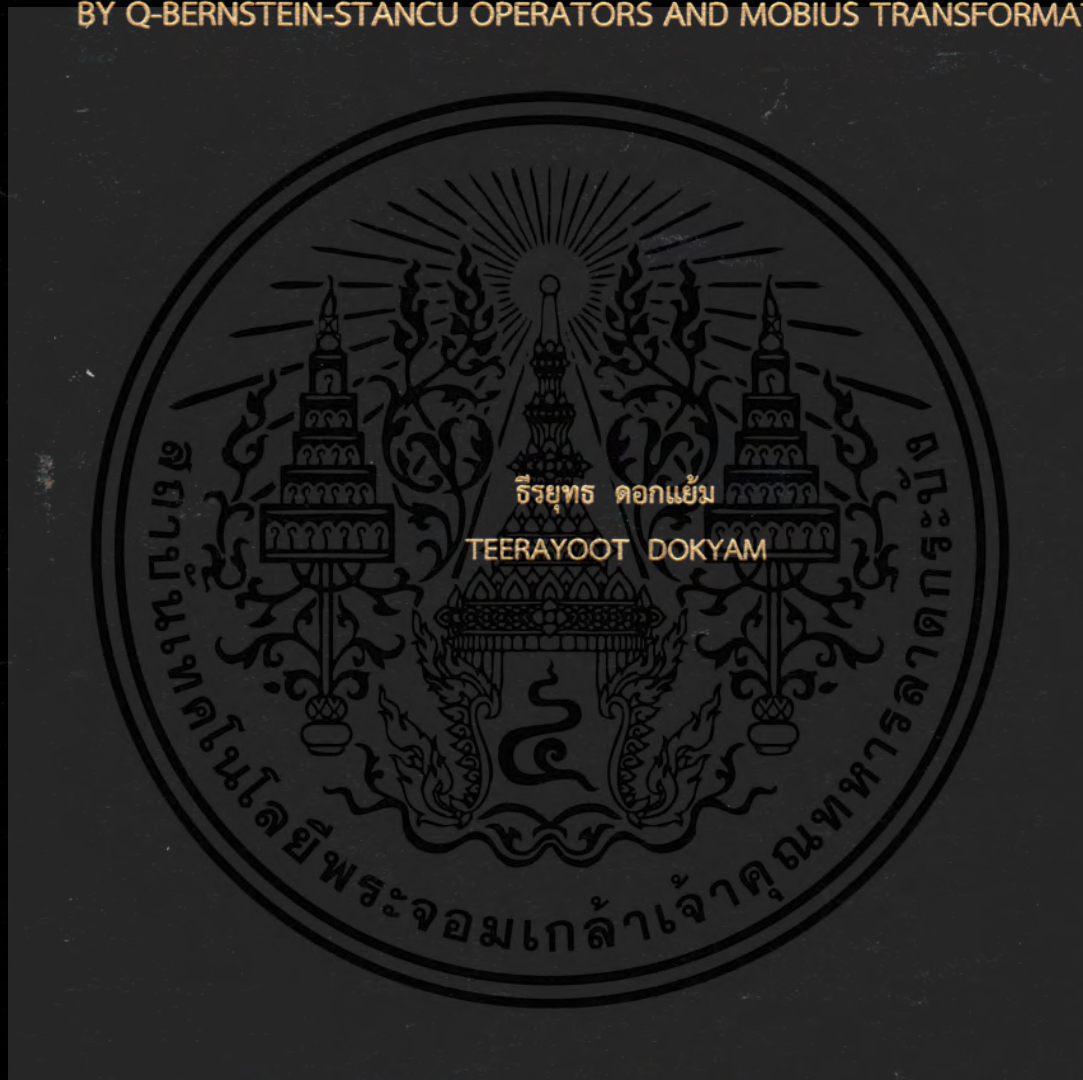


การประมาณวงจรถับเท่าทางขนาดแบบสโโลปเชิงเส้นโดยใช้ตัวดำเนินการ
แบบคว-เบิร์นสไตน์-สแตนคูร์ร่วมกับการแปลงแบบมอเบียส

ON THE APPROXIMATION OF LINEAR GAIN EQUALIZER
BY Q-BERNSTEIN-STANCU OPERATORS AND MOBIUS TRANSFORMATION



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-230-062

การประมาณวงจรถับเท่าทางขนาดแบบสโโลปเชิงเส้นโดยใช้ตัวดำเนินการ
แบบควิ-เบิร์นสไตน์-สแตนคูร์ร่วมกับการแปลงแบบโมเบียส

ON THE APPROXIMATION OF LINEAR GAIN EQUALIZER
BY Q-BERNSTEIN-STANCU OPERATORS AND MOBIUS TRANSFORMATION



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-230-062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON THE APPROXIMATION OF LINEAR GAIN EQUALIZER
BY Q-BERNSTEIN-STANCU OPERATORS AND MOBIUS TRANSFORMATION



A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-EN-M-230-062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณวงจรรีบเท่าทางขนาดแบบสโโลปเชิงเส้นโดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคูร่วมกับการแปลงแบบโมเบียส

Thesis Title On the Approximation of Linear Gain Equalizer by q-Bernstein-Stancu Operators and Mobius Transformation

นักศึกษา นายธีรยุทธ ดอกแย้ม

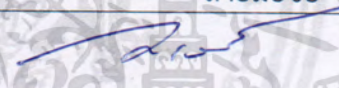
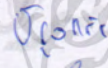

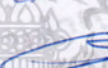
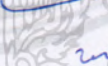
รหัสประจำตัว 59601216

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

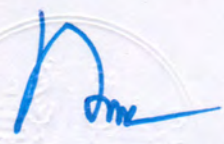
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-230-062

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช	
ผศ.ดร.พิกุลแก้ว	ตั้งติส้านนท์	
ผศ.ดร.วันวิสา	ชัชวงษ์	
รศ.ดร.อรรถสิทธิ์	หล้าสกุล	
รศ.ดร.ชวลิต	เบญจางคประเสริฐ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 08.00-10.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-302 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมตัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **ฉบับนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์** ขอสงวนสิทธิ์ในด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งแต่วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 นี้ที่มีการนำไปใช้

Thesis	On the Approximation of Linear Gain Equalizer by q -Bernstein-Stancu Operators and Mobius Transformation
Student	Mr.Teerayoot Dokyam
Student ID.	59601216
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chawalit Benjangkprasert

ABSTRACT

This thesis presents a design of linear gain equalizer by using Bernstein-Stancu and q -Bernstein-Stancu operators including Möbius transformation. These methods have an adjustable parameters more than the several types of Bernstein operators, these parameters can use to adjust the important characteristics of linear gain equalizer for better results. The simulation results show that q -Bernstein-Stancu's method can make the magnitude responses closest to ideal and Bernstein-Stancu's method can make the phase responses to non-minimum linear phase and the delay responses nearly constant more than another for both of high-gain and low-gain equalizers. Furthermore, the Mikhailov's criterion has been used to verify the stability of desired transfer functions.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ ซึ่งเป็พอาจารย์ปรึกษา รวมทั้ง ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์และ รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศสงข ที่ให้คำปรึกษา
ให้:ความชยเหลือ ให้:คำแนะนำในการแก:ปญญา ตลอดจนการให้:ความรู้:และประการณAที่แก0ขพเจ:า

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่
ให้:การสนับสนุน:ข:พเจ:าในการศึกษาในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จนนำไปสู0งนวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคน รวมถึงครอบครัวของขพเจ:า ที่ให้ความ
สนับสนุน และเช:ใจ:ข:พเจ:าตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข:พเจ:าขอมอบให้:กับบิดามารดา
ซึ่งเป็พที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท0น ที่ได้:ประสิทธิ์:ประสาทวิชาความรู้:และ
ถ0ยทอดประสบการณ์Aที่ให้:แก0ขพเจ:า

ธีรยุทธ ดอกแย้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การประมาณฟลักซ์ไอออน.....	25
3.1 วงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นในอุดมคติ.....	25
3.2 การประมาณฟลักซ์ไอออนโดยใช้ตัวดำเนินการแบบเบิร์ตอนสแตนคู.....	26
3.2.1 การประมาณร่วมกับสมการเอกซโพเนนเชียล.....	26
3.2.2 การแปลงขอบเขตด:ขสมการแปลง.....	32
3.2.3 การปรับแต่พารามิเตอร์พิเศษ.....	34
3.2.4 ผลลัพธ์และผลตอบสนอง.....	39
3.3 การประมาณฟลักซ์ไอออนโดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตอนสแตนคู.....	46
3.3.1 การประมาณร่วมกับสมการเส้นตรง.....	46
3.3.2 การแปลงขอบเขตด:ขสมการแปลงแบบโมเบียส.....	52
3.3.3 การปรับแต่พารามิเตอร์พิเศษ.....	54
3.3.4 ผลลัพธ์และผลตอบสนอง.....	60
บทที่ 4 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้น.....	67
4.1 แนวคิดในการออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้น.....	67
4.2 การออกแบบโดยใช้ตัวดำเนินการแบบเบิร์ตอนสแตนคู.....	67
4.2.1 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB.....	67
4.2.2 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +2 dB.....	71
4.2.3 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +1 dB.....	74
4.2.4 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -3 dB.....	78
4.2.5 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -2 dB.....	80
4.2.6 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -1 dB.....	83
4.3 การออกแบบโดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตอนสแตนคู.....	86
4.3.1 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB.....	86
4.3.2 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +2 dB.....	89
4.3.3 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +1 dB.....	93
4.3.4 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -3 dB.....	96
4.3.5 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -2 dB.....	99
4.3.6 การออกแบบวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -1 dB.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	105
5.1 ผลตอบสนองจากฟลักซ์ไอออนของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้น.....	105
5.1.1 ฟลักซ์ไอออนที่ไดจากตัวดำเนินการเบิรAsไตนAsแตนคุ.....	105
5.1.2 ฟลักซ์ไอออนที่ไดจากตัวดำเนินการคิวิ-เบิรAsไตนAsแตนคุ.....	108
5.2 การทดสอบเสถียรภาพของระบบ.....	111
5.2.1 เสถียรภาพของฟลักซ์ไอออนที่ไดจากตัวดำเนินการเบิรAsไตนAsแตนคุ.....	111
5.2.2 เสถียรภาพของฟลักซ์ไอออนที่ไดจากตัวดำเนินการคิวิ-เบิรAsไตนAsแตนคุ..	112
5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ.....	114
5.4 การสร:วงจรปรับเทอทางขนาดแบบความชันเปWเชิงเส้น.....	118
5.4.1 การสร:วงจรจากฟลักซ์ไอออนที่ไดจากวิธีการเบิรAsไตนAsแตนคุ.....	118
5.4.2 การสร:วงจรจากฟลักซ์ไอออนที่ไดจากวิธีการคิวิ-เบิรAsไตนAsแตนคุ.....	124
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัย.....	130
6.1 สรุปผล.....	130
6.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	130
เอกสารอ:อิง.....	132
ภาคผนวก.....	134
ภาคผนวก ก. ผลงานที่ได:รับการตีพิมพ์A.....	135
ประวัติผู้เขียน.....	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างคุณภาพของสัญญาณ.....	1
2.1 บล็อกไดอะแกรมการสร:รสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์อักล้งสองพัลสA.....	6
2.2 การรวมสัญญาณสี่กับสัญญาณส0สว0จ.....	7
2.3 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์อักล้งสองพัลสA.....	8
2.4 การเบ0งประเภทความผิดเพี้ยนแบบเชิงเสนของสัญญาณ.....	9
2.5 สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายย0งเดียว.....	9
2.6 สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางดีเลย์Aย0งเดียว.....	11
2.7 สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายและดีเลย์Aรวมกัน.....	12
2.8 แนวคิดในการเก:ไขความผิดเพี้ยนของสัญญาณโดยใช:สรรปรับเท0ทางขนาด.....	13
2.9 วงจรปรับเท0ทางขนาดแบบเชิงเส:ในนอุมคติ.....	13
2.10 สัญญาทดสอบที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายที่ ± 1 dB, ± 2 dB และ ± 3 dB.....	13
2.11 แนวคิดในการเก:ไขสัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูง.....	14
2.12 แนวคิดในการเก:ไขสัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำ.....	14
2.13 โฮโดกราฟของฟ_ล_อักล้ง0ยไออนที่มีเสถียรภาพ.....	16
2.14 โฮโดกราฟของฟ_ล_อักล้ง0ยไออนที่ไม่มีเสถียรภาพ.....	16
2.15 โครงสร:รการต0องจรแบบคาสเคด.....	17
2.16 โครงสร:รของวงจรแบบ Inverting Amplifier.....	18
2.17 การสร:รวงจรแบบ Inverting Amplifier.....	18
2.18 วงจร Unity-Gain Sign Inversion.....	18
2.19 โครงสร:รของวงจรแบบ Noninverting Amplifier.....	19
2.20 การสร:รวงจรแบบ Noninverting Amplifier แบบที่ 1.....	20
2.21 การสร:รวงจรแบบ Noninverting Amplifier แบบที่ 2.....	20
2.22 โครงสร:รของวงจรแบบ Single Amplifier.....	21
2.23 การนอร_ล_อักล้งแบบบับอัดความถี่:ขสเกล 10^3	22
2.24 การนอร_ล_อักล้งแบบขยายความถี่:ขสเกล 10^3	22
2.25 วงจรเดิมที่ยังไม0นการนอร_ล_อักล้งAตามถี่.....	23
2.26 วงจรที่ผ0นการนอร_ล_อักล้งAตามถี่:ขสเกล 10^3	23
3.1 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท0นบบเชิงเส:ในนอุมคติชนิดอัตราการขยายสูง.....	25
3.2 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท0นบบเชิงเส:ในนอุมคติชนิดอัตราการขยายต่ำ.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20.....	35
3.4 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20.....	36
3.5 ผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20.....	36
3.6 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/3$ และ 1.....	37
3.7 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/3$ และ 1.....	38
3.8 ผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/3$ และ 1.....	38
3.9 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	40
3.10 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	40
3.11 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +2 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	41
3.12 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +2 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	41
3.13 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +1 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	42
3.14 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +1 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	42
3.15 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -3 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	43
3.16 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -3 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	43
3.17 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรถับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -2 dB ที่ประมาณโดยเบียร์แอสไตนแอสแตนคู.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -2 dB ที่ประมาณโดยเบิรAชไตนAสแตนคู.....	44
3.19 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -1 dB ที่ประมาณโดยเบิรAชไตนAสแตนคู.....	45
3.20 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -1 dB ที่ประมาณโดยเบิรAชไตนAสแตนคู.....	45
3.21 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $c = 1, q = 0.1, 0.5, 1, 2$ และ 5	55
3.22 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1, c = 0.1, 0.5, 1, 2$ และ 5	55
3.23 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.3, 1.21, 1.15, 1.1$ และ $1, c = 0.75, 0.85, 0.98, 1.25$ และ 2.62	56
3.24 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.3, 1.21, 1.15, 1.1$ และ $1, c = 0.75, 0.85, 0.98, 1.25$ และ 2.62	56
3.25 ผลตอบสนองทางดีเลย์Aชงวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.3, 1.21, 1.15, 1.1$ และ $1, c = 0.75, 0.85, 0.98, 1.25$ และ 2.62	57
3.26 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.2, 1.17, 1.15, 1.13$ และ $1.1, c = 0.86, 0.92, 0.98, 1.1$ และ 1.15	58
3.27 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.2, 1.17, 1.15, 1.13$ และ $1.1, c = 0.86, 0.92, 0.98, 1.1$ และ 1.15	58
3.28 ผลตอบสนองทางดีเลย์Aชงวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.2, 1.17, 1.15, 1.13$ และ $1.1, c = 0.86, 0.92, 0.98, 1.1$ และ 1.15	59
3.29 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB ที่ประมาณโดยคิว-เบิรAชไตนAสแตนคู.....	61
3.30 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์Aชงวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB ที่ประมาณโดยคิว-เบิรAชไตนAสแตนคู.....	61
3.31 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +2 dB ที่ประมาณโดยคิว-เบิรAชไตนAสแตนคู.....	62
3.32 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์Aชงวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +2 dB ที่ประมาณโดยคิว-เบิรAชไตนAสแตนคู.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 1).....	84
4.16 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 2).....	84
4.17 วงจรอัตราขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1.....	87
4.18 วงจรอัตราขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2.....	87
4.19 วงจรอัตราขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 2).....	89
4.20 วงจรอัตราขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1.....	90
4.21 วงจรอัตราขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2.....	90
4.22 วงจรอัตราขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 2).....	92
4.23 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1.....	94
4.24 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2.....	94
4.25 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 2).....	96
4.26 วงจรอัตราขยายที่ -3 dB (สมการอันดับ 1).....	97
4.27 วงจร Unity-Gain Sign Inversion.....	97
4.28 วงจรอัตราขยายที่ -3 dB (สมการอันดับ 2).....	99
4.29 วงจรอัตราขยายที่ -2 dB (สมการอันดับ 1).....	100
4.30 วงจรอัตราขยายที่ -2 dB (สมการอันดับ 2).....	100
4.31 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 1).....	102
4.32 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 2).....	104
5.1 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้จากตัวดำเนินการเบิรAบน สไตน์แอสแตนคูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB บนความถี่ 4.43 MHz.....	106
5.2 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้จากตัวดำเนินการเบิรAบน สไตน์แอสแตนคูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB.....	106
5.3 ผลตอบสนองทางดีเลย์Aของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้จากตัวดำเนินการเบิรAบน สไตน์แอสแตนคูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB.....	107
5.4 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นซึ่งได้จากตัวดำเนินการคิว- เบิรAบนสไตน์แอสแตนคูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB บนความถี่ 4.43 MHz.....	109
5.5 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นซึ่งได้จากตัวดำเนินการคิว- เบิรAบนสไตน์แอสแตนคูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB.....	109
5.6 ผลตอบสนองทางดีเลย์Aของวงจรปรับเทอทางขนาดแบบเชิงเส้นซึ่งได้จากตัวดำเนินการคิว- เบิรAบนสไตน์แอสแตนคูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB.....	110

