp. 1661-1664
2. Baez-Lopez, D. 1991. THE BERSTEIN FILTER A NEW CLASS OF LINEAR PHASE FILTER APPROXIMATION . Proceedings of the 34<sup>th</sup> Midwest Symposium on Circuits and system. pp. 704-707
3. Schaumann, R. and Valkenburg, M. E. 2001. Design of Analog Filters. Oxford University Press
4. จิรยุทธ์ มัททชนกุล. 2544. การออกแบบวงจรกรองแอนะล็อก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพร์ส

## ภาคผนวก

```
% ===== Bernstein Order 2 (k=1) ===== %

close all; clear all; clc;

Wo = 1; % Frequency Cut-Off

b = conv([-1 1],[1 1]);
y = conv(b,b);

e = 10;
b = y;
a = [(1+(e^2)) 0 -2 0 1]; % Order 2,k = 1
b = (b*1)+a; % H+1 ; 1 -> 3dB, .6 -> 2dB, .26 -> 1 dB

j = roots(b);
b = conv([1 -j(1)],[1 -j(2)]);

x = roots(a);
a = conv([1 -x(1)],[1 -x(2)]);

% ===== Low-pass Filter to Hight-pass Filter ===== %

% [b,a] = lp2hp(a,b,Wo); % -dB
[b,a] = lp2hp(b,a,Wo); % +dB

% ===== Magnitude, Phase and Group Delay Response ===== %

[h w] = freqs(b,a);
mag = abs(h);
db = 20*log10(mag);
phase = angle(h);
delay = -(diff(phase)./diff(w));

% ===== Plot Graph ===== %

color = 'r';
figure(4);
subplot(4,1,1), semilogx(w,mag,color), grid on,hold on;
subplot(4,1,2), semilogx(w,db,color), grid on,hold on;
subplot(4,1,3), semilogx(w,phase,color), grid on,hold on;
subplot(4,1,4), semilogx(w(1:199),delay,color), grid on,hold on;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้