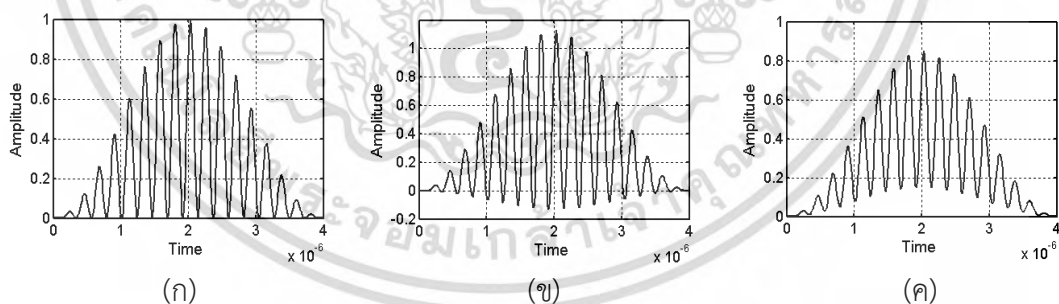
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันในระบบการสื่อสารที่มีการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ คุณภาพของสัญญาณที่ได้รับได้อาจเสื่อมลงได้ ซึ่งสิ่งสำคัญเพื่อมั่นใจได้ว่าคุณรับนั้นจะได้ข้อมูลข่าวสารโดยยังคงคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ถึงแม้ระบบที่มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ในการติดตามรับชมข่าวสาร และความบันเทิงต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีมากขึ้น ดังนั้นคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยทั่วไปสัญญาณภาพจากภาคส่ง จะส่งผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สัญญาณภาพนั้นจะถูกส่งออกไปผ่านสื่อกลางชนิดต่าง ๆ ซึ่งในกระบวนการนี้อาจเกิดเหตุการณ์การรบกวนของสัญญาณจากหลาย ๆ ปัจจัย สัญญาณภาพที่ถูกรบกวนจนทำให้สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยน (Distorted Signal) [1-3] อาจมีลักษณะที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายของสัญญาณ โดยที่สัญญาณสี หรือสัญญาณโครมิแนนซ์ (Chrominance Signal) และสัญญาณสีผสม (Luminance Signal) มีความผิดเพี้ยนต่างกัน ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนทางขนาด หรือความผิดเพี้ยนทางอัตราขยาย ส่งผลให้สัญญาณที่ได้รับเกิดความผิดเพี้ยนไปจากเดิม ตัวอย่างลักษณะของสัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายแสดงดังรูปที่ 1.1



(ก) ไม่มีความผิดเพี้ยน

(ข) ผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง

(ค) ผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างคุณภาพของสัญญาณ

วิธีการในการแก้ไขสัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราขยาย คือการใช้วงจรปรับเทรทางขนาด (Gain Equalizer) [2-5] ในการเพิ่มอัตราขยายหรือลดอัตราขยายของสัญญาณ เพื่อทำให้สัญญาณมีความใกล้เคียงกับสัญญาณเดิมมากที่สุด ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการออกแบบวงจรปรับเทรทางขนาด โดยเน้นไปที่วงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเส้น (Linear Gain Equalizer) ซึ่งในการออกแบบได้ใช้การใช้อัตราการเบี่ยงเบนสโตแคสติก และคิว-เบี่ยงเบนสโตแคสติก มาใช้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงเบริคโพลีโนเมียล ในการประมาณหาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ตัวดำเนินการดังกล่าวนี้มีคัพารามิเตอร์ที่สามารถปรับครได้ทำให้การปรับแต่งผลตอบสนองตง ๑ สามารถทำได้หลายหลาย และมีความยืดหยุ่นอีกทั้งยังชเสริมให้อารปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถที่ได้อประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในการแก้อัญญาณที่มีความผิดเพี้ยน

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาตัวดำเนินการเบริคโพลีโนเมียล ๑ ที่มีคัพารามิเตอร์กษที่สามารถปรับครได้ และสามารถนำมาใช้ในการประมาณค5ฟังก์ชันที่ตอหารได้
2. เพื่อออกแบบวงจรปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถโดยใชตัวดำเนินการแบบเบริคโพลีโนเมียล และคิว-เบริคโพลีโนเมียล
3. เพื่อออกแบบวงจรปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถที่มีความราบเรียบทางขนาด มีความชันของเฟสมีความเปคเชิงเสถและดีเลย์น5ไกลค5คมากที่สุด
4. เพื่อสามารถจำลองวงจรปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้อากตัวดำเนินการดังกล่าวได้ยงเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรปรับเท5ทางขนาด โดยมุ่งไปที่การออกแบบวงจรปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถซึ่งกระบวนการออกแบบได้อักรนำตัวดำเนินการเบริคโพลีโนเมียล และคิว-เบริคโพลีโนเมียล มาใช้ร่วมกับโพลีโนเมียลแบบเบริคโพลีโนเมียลเพื่อให้อพารามิเตอร์ที่สามารถปรับครได้สามารถใชอพารามิเตอร์เหล่านี้ในการปรับแต่งผลตอบสนองทางขนาดให้อักรความราบเรียบ ผลตอบสนองทางเฟสให้อักรความเปคเชิงเสถ และผลตอบสนองทางดีเลย์น5ไกลค5คมากที่สุด นำไปสู่ออกแบบวงจรปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้อักรความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณในระบบการส่งสัญญาณโทรทัศนส์ ซึ่งในกระบวนการออกแบบและจำลองผลนั้น ใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ช่วยในการประมวลผล วิเคราะห์และแสดงผลทงในรูปแบบตง ๑

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบวงจรปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถที่ระดับ ± 1 dB, ± 2 dB และ ± 3 dB โดยใช้โพลีโนเมียลเบริคโพลีโนเมียลอันดับที่สาม

2. ออกแบบวงจรปรับเท5ทางขนาดแบบเชิงเสถที่ระดับ ± 1 dB, ± 2 dB และ ± 3 dB

โดยใช้โพลีโนเมียลคิว-เบริคโพลีโนเมียลอันดับที่สาม รวมถึงสมการแปลงแบบโมเบียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปรียบเทียบคุณภาพของวงจรปรับเทสทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้กับวงจรปรับเทสทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ใช้โพลีโนเมียลแบบต5ง ๆ

4. จำลองการสร้งวงจรปรับเทสทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ระดับ ± 1 dB, ± 2 dB และ ± 3 dB จากสมการพหุนาม5ยอินที่ได้อ

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษาเริ่มต้งจากค้ความและศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องและมี ความใกล้เคียงกับการออกแบบวงจรปรับเทสทางขนาดแบบเชิงเส้นหรือวงจรปรับเทสทางขนาดแบบ ความชันเปดเชิงเส้น เพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการออกแบบวงจรถังกล5ว อีกรังยังได้อ การศึกษาวิธีการ หลักการ และทฤษฎีของตัวดำเนินการที่เหมาะสม [6-10] ที่จะนำมาใช้ในการ ออกแบบวงจรปรับเทสทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เออวิธีการเปิรพสไตน์พ สแตนคู และวิธีการคว-เปิรพสไตน์พสแตนคู รวมทั้งสมการแปลงแบบโมเบียส มาใช้ในการออกแบบ วงจรปรับเทสทางขนาดแบบเชิงเส้น ทั้งชนิดอัตราการขยายสูงที่ +3 dB, +2 dB และ +1 dB และ ชนิดอัตราการขยายต่ำที่ -3 dB, -2 dB และ -1 dB นอกจากนี้ยังได้อการศึกษาภาษา และพหุนาม 5ย ๑ ของซอฟต์แวร์MATLAB [13] เพื่อให้ย่นใจ5ยซอฟต์แวร์ที่ต้องการใช้ต้งนั้สามารถที่จะ ประมวลผลและแสดงผลพหุนามที่ได้อ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เบิร์นสไตน์โพลิโนเมียล

เบิร์นสไตน์โพลิโนเมียล (Bernstein Polynomials) [6-7] เกิดขึ้นจากทฤษฎีการประมาณ ที่มีรูปแบบพหุนามแบบตรีโกณมิติ $f(x)$ ในช่วง $[0, 1]$ โดยที่เบิร์นสไตน์โพลิโนเมียลอันดับที่ n^{th} สามารถแสดงได้ดีในสมการที่ (2.1)

$$B_n(f; x) = \sum_{k=0}^n f\left(\frac{k}{n}\right) \binom{n}{k} x^k (1-x)^{n-k} \quad (2.1)$$

โดยที่ $n \geq 1, 0 \leq k \leq n$ และ $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!k!}$

จากสมการที่ (2.1) สมการเบิร์นสไตน์โพลิโนเมียลพื้นฐาน สามารถนำไปประยุกต์โดยการเพิ่มเติมพารามิเตอร์ลงไปในสมการ เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน และมีประสิทธิภาพในการประมาณมากขึ้น ดังตัวอย่างที่จะกล่าวต่อไปนี้

2.1.1 ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์

สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์ (q-Bernstein Operators) [8] สามารถแสดงได้ดีในสมการที่ (2.2)

$$B_{n,q}(f; x) = \sum_{k=0}^n f\left(\frac{k}{n}\right) \binom{n}{k} x^k \prod_{i=0}^{n-k-1} (1-q^i x) \quad (2.2)$$

โดยที่ $n \geq 1, 0 \leq k \leq n, q > 0$ และ $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!k!}$

จากสมการที่ (2.2) เปรียบเทียบพารามิเตอร์ q ลงไปในสมการเบิร์นสไตน์โพลิโนเมียลพื้นฐาน โดย q มีค่ามากกว่า 0 ซึ่งหากในกรณีที่ q มีค่าเท่ากับ 1 สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์จะถูกลดรูปเปลี่ยนแปรสมการเบิร์นสไตน์โพลิโนเมียลพื้นฐานดังในสมการที่ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ตัวดำเนินการแบบเบิร์นสไตน์-สแตนคู

สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบเบิร์นสไตน์-สแตนคู (Bernstein-Stancu Operators) [9] สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4)

$$S_n^\alpha(f; x) = \sum_{k=0}^n f\left(\frac{k}{n}\right) S_k^n(x; \alpha) \quad (2.3)$$

โดยที่ $n \geq 1$, $0 \leq k \leq n$, $\alpha \geq 0$, $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!k!}$ และ

$$S_k^n(x; \alpha) = \binom{n}{k} \frac{\prod_{i=0}^{k-1} (x + \alpha i) \prod_{j=0}^{n-k-1} (1-x + \alpha j)}{\prod_{j=0}^{n-1} (1 + \alpha j)} \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.3) และ (2.4) เปรียบเทียบการเพิ่มพารามิเตอร์ α ลงไปในสมการเบิร์นสไตน์-สแตนคูโนเมียลพื้นฐาน โดย α มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 ซึ่งหากในกรณีที่ α มีค่าเท่ากับ 0 สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบเบิร์นสไตน์-สแตนคูนี้จะถูกลดรูปเปลี่ยนแปรสมการเบิร์นสไตน์-สแตนคูโนเมียลพื้นฐานดังในสมการที่ (2.1)

2.1.3 ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู

สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู (q-Bernstein-Stancu Operators) [10] สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5) และ (2.6)

$$B_n^{q,\alpha}(f; x) = \sum_{k=0}^n f\left(\frac{k}{n}\right) B_{n,k}^{q,\alpha}(x) \quad (2.5)$$

โดยที่ $n \geq 1$, $0 \leq k \leq n$, $\alpha \geq 0$, $q > 0$, $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!k!}$ และ

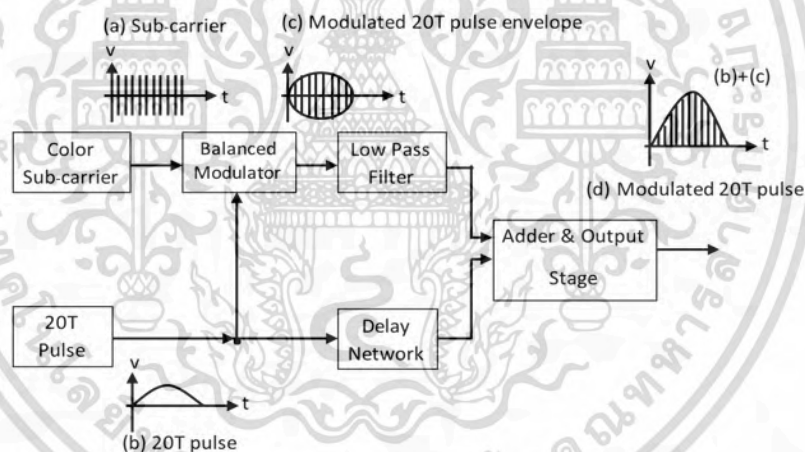
$$B_{n,k}^{q,\alpha}(x) = \binom{n}{k} \frac{\prod_{i=0}^{k-1} (x + \alpha i) \prod_{j=0}^{n-k-1} (1 - q^j x + \alpha j)}{\prod_{j=0}^{n-1} (1 + \alpha j)} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) เปรียบเทียบพารามิเตอร์ α และ q ลงไปในสมการเบเรอแลน & โพลีโนเมียลพื้นฐาน โดย α มีค[มากกว่า]หรือเท[กั]บ 0 และ q มีค[มากกว่า] 0 ซึ่งหากในกรณีนี้ α มีค[เท่ากับ] 0 สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบคิว-เบเรอแลน & โพลีโนเมียลจะถูกลดรูปเปลี่ยนแปรสมการสำหรับตัวดำเนินการแบบคิว-เบเรอแลน & โพลีโนเมียลในสมการที่ (2.2) หากในกรณีนี้ q มีค[เท่ากับ] 1 สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบคิว-เบเรอแลน & โพลีโนเมียลจะถูกลดรูปเปลี่ยนแปรสมการสำหรับตัวดำเนินการแบบเบเรอแลน & โพลีโนเมียลดังในสมการที่ (2.3) และ (2.4) และหากในกรณีนี้ทั้ง α มีค[เท่ากับ] 0 และ q มีค[เท่ากับ] 1 สมการสำหรับตัวดำเนินการแบบคิว-เบเรอแลน & โพลีโนเมียลจะถูกลดรูปเปลี่ยนแปรสมการเบเรอแลน & โพลีโนเมียลพื้นฐานดังในสมการที่ (2.1)

2.2 สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์

สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์คือสัญญาณไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีข[ว]เวลาครึ่งหนึ่งของแอมพลิจูดเท[กั]กับ 20T มอดูเลตกับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่คลื่นพาหะน้อย ซึ่งสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์สามารถสร้างขึ้นได้จากบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์

จากรูปที่ 2.1 การสร้างสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์เริ่มจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีข[ว]เวลาครึ่งหนึ่งของแอมพลิจูดเท[กั]กับ 20T (b) ทำการมอดูเลตกับสัญญาณความถี่คลื่นพาหะน้อย (a) เกิดแปรสัญญาณพัลส์ 20T ที่ถูกมอดูเลตเรียบรยแลด (c) ซึ่งสัญญาณนี้จะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ นอกจากนี้สัญญาณพัลส์ 20T (b) อีกทางจะผ่านวงจรหน[ว]เวลา (Delay Network) เพื่อปรับให้สัญญาณ (b) และ (c) มีเวลา (Timing) เท[กั]กัน ก[อ]ผลผ่านวงจรรวม (Adder) จึงจะได้สัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ (d) โดยสัญญาณนี้สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบและวัดความผิดเพี้ยนในการส่งผ่านระบบโทรทัศน[ะ]บบได้เป็นอย่างดี จากบล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ในรูปที่ 2.1 สามารถนำมาเขียนแปรสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนสิทธิ์หรือการแจ้งขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนเห็นเข้าเว็บไซต์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} \sin^2\left(\frac{\pi t}{40T}\right) + \frac{A}{2} \sin^2\left(\frac{\pi(t-\tau)}{40T}\right) \cos(\omega_c t) & ; |t| \leq 20T \\ 0 & ; |t| > 20T \end{cases} \quad (2.7)$$

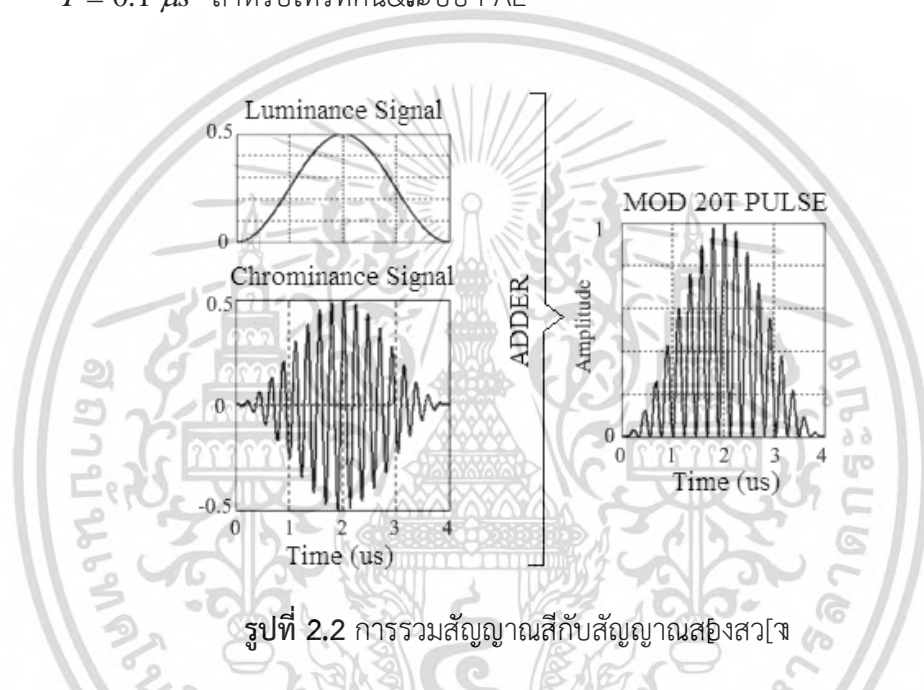
เมื่อ A คืออัตราขยายของสัญญาณทดสอบมอดูเลต $20T$ ไชน&กึ่งสองพัลส์&

τ คือความแตกต[จทางดีเลย์&

ω_c คือความถี่เชิงมุมของพาหีสัญญาณ มีค[พเท่ากับ $2\pi f_c$

t คือเวลา

$T = 0.1 \mu s$ สำหรับโทรทัศน์ระบบ PAL



รูปที่ 2.2 แสดงการรวมสัญญาณระหว[งสัญญาณสี (Chrominance Signal) กับสัญญาณส[วสวาง (Luminance Signal) จากการรวมกันเ็นขอบข[ยของเวลาจะได้อัฒษณะสัญญาณเหมือนสัญญาณทดสอบมอดูเลต $20T$ ไชน&กึ่งสองพัลส์&สมการเ็นขอบข[ยของเวลาและสมการสเปกตรัมของสัญญาณเ็นข[ยความถี่ต่ำที่ยังไม่ได้มอดูเลตแสดงดังสมการที่ (2.8) และ (2.9) สมการเ็นขอบข[ยของเวลาและสมการสเปกตรัมของสัญญาณเ็นข[ยความถี่สูงที่มอดูเลตแสดงดังสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$v_l(t) = \frac{1}{2} \cos^2\left(\frac{\pi t}{40T}\right) \quad (2.8)$$

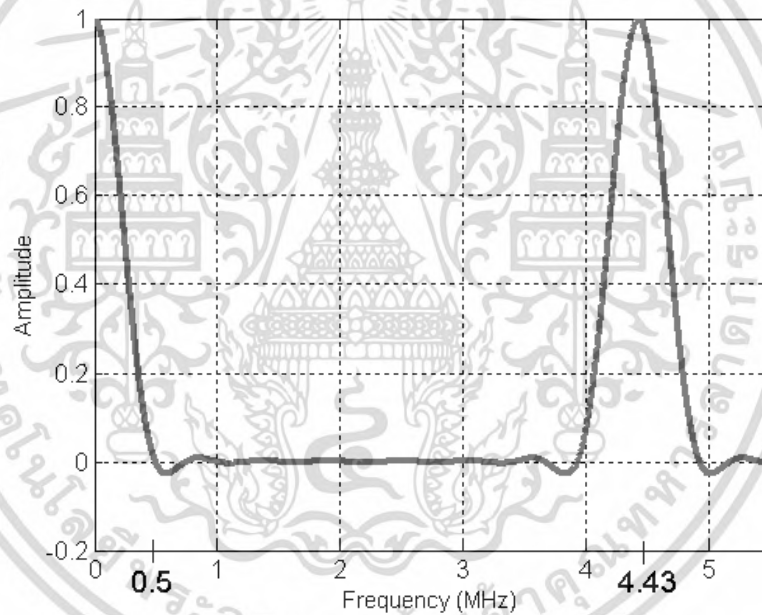
$$V_l(f) = \frac{1}{2} \left(\frac{20T}{1 - (40fT)^2} \right) \frac{\sin(40\pi fT)}{40\pi fT} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_c(t) = \frac{1}{2} \cos^2\left(\frac{\pi t}{40T}\right) \cos \omega_c t \quad (2.10)$$

$$V_c(f) = \frac{1}{2} \left[\frac{20T}{1 - \{40T(f - f_c)\}^2} \frac{\sin((f - f_c)40\pi T)}{(f - f_c)40\pi T} + \frac{20T}{1 - \{40T(f + f_c)\}^2} \frac{\sin((f + f_c)40\pi T)}{(f + f_c)40\pi T} \right] \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.9) และ (2.11) สเปกตรัมของสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน&กำลังสองพัลส์&ประกอบด้วยสัญญาณในย่านความถี่ต่ำที่ยังไม่ไดมอดูเลต และสัญญาณในย่านความถี่สูงที่มอดูเลตแล้ว แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีความสอดคล้องกับย่านความถี่ของสัญญาณสองช่วงที่มีความถี่ต่ำ 0 - 0.5 MHz และสัญญาณสีที่ความถี่สูง 3.93 - 4.93 MHz ในโทรทัศน์&ระบบ PAL

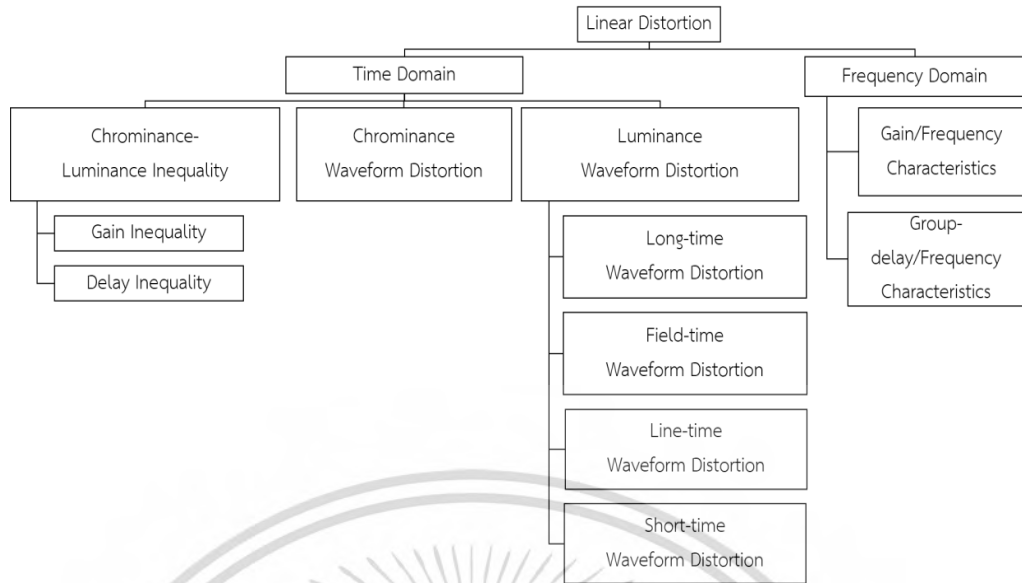


รูปที่ 2.3 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน&กำลังสองพัลส์&

2.3 ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

ความผิดเพี้ยนในระบบการส่งผ่านสัญญาณสามารถแบ่งออกเปนมความผิดเพี้ยนเชิงเส้น (Linear Distortion) และความผิดเพี้ยนไม่เปนมเชิงเส้น (Nonlinear Distortion) ซึ่งในวิทยานิพนธ์&ฉบับนี้จะพิจารณาที่ความผิดเพี้ยนเชิงเส้น ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังรูปที่ 2.4 ในการพิจารณาผลตอบสนองของสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน&กำลังสองพัลส์&ในส[นของความผิดเพี้ยนเชิงเส้น (Linear Distortion) จะเปม[การพิจารณาออกเปม&กรณี ไดดม[

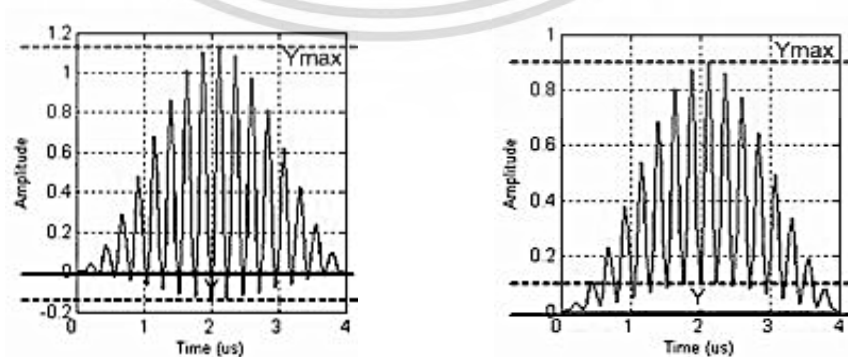
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การแบ่งประเภทความผิดเพี้ยนแบบเชิงเส้นของสัญญาณ

2.3.1 ความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายอย่างเดี่ยว (Gain Distortion)

ความไม่เที่ยงกันทางขนาดของสัญญาณสีและสัญญาณสีผสม ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนทางอัตราขยาย ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ ๒ ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยที่ความไม่เที่ยงกันทางขนาดของสัญญาณสีกับสัญญาณสีผสมในรูปที่ 2.5 (ก) จะมีขนาดของสัญญาณสีมากกว่าสัญญาณสีผสม ซึ่งผลตจในหน้ขเดซีเบลจะไดดค้ปรชวก เรียกว้ความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง (High-Gain Chrominance Distortion) ในทางกลับกันรูปที่ 2.5 (ข) จะมีขนาดของสัญญาณสีน้อยกว่าสัญญาณสีผสม ซึ่งผลตจในหน้ขเดซีเบลไดดค้ปรชบ เรียกว้ความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ (Low-Gain Chrominance Distortion) ในการแก้ดตามผิดเพี้ยนดังกล้ขจะตดอ้ขงจรปรับเท้ท้ทางขนาดของสัญญาณสี (Gain Chrominance Equalizer) เพื่อยกระดบหรือลดระดับทางขนาดของสัญญาณสีให้อัดขนาดเท้กับขนาดของสัญญาณสีผสม



(ก) สัญญาณผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง (ข) สัญญาณผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ

รูปที่ 2.5 สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายอย่างเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกร้ชงงานเพอกร้ศก้ษาเท้านน้ เมอน้ญ่ต้เหน้าเบ้ไซ้ประโยชน์ด้นกร้ค้ค่า
ไม่ว้กร้ณ้ใดๆ ทั้งล้ัน อี้ก้ทั้งห้ามมิให้ด้ดเปล้งน้ือหา และต้ออ้งอ้งถึงเจ้าขงเอกสารทุกคร้้งที่มีกร้นำไปไซ้

การหาอัตราส่วนระหว่างสัญญาณสีกับสัญญาณสองสี (Chrominance-to-Luminance Ratio) ของ Rosman แสดงได้ดังนี้

$$A = \frac{1 - (y_1 + y_2 + y_1 y_2)}{1 + (y_1 + y_2 - y_1 y_2)} \quad (2.12)$$

อัตราส่วนระหว่างสัญญาณสีกับสัญญาณสองสีสามารถแสดงในหน่วยเดซิเบลได้ดังนี้

$$A_{(dB)} = 20 \log(A) \quad (2.13)$$

ในกรณีที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายของสัญญาณเดี่ยว y_1 และ y_2 ใดใดหนึ่งจะมีค่าแปรศูนย&ากสมการที่ (2.12) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$A = \frac{1 - y}{1 + y} \quad (2.14)$$

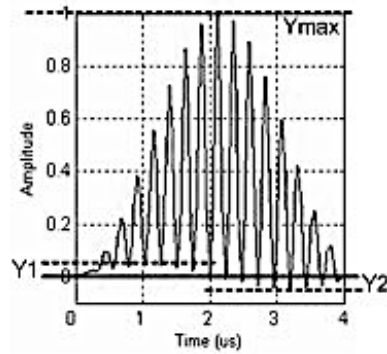
เมื่อ y คือค่าของคอนทราสต์ของแอมพลิจูดของสัญญาณเดี่ยวบนพื้นฐานของพัลส์ $y = Y/Y_{max}$

รูปที่ 2.5 แสดงสัญญาณมอดูเลต 20T โชนสีข้างสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายของสัญญาณเดี่ยว ซึ่งได้มาจากการแทนค่า A และ $\tau = 0$ ลงในสมการที่ (2.7) ในรูปที่ 2.5 (ก) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ จะเห็นว่าที่ฐานของพัลส์มีลักษณะแปรศูนย&า และรูปที่ 2.5 (ข) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง จะเห็นว่าที่ฐานของพัลส์มีลักษณะแปรศูนย&าที่มีค่าของอัตราขยายแปรศูนย&า

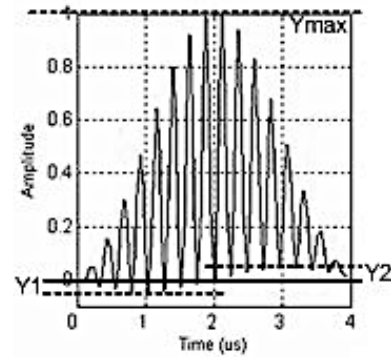
2.3.2 ความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดี่ยว (Delay Distortion)

ความไม่เที่ยงกันทางดีเลย์ของสัญญาณสีกับสัญญาณสองสี ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนทางดีเลย์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยที่ความไม่เที่ยงกันทางดีเลย์ของสัญญาณสีกับสัญญาณสองสีในรูปที่ 2.6 สัญญาณทั้งสองมีดีเลย์ไม่เที่ยงกัน และมีผลต้งแสดงในหน่วยนาโนวินาที (ns) ในรูปที่ 2.6 (ก) จะมีค่าดีเลย์ของสัญญาณสีมากกว่าดีเลย์ของสัญญาณสองสี ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนที่เรียกว่าความผิดเพี้ยนทางดีเลย์ขั้นสูง (Advanced Chrominance) และในรูปที่ 2.6 (ข) จะมีค่าดีเลย์ของสัญญาณสีน้อยกว่าดีเลย์ของสัญญาณสองสี ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนที่เรียกว่าความผิดเพี้ยนทางดีเลย์ต่ำ (Delayed Chrominance) ในการแก้ความผิดเพี้ยนดังกล่าวจะต้งใช้วงจรปรับเท[ทางประวิง (Delayed Chrominance Equalizer) เพื่อปรับเพิ่มหรือลดดีเลย์ของสัญญาณสีให้มีความเท่ากันกับดีเลย์ของสัญญาณสองสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณผิดเฟี้ยนทางดีเลย์&ชก



(ข) สัญญาณผิดเฟี้ยนทางดีเลย์&บ

รูปที่ 2.6 สัญญาณที่มีความผิดเฟี้ยนทางดีเลย์&บ[จเดี่ยว

การหาความแตกต่างทางเวลาหรือดีเลย์&บของสัญญาณสี่กับสัญญาณสองสวงของ Rosman แสดงได้ดังนี้

$$\tau = \frac{nT}{\pi} \cdot \cos^{-1} \left\{ 1 + \frac{8y_1y_2}{[1 - (y_1 + y_2 + y_1y_2)][1 + (y_1 + y_2 - y_1y_2)]} \right\} \quad (2.15)$$

กรณีที่มีความผิดเฟี้ยนทางดีเลย์&บ[จเดี่ยว ค[ขอด y_1 และ y_2 เปรด[ขอดทั้งสองที่ฐานของ พัลส์&บิตความผิดเฟี้ยน โดยที่ $y_1 = -y_2$ จากสมการที่ (2.15) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

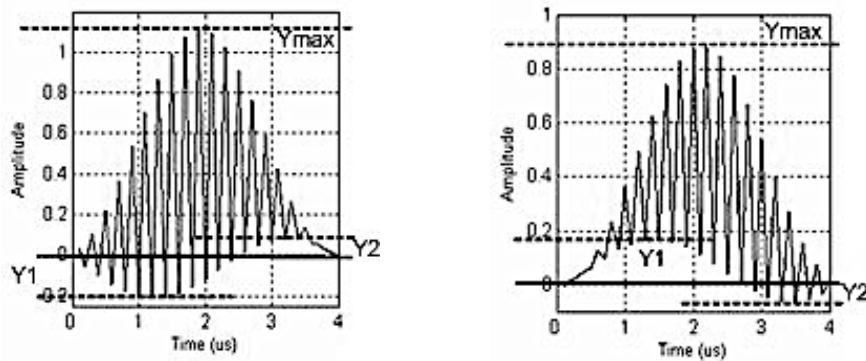
$$\tau = \frac{nT}{\pi} \cdot \tan^{-1} y_1 \quad (2.16)$$

รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน&บาสสองพัลส์ที่มีความผิดเฟี้ยนทางดีเลย์&บ[จเดี่ยว ซึ่งได้จากการแทนค[บ τ และ $A = 1$ ลงในสมการที่ (2.7) ในรูปที่ 2.6 (ก) แสดงความผิดเฟี้ยนทางดีเลย์&ชก จะเห็นว[ที่ฐานของพัลส์&บิตลักษณะเปรดลื่นไชน&บิตมีความสมมาตรโดยที่ y_1 มีค[บปรพวก y_2 มีค[บปรลบ และรูปที่ 2.6 (ข) แสดงความผิดเฟี้ยนทางดีเลย์&บ จะเห็นว[ที่ฐานของพัลส์&บิตลักษณะเปรดลื่นไชน&บิตมีความสมมาตรโดยที่ y_1 มีค[บปรลบ y_2 มีค[บปรพวก

2.3.3 ความผิดเฟี้ยนทาง&บการขยายและดีเลย์ (Gain and Delay Distortion)

ความผิดเฟี้ยนทาง&บการขยายและดีเลย์&บร&บกัน เกิดขึ้นจากความไม่[บ[ทันทางขนาดและความไม่[บ[ทันทางดีเลย์&บของสัญญาณสี่กับสัญญาณสองสวงเกิดขึ้นพร&บกัน หมายความว่า A ในสมการที่ (2.12) มีค[บไม่[บ[ทุกกับ 1 และ τ ในสมการที่ (2.15) มีค[บไม่[บ[ทุกกับ 0 เมื่อนำค[บทั้งสองมาแทนลงในสมการที่ (2.7) จะได้รูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูงและดีเลย์ลึบ

(ข) สัญญาณผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำและดีเลย์ชก

รูปที่ 2.7 สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายและดีเลย์ชกต่างกัน

จากสมการที่ (2.12) และ (2.15) เมื่อความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย ดังนั้นผลคูณระหว่าง y_1 และ y_2 สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการทั้งสองใหม่ได้ดังนี้

$$A = \frac{1 - (y_1 + y_2)}{1 + (y_1 + y_2)} \quad (2.17)$$

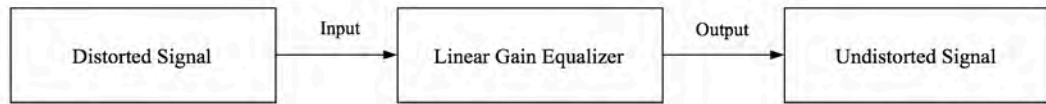
$$\tau = \frac{nT}{\pi} \cdot \cos^{-1}(1 + 8y_1y_2) = \frac{nT}{\pi} \cdot (\sqrt{-y_1y_2}) \quad (2.18)$$

รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณมอดูเลต 20T ไชนส์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ต่างกัน ซึ่งได้มาจากการแทนค่า $A \neq 1$ และ $\tau \neq 0$ ลงในสมการที่ (2.7) ในรูปที่ 2.7 (ก) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูงและดีเลย์ลึบ และรูปที่ 2.7 (ข) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำและดีเลย์ชก ทั้งหมดจะเห็นว่าพื้นฐานของพัลส์ลักษณะแปรสลับไชนส์ที่มีความไม่สมมาตร นั่นคือ $y_1 \neq y_2$

2.4 วงจรปรับเท่าทางขนาดแบบความชันเป็นเชิงเส้น

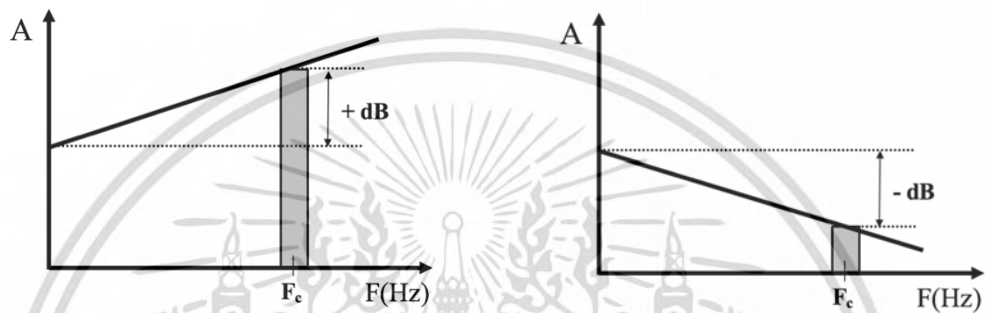
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการมุ่งเน้นในการแก้สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายอย่างเดียว ซึ่งเกิดจากความแตกต่างทางขนาดของสัญญาณเทียบกับสัญญาณสวิตช์สวอช แนวคิดสำหรับวิธีการในการแก้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายอย่างเดียวที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 2.8 คือการออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้นหนึ่งชนิดอัตราการขยายสูงที่ +3 dB, +2 dB และ +1 dB และชนิดอัตราการขยายต่ำที่ -3 dB, -2 dB และ -1 dB เพื่อทำการปรับเพิ่มหรือลดขนาดของสัญญาณให้มีความใกล้เคียงกับสัญญาณเดิมก่อนที่จะเกิดความผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แนวคิดในการแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณโดยวงจรปรับเท[ทางขนาด

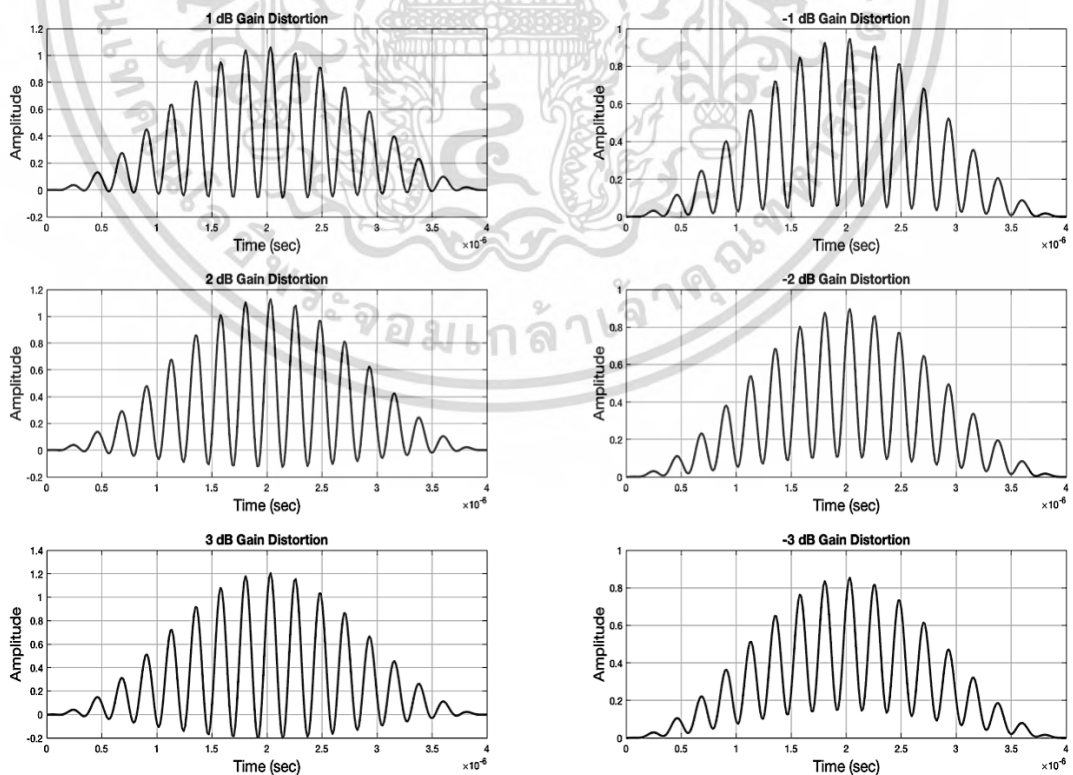
ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรปรับเท[ทางขนาดแบบเชิงเสถในอุดมคติทั้งชนิดอัตราการขยายสูงและชนิดอัตราการขยายต่ำแสดงดังรูปที่ 2.9



(ก) วงจรปรับเท[อัตราการขยายสูง

(ข) วงจรปรับเท[อัตราการขยายต่ำ

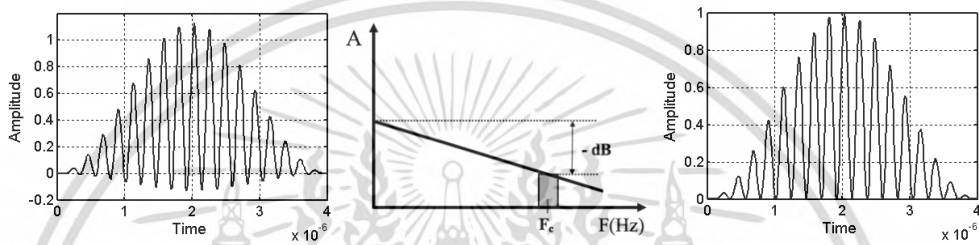
รูปที่ 2.9 วงจรปรับเท[ทางขนาดแบบเชิงเสถในอุดมคติ



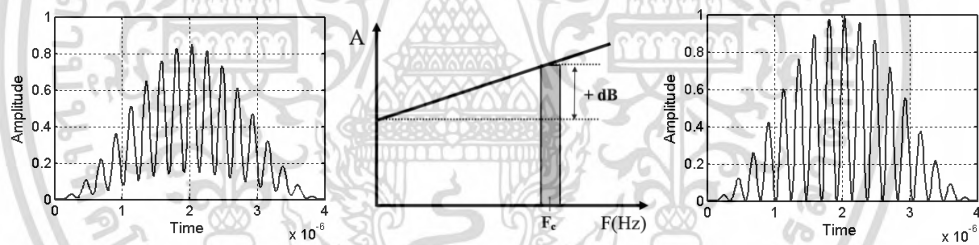
รูปที่ 2.10 สัญญาณทดสอบที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายที่ ± 1 dB, ± 2 dB และ ± 3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณมอดูเลต 20T ไซน์&กึ่งสองพัลส์&ที่ความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูง (High-Gain Distortion) ที่ +3 dB, +2 dB และ +1 dB และสัญญาณมอดูเลต 20T ไซน์&กำลังสองพัลส์&ที่ความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำ (Low-Gain Distortion) ที่ -3 dB, -2 dB และ -1 dB สำหรับสัญญาณภาพที่เกิดความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูง จะต่องอาศัยวงจรปรับเท[ทางขนาดชนิดอัตราการขยายต่ำเพื่อทำการลดขนาดของสัญญาณสีให้ขนาดเท[กับสัญญาณส[สีขาว แสดงดังรูปที่ 2.11 ส[รวมสัญญาณภาพที่เกิดความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำ จะต่องอาศัยวงจรปรับเท[ทางขนาดชนิดอัตราการขยายสูงเพื่อทำการเพิ่มขนาดของสัญญาณสีให้ขนาดเท[กับสัญญาณส[สีขาว แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 แนวคิดในการแก้ใ้สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูง



รูปที่ 2.12 แนวคิดในการแก้ใ้สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำ

2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท[ทางขนาดแบบความชันเป็นเชิงเส้น

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) มีความสำคัญอย่างมากในการนำมาออกแบบวงจรปรับเท[สมการฟังก์ชันถ่ายโอนจะอยู่ในรูปแบบของพหุนามเมียบิลที่เป็มฟังก์ชันเศษส่วน (Rational Function) เมื่อ n คืออันดับของฟังก์ชันถ่ายโอน แสดงดังสมการที่ (2.19)

$$H(s) = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_{n-1}s^{n-1} + a_n s^n}{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_{n-1}s^{n-1} + b_n s^n} \quad (2.19)$$

สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท[ทางขนาดแบบความชันเป็นเชิงเส้น

โดยใช้ดัดดำเนินการเบิร&ส[ได้นงใ้ ในการประมาณค่าสามารถหาได้จากสมการที่ (2.20) เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอูญูาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใ้ใ้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(f; x) = \frac{1}{B_n(f; x)} \cong f(x) \quad (2.20)$$

เมื่อ $B_n(f; x)$ คือตัวดำเนินการเบิร์ตสไตน์ใด ๆ ที่ใช้ในการประมาณค่า $f(x)$ คือฟังก์ชันใด ๆ ที่ต้องการประมาณค่า

ซึ่งสมการที่ได้ออกสมการที่ (2.20) เมื่อนำมาปรับให้อยู่ในรูปแบบของระนาบ s (s -plane) ดังสมการที่ (2.19) จะสามารถนำไปใช้ในการพล็อตกราฟ เพื่อดูผลลัพธ์หรือวิเคราะห์ผลตอบสนองต่าง ๆ ได้แก่ ผลตอบสนองทางขนาด (Magnitude Response), ผลตอบสนองทางเฟส (Phase Response) และ ผลตอบสนองทางดีเลย์ (Delay Response) เป็นต้นนอกจากนี้ฟังก์ชัน [ขโคนที่ได้นั้นจะถูกใช้เพื่อสมการที่ตั้งขึ้นที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบความชันแปรเชิงเส้นต่อไป

2.6 การทดสอบเสถียรภาพด้วยวิธีการของมิไฮลอฟ

ระเบียบวิธีของมิไฮลอฟ (Mikhailov's Criterion) เป็นหลักการที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบเสถียรภาพในระบบแอนะล็อก (Analog) อย่างแพร่หลาย ซึ่งสมการของมิไฮลอฟจะมีการแบ่งออกเป็มทั้งส่วนของจำนวนจริง (Real Number) และส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary Number) [11-12] สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.21)

$$D(j\omega) = u(\omega) + jv(\omega) \quad (2.21)$$

โดยที่

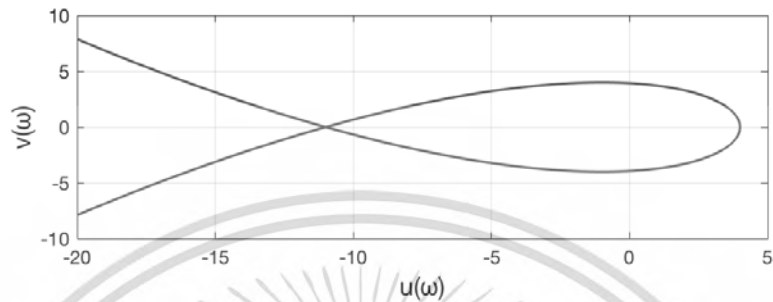
$$u(\omega) = a_0 - a_2\omega^2 + \dots - a_{2n}\omega^{2n} \quad (2.22)$$

$$v(\omega) = a_1\omega - a_3\omega^3 + \dots - a_{2n-1}\omega^{2n-1} \quad (2.23)$$

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้น สามารถทำได้โดยพิจารณาจากฟังก์ชัน [ขโคนที่ของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้เขียนอยู่ในรูปของ s โดเมน ดังสมการที่ (2.19) โดยการนำตัวส่วนของฟังก์ชัน [ขโคนที่ได้นั้นมาแทนค่า s ด้วย $j\omega$ จากนั้นจึงทำการแยกเทอมของจำนวนจริงและเทอมของจำนวนจินตภาพดังสมการที่ (2.22) และ (2.23) ซึ่งสมการที่ได้จะถูกลำไปพล็อตให้อยู่ในรูปแบบของโฮโดกราฟ (Hodograph) เพื่อพิจารณาเสถียรภาพต่อไป

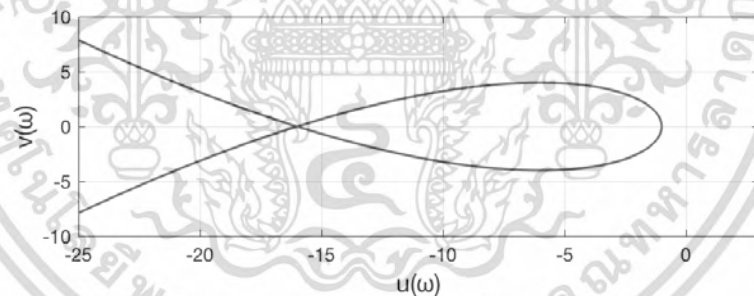
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาร์พลาตที่ได้นั้นจะมีลักษณะเปมเสดโคง มีรูปแบบพิกัดจุด และระยะจากแกน x ที่วัดขนานกับแกน y แตกต[างกัน ซึ่งหากพทซงค[ยโอนที่นำมาพล็อตสามารถทำให้โพลาร์พลาตมีลักษณะวงโคงล้อมรอบจุดกำเนิด (0,0) โดยเริ่มในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาด้งรูปที่ 2.13 จะสามารถถูกพิสูจน์ได้ว่ามีเสถียรภาพตามระเบียบวิธีของมิลไฮลอฟ



รูปที่ 2.13 โพลาร์พลาตของพทซงค[ยโอนที่มีเสถียรภาพ

ในทางตรงกันค[อน หากพทซงค[ยโอนที่นำมาพล็อตไม่สามารถทำให้โพลาร์พลาตมีลักษณะวงโคงล้อมรอบจุดกำเนิด (0,0) ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาด้งรูปที่ 2.14 ก็จะถูกพิสูจน์ได้ค[อนไม่มีเสถียรภาพตามระเบียบวิธีของมิลไฮลอฟเช่นกัน



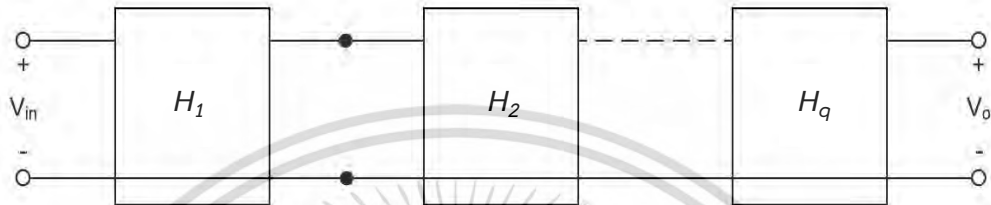
รูปที่ 2.14 โพลาร์พลาตของพทซงค[ยโอนที่ไม่มีเสถียรภาพ

2.7 การสร้างวงจรรด้วยแอกทีฟฟิลเตอร์ (Active Filter)

โดยทั่วไปการสรดงวงจรรจากพทซงค[ยโอนค[งจรร RC [14-16] สามารถทำได้ 2 วิธี คือวิธีการสรดงวงจรรแบบคาสเคด (Cascade) เปสซารสรดงโดยอาศัยวงจรรย[ขหลายวงจรรวางต[อกันรวมเปสจรรใหญ่[นึ่งวงจรร และการสรดงวงจรรแบบตรง (Direct) เปสซารสรดงโดยใชงจรรเดี่ยว (Single Circuit) ในงานวิจัยนี้ได้ค[งการเลือกใชงจรรสรดงวงจรรแบบคาสเคด โดยการนำวงจรร RC ของพทซงค[ยโอนอันดับที่ 1 (First-Order) มาค[งรวมค[งกับวงจรร RC ของพทซงค[ยโอนอันดับที่ 2 (Second-Order) สมการพทซงค[ยโอนที่มีการค[งแบบคาสเคดแสดงด้งสมการที่ (2.24) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใชงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใชประโยชน์ด้งการค[งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ค[งแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(s) = H_1(s)H_2(s)\dots H_q(s) = \prod_{i=1}^q H_i(s) \quad (2.24)$$

จากสมการที่ (2.24) สามารถทำการแปลงจรรยาแบบคาสเคด ดดวงจรเรียงจำนวน q วงจร ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น H_1, H_2, \dots, H_q แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างการแปลงจรรยาแบบคาสเคด

โดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้ทั้งหมดจากงานวิจัยนี้ เป้าหมายฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับที่ 3 ดังนั้นจึงสามารถสร้างวงจรแบบคาสเคดได้โดยการแยกแยะแอมพลิจูดของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับที่ 1 ต่อกับวงจรของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับที่ 2 ดังนี้

$$H(s) = H_1(s)H_2(s) \quad (2.25)$$

โดยที่

$$H_1(s) = K \frac{s+a}{s+b} \quad H_2(s) = K \frac{s^2+as+b}{s^2+cs+d} \quad (2.26)$$

พิจารณารสร้างวงจรจากฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับที่ 1 จาก H_1 ในสมการที่ (2.26) วิธีการสร้างวงจรแบบแรก คือการสร้างตามโครงสร้าง Inverting Amplifier แสดงดังรูปที่ 2.16 ซึ่งมี Voltage-Ratio ดังนี้

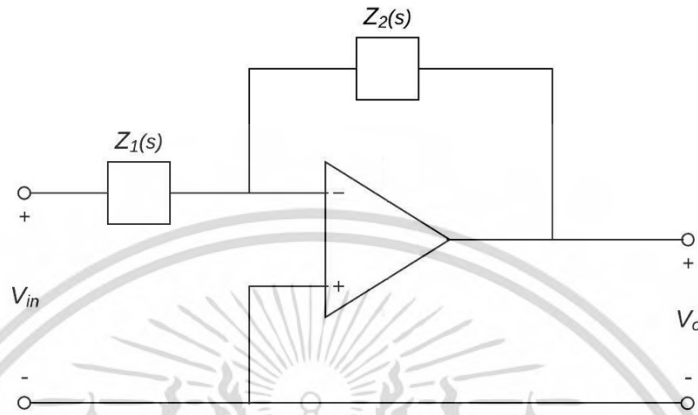
$$H_1(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \quad (2.27)$$

จากสมการที่ (2.26) และ (2.27) จะได้

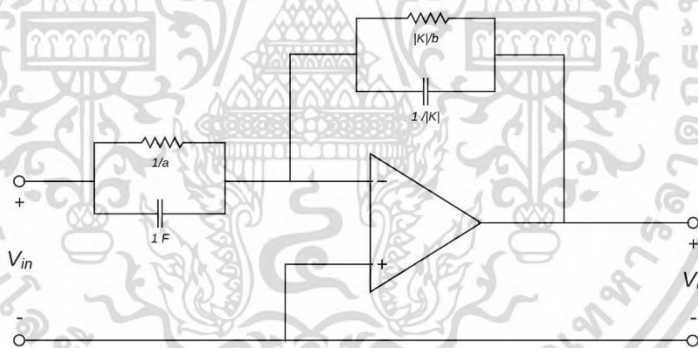
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_1(s) = \frac{1}{s+a} \quad Z_2(s) = \frac{-K}{s+b} \quad (2.28)$$

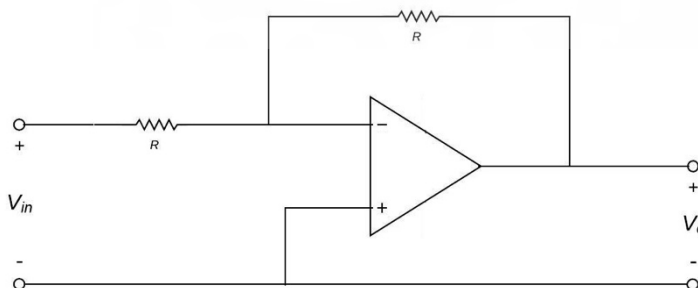
เมื่อ $K < 0, a > b \geq 0$ หรือ $b > a \geq 0$ วงจรแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของวงจรแบบ Inverting Amplifier



รูปที่ 2.17 การสร้างวงจรแบบ Inverting Amplifier



รูปที่ 2.18 วงจร Unity-Gain Sign Inversion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณี $K > 0$ จำเป็รตดงทำการตอที่มวงจร Unity-Gain Sign Inversion ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยการเลือก $Z_1(s) = Z_2(s) = R$

การสรดงวงจรจากพทชันถุยกยโอนอันดับที่ 1 แบบที่สอง คือการสรดงตามโครงสรดง Noninverting Amplifier แสดงดังรูปที่ 2.19 ซึ่งมี Voltage-Ratio ดังนี้

$$H_1(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = 1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \quad (2.29)$$

จากสมการที่ (2.26) และ (2.29) จัดรูปใหม่ได้เป็รน

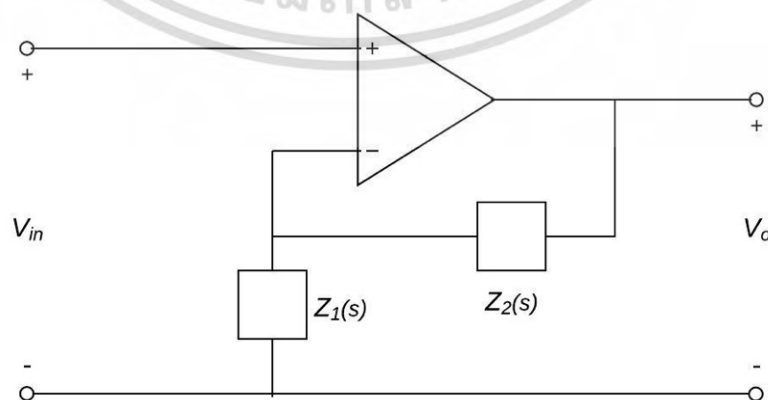
$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = K \frac{s+a}{s+b} - 1 = \frac{(K-1)s + (Ka-b)}{s+b} \quad (2.30)$$

สมมติให้ $K = 1$ จะได้

$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{a-b}{s+b} = \frac{(a-b)/s}{(s+b)/s} \quad (2.31)$$

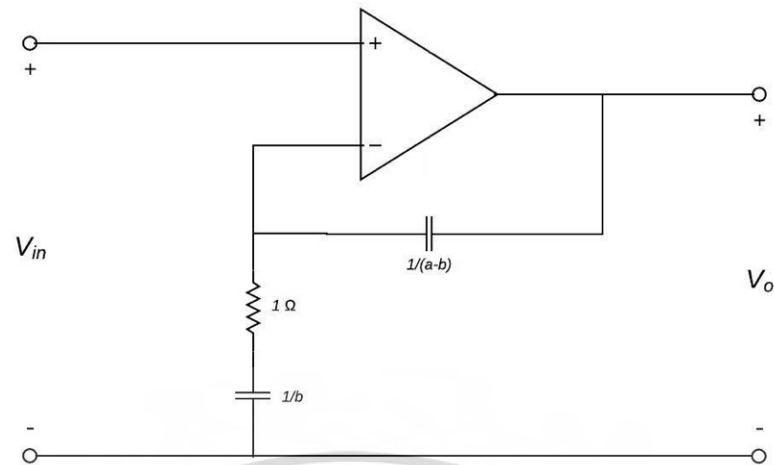
$$Z_1(s) = \frac{s+b}{s} \quad Z_2(s) = \frac{a-b}{s} \quad (2.32)$$

เมื่อ $a > b \geq 0$ วงจรแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 โครงสรดงของวงจรแบบ Noninverting Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญตให้เนาไปไซประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



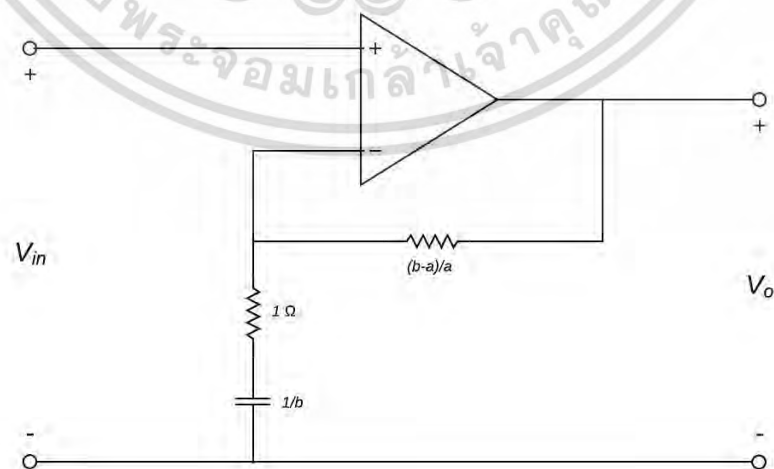
รูปที่ 2.20 การสร้งวงจรแบบ Noninverting Amplifier แบบที่ 1

หากเลือกค่า K จาก $Ka - b = 0$, $K = b/a$ จากสมการที่ (2.30) จะได้

$$\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{(b-a)s/a}{s+b} = \frac{(b-a)/a}{1+b/s} \quad (2.33)$$

$$Z_1(s) = 1 + \frac{b}{s} \quad Z_2(s) = \frac{b}{a} - 1 \quad (2.34)$$

เมื่อ $b \geq a > 0$ วงจรแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การสร้งวงจรแบบ Noninverting Amplifier แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับสุดท้ายคือการพิจารณาการสردวงจรจากฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับที่ 2 จาก H_2 ในสมการที่ (2.26) ด้วยวิธีการสردแบบ Single Amplifier ที่ประกอบไปด้วย ออปแอมป์(Op-Amp) 1 ตัว และวงจร RC แบบ One-Ports จำนวน 6 ชุด แสดงดังรูปที่ 2.22 คา[RC แอดมิตแตนซ์]ต่างๆ สามารถหาได้จาก

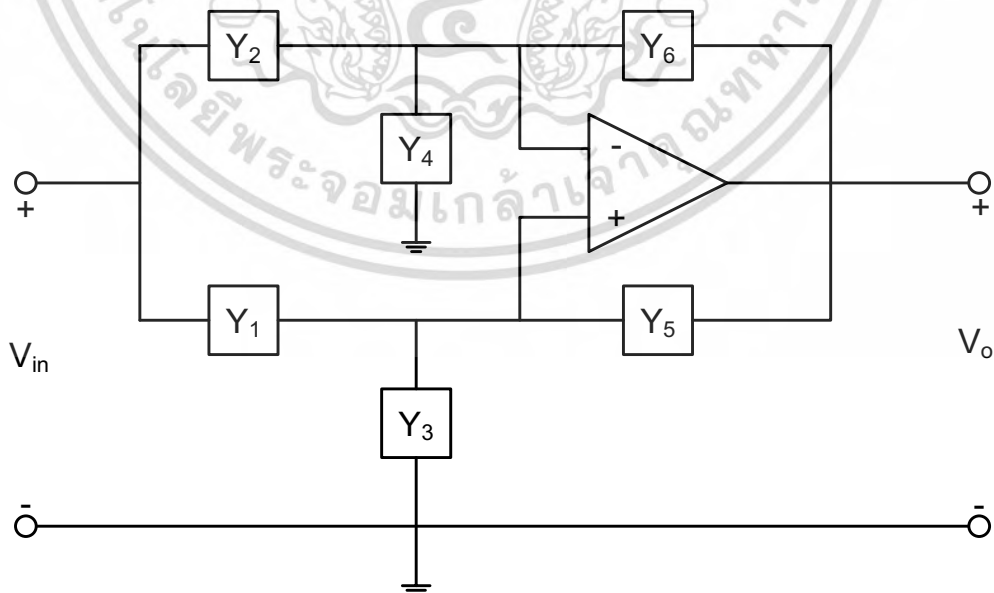
$$H_2(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} \quad (2.35)$$

โดยที่ Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 และ Y_6 สามารถหาได้จาก

$$\frac{P(s)}{D(s)} = Y_1 - Y_2 \quad (2.36)$$

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = Y_6 - Y_5 \quad (2.37)$$

$$\frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = Y_3 - Y_4 \quad (2.38)$$



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของวงจรแบบ Single Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การนอร์มัลไลซ์ (Normalization)

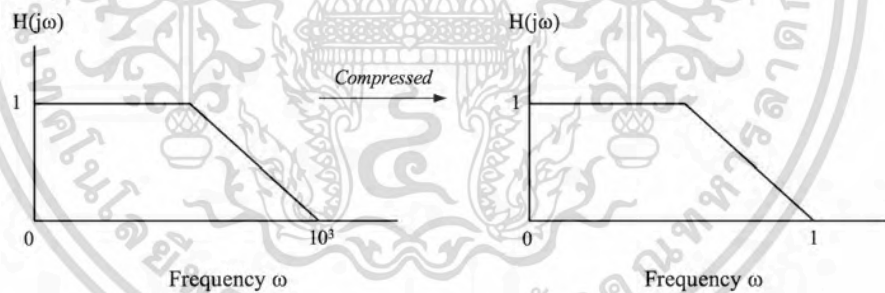
ในงานวิจัยนี้ได้นำการนอร์มัลไลซ์ความถี่ (Frequency Scaling) มาใช้ในการขยายความถี่ที่ $\omega = 1$ ไปยังความถี่ที่สูงขึ้น โดยที่ยังคงคutoff แมกนิจูดเดิมไว้หรือไม่มีการใช้การปรับแมกนิจูด (Magnitude Scaling) นอกจากนี้ยังมีการใช้การปรับอิมพีแดนซ์ (Impedance Scaling) เพื่อปรับคอิมพีแดนซ์ต่างๆ ในวงจรปรับเท[ทางขนาดแบบเชิงเสถียร] สามารถใช้กันได้ตรงตามความถี่ที่ต้องการ กำหนดให้ k_f คือสเกลความถี่ที่ต้องการ ดังนั้นการปรับความถี่สามารถทำได้ดังสมการ [15-16]

$$H(s) \Rightarrow H(k_f s) \quad (2.39)$$

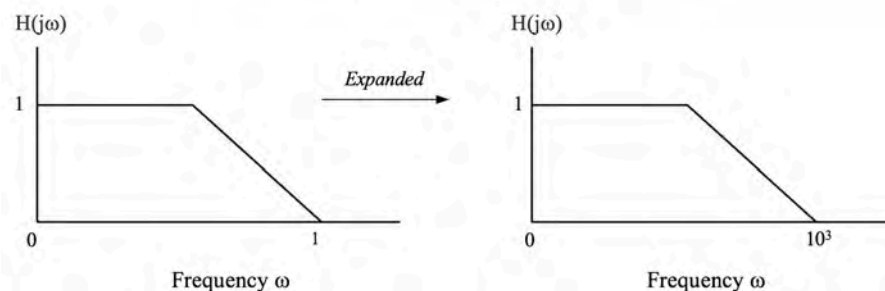
เมื่อต้องการบีบอัดความถี่ (Compressed) ด้วยสเกลขนาด k_f และในทำนองเดียวกัน

$$H(s) \Rightarrow H(s/k_f) \quad (2.40)$$

เมื่อต้องการขยายความถี่ (Expanded) ด้วยสเกลขนาด k_f



รูปที่ 2.23 การนอร์มัลไลซ์แบบบีบอัดความถี่ด้วยสเกล 10^3



รูปที่ 2.24 การนอร์มัลไลซ์แบบขยายความถี่ด้วยสเกล 10^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนอ้ลไลซ&ตามถึนนอกจากสัผลตอความถึโดยตรงแลดข้งสัผลตอคัอิมพิแดนซ&[จ ๑ ภายในวนจร ซึงการปรับอิมพิแดนซ&จากคัเดิมไปสูคัใหม่ใ้สามารถใชดชนไดนความถึที่ถูปรับแลด สามารถทำไดด้สมการ

$$R_{new} = R_{old} \quad (2.41)$$

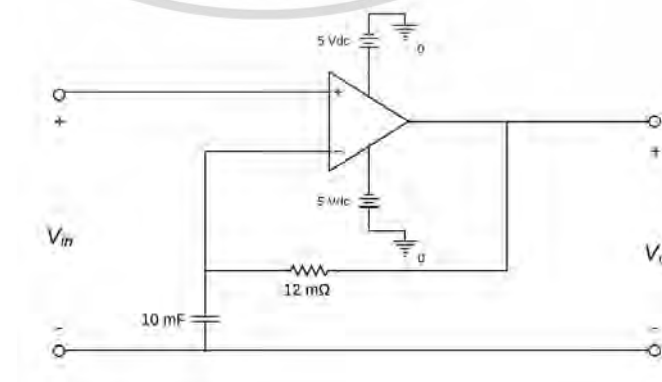
$$L_{new} = \frac{1}{k_f} L_{old} \quad (2.42)$$

$$C_{new} = \frac{1}{k_f} C_{old} \quad (2.43)$$

รูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26 แสดงด้วย[การปรับเปลี่ยนคัอิมพิแดนซ&เมื่อมีการปรับเปลี่ยน ความถึดดสเกล $k_f = 10^3$



รูปที่ 2.25 วงจรเดิมที่ยังไม่นการนอ้ลไลซ&ตามถึ



รูปที่ 2.26 วงจรที่นการนอ้ลไลซ&ตามถึดดสเกล 10^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตใ้หน้าไปใ้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งลึน อึกทั้งห้ามมิใ้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใ้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาด (Gain Equalizer) ในงานวิจัยที่ผ[านมานั้น การออกแบบโดยอาศัยวงจรรองความถี่แบบแอนะล็อก ได้มีการศึกษาและวิจัยกันอย่างแพร่[หลายด้วยวิธีการหลากหลายแตกต่างกันออกไปแต่มีเป้าหมายเดียวกัน คือการออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดให้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งในการออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดให้ประสิทธิภาพ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงคือ เฟสต้องมีความแปรเชิงเส้นและดีเลย์ที่คงที่ โดยงานวิจัยที่ผ[านมานั้นได้มีการออกแบบโดยใช้วิธีการหรือฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น เบสเซล (Bessel) เชบีเชฟ (Chebyshev) บัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth) หรือแบร์นูลลี (Bernoulli) เป็นต้นซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้มีพารามิเตอร์ที่ช่วยในการปรับแต่งผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไป ทำให้วงจรปรับเท[ทางขนาดที่ได้ด้นมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน และเป็นที่สังเกตได้ในหลาย ๆ งานวิจัยไม่มีการพิจารณาเฟสหรือดีเลย์ที่คงที่ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นเฟสหรือดีเลย์ที่ดีสักขณะใด

แต่เมื่อไม่[านมานี้ ได้มีการนำโพลีโนเมียลแบบเบร์นูลลีที่มีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้มาใช้ในการออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดสำหรับแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณในระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน[3] ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวได้มีการเปรียบเทียบผลตอบสนองทางขนาด เฟส และดีเลย์กับวิธีการเดิมที่กล่าวถึงข้างต้นซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากโพลีโนเมียลแบบเบร์นูลลีนั้นแสดงให้เห็นความแปรเชิงเส้นของเฟส และดีเลย์ที่กว้างขวางมาก ต่อมาจึงได้มีการนำโพลีโนเมียลแบบเบร์นูลลีมาใช้กันอย่างหลากหลาย เช่น การออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดเพื่อแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดในสายเคเบิลโดยใช้โพลีโนเมียลแบบเบร์นูลลีและการออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดแบบเชิงเส้นในโพลีโนเมียลแบบเบร์นูลลี เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำตัวดำเนินการอื่น ๆ ที่มีพารามิเตอร์เพิ่มเติมเข้ามาประยุกต์ใช้โพลีโนเมียลแบบเบร์นูลลีเพื่อหวังให้เกิดผลลัพธ์ที่ดี และมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งยังประยุกต์ใช้กันในอีกหลากหลายด้าน เช่น การออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดโดยใช้ตัวดำเนินการเบร์นูลลีและค่าคงที่ [17] การออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดโดยใช้สมการโลจิสติก 4 ตัวแปรร่วมกับเบร์นูลลี [18] การประยุกต์ใช้ฟังก์ชันเศษส่วนและเบร์นูลลีร่วมกับเบร์นูลลีและโพลีโนเมียลเพื่อทำการจำลองสัญญาณคลื่นหัวใจและความดันเลือด เป็นต้นเพราะฉะนั้นด้วยความที่เบร์นูลลีและโพลีโนเมียลมีความยืดหยุ่นสามารถประยุกต์ใช้กันได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพจึงเกิดแนวคิดที่จะใช้ตัวดำเนินการแบบเบร์นูลลีและแทนคู่ [9] และตัวดำเนินการแบบคิว-เบร์นูลลี-แทนคู่ [10] ที่มีพารามิเตอร์ที่ซับซ้อนมากกว่าเบร์นูลลีขึ้นไป ในการออกแบบวงจรปรับเท[ทางขนาดแบบสโลปเชิงเส้นซึ่งชนิดอัตราขยายต่ำและอัตราขยายสูง เพื่อแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณในระบบส[ัญญาณโทรทัศน[8]

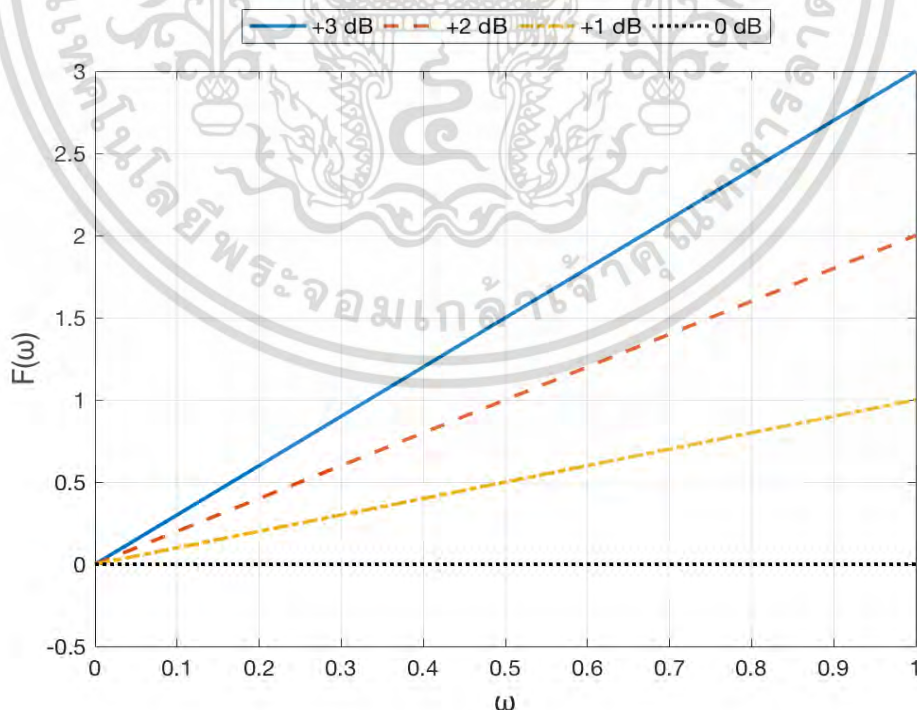
บทที่ 3

การประมาณฟังก์ชันถ่ายโอน

3.1 วงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้นในอุดมคติ

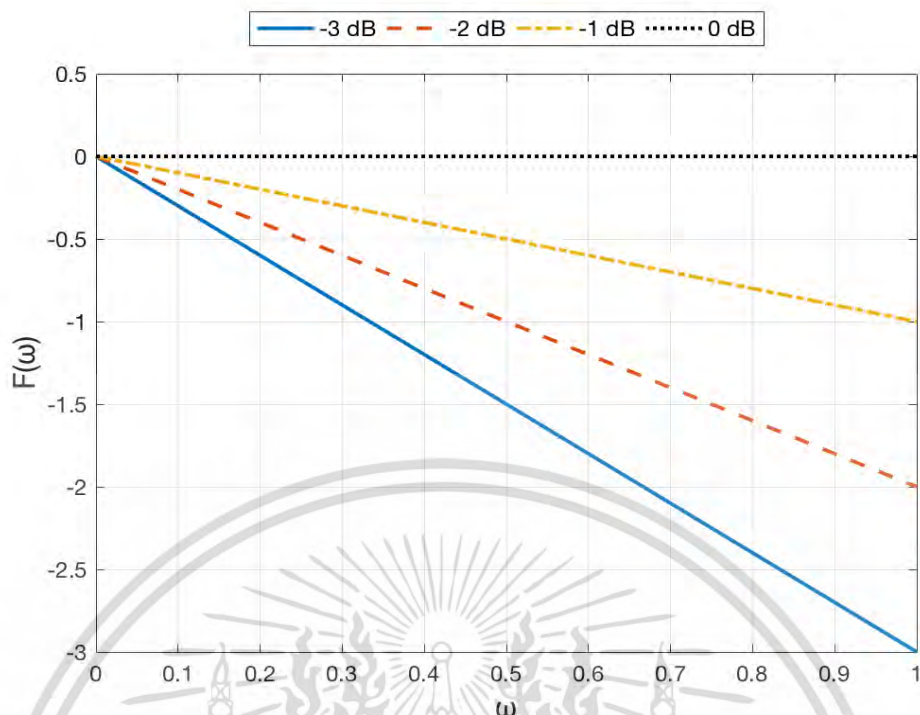
ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท่าแบบเชิงเส้นในอุดมคติ จะให้ผลตอบสนองทางขนาดที่มีความเป็Hเชิงเส้น มีความราบเรียบตลอดทั้งขอบเขต ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท่าแบบเชิงเส้นในอุดมคติชนิดอัตราขยายสูงที่ +3 dB, +2 dB และ +1 dB แสดงดังรูปที่ 3.1 และผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท่าแบบเชิงเส้นในอุดมคติชนิดอัตราขยายต่ำที่ -3 dB, -2 dB และ -1 dB แสดงดังรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท่าแบบเชิงเส้นในอุดมคติ ทั้งชนิดอัตราขยายสูงและอัตราขยายต่ำ มีความเป็Hเชิงเส้นที่ราบเรียบตลอดทั้งขอบเขต และมีการยกระดับหรือลดระดับให้; ราบไปตามอัตราขยายที่; การที่ตำแหน่ง $\omega = 1$ เพื่อให้สอดคล้องในการนอร์มัลไลซ์ให้; ได้ความถี่ตรงตามความถี่ของสัญญาณที่ต้องการใช้งานสำหรับวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้น;



รูปที่ 3.1 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท่าแบบเชิงเส้นในอุดมคติชนิดอัตราขยายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจแบบเชิงเส้นในอุดมคติชนิดอัตรการขยายต่ำ

3.2 การประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนโดยใช้ตัวดำเนินการแบบเบิร์ตสไตน์-สแตนคู

3.2.1 การประมาณร่วมกับสมการเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Form)

ในหัวข้อนี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นโดยใช้สมการอันดับที่สามของเบิร์ตสไตน์-สแตนคูร่วมกับสมการเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งเป็นทราบกันดีว่าหลักการของเบิร์ตสไตน์สามารถที่จะทำการประมาณค่าของฟังก์ชันใด ๆ ได้ ซึ่งในที่นี้วิธีการที่จะนำสมการอันดับที่สามของเบิร์ตสไตน์-สแตนคูมาใช้ในการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นโดยใช้สมการตั้งต้นที่ใช้ในการประมาณจากสมการของผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นในอุดมคติที่อยู่ในรูปของสมการเอกซ์โพเนนเชียล ทั้งชนิดอัตรการขยายสูงและชนิดอัตรการขยายต่ำที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB

สมการเอกซ์โพเนนเชียลที่ใช้ในการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นใด ๆ สามารถแสดงดังสมการที่ (3.1)

$$f(x) = e^{0.115a_0x} \quad (3.1)$$

โดยที่ a_0 คือ ระดับอัตรการขยายใด ๆ ในหน่วยเดซิเบล (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.20) แสดงสมการที่ไข;สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันแอมพลิจูดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบความชันเปมเชิงเส้น โดยใช้ตัวดำเนินการเบิร&สไตน์&สแตนคู ๑ เมื่อทำการแทนดลยตัวดำเนินการแบบเบิร&สไตน์&สแตนคู จะได้;สมการที่ (3.2)

$$H(f;x) = \frac{1}{S_n^\alpha(f;x)} \equiv f(x) \quad (3.2)$$

ในการประมาณค่าฟังก์ชันแอมพลิจูดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB โดยใช้;ตัวดำเนินการแบบเบิร&สไตน์&สแตนคู จากสมการที่ (3.1) ทำการแทน $\alpha_0 = 3$ จะได้สมการเอกซ&โพเนนเชียลดังสมการที่ (3.3)

$$f(x) = e^{0.345x} \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.2) นำสมการที่ (3.3) แทนลงในสมการเบิร&สไตน์&สแตนคู จะได้;

$$S_n^\alpha(f;x) = \sum_{k=0}^n \left(e^{0.345 \left(\frac{k}{n} \right)} \right)^{-1} S_k^n(x;\alpha) \quad (3.4)$$

ด;สมการประมาณค่าโดยใช้;สมการอันดับที่สามของเบิร&สไตน์&สแตนคู ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้;

$$S_3^\alpha(f;x) = S_0^3(x,\alpha) + 0.8913S_1^3(x,\alpha) + 0.7943S_2^3(x,\alpha) + 0.7079S_3^3(x,\alpha) \quad (3.5)$$

หาค่า S_0^3, S_1^3, S_2^3 และ S_3^3 จากสมการที่ (2.4)

$$S_3^\alpha(f;x) = \frac{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 2.6738(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ + 2.3830(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7079(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.6)$$

นำสมการที่ (3.6) แทนลงในสมการที่ (3.2) จะได้;ฟังก์ชันแอมพลิจูดที่ +3 dB ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(f;x)_{+3dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 2.6738(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ + 2.3830(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7079(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)} \quad (3.7)$$

ในการประมาณฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +2 dB โดยใช้ตัวดำเนินการแบบเบิร์ตสไตน์และแทนค่า จากสมการที่ (3.1) ทำการแทน $\alpha_0 = 2$ จะได้สมการเอกซโพเนนเชียลดังสมการที่ (3.8)

$$f(x) = e^{0.230x} \quad (3.8)$$

จากสมการที่ (3.2) นำสมการที่ (3.8) แทนลงในสมการเบิร์ตสไตน์และแทนค่า จะได้;

$$S_n^\alpha(f;x) = \sum_{k=0}^n \left(e^{0.230 \left(\frac{k}{n} \right)} \right)^{-1} S_k^n(x;\alpha) \quad (3.9)$$

ดังนั้นการประมาณค่าโดยใช้สมการอันดับที่สามของเบิร์ตสไตน์และแทนค่า ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้;

$$S_3^\alpha(f;x) = S_0^3(x,\alpha) + 0.9261S_1^3(x,\alpha) + 0.8577S_2^3(x,\alpha) + 0.7943S_3^3(x,\alpha) \quad (3.10)$$

หาค่า S_0^3 , S_1^3 , S_2^3 และ S_3^3 จากสมการที่ (2.4)

$$S_3^\alpha(f;x) = \frac{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 2.7784(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ + 2.5731(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7943(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.11)$$

นำสมการที่ (3.11) แทนลงในสมการที่ (3.2) จะได้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก +2 dB ดังนี้

$$H(f;x)_{+2dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 2.7784(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ + 2.5731(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7943(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประมาณฟังก์ชันยกยอนของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +1 dB โดยใช้; ตัวดำเนินการแบบเบิร&สไตน์&สแตนคู จากสมการที่ (3.1) ทำการแทน $a_0 = 1$ จะได้สมการเอกซ&โพเนนเชียลดังสมการที่ (3.13)

$$f(x) = e^{0.115x} \quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.2) นำสมการที่ (3.13) แทนลงในสมการเบิร&สไตน์&สแตนคู จะได้;

$$S_n^\alpha(f; x) = \sum_{k=0}^n \left(e^{0.115 \left(\frac{k}{n} \right)} \right)^{-1} S_k^n(x; \alpha) \quad (3.14)$$

ด;ผลการประมาณค+โดยใช้;สมการอันดับที่สามของเบิร&สไตน์&สแตนคู ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้;

$$S_3^\alpha(f; x) = S_0^3(x, \alpha) + 0.9624S_1^3(x, \alpha) + 0.9261S_2^3(x, \alpha) + 0.8913S_3^3(x, \alpha) \quad (3.15)$$

หาก+ S_0^3, S_1^3, S_2^3 และ S_3^3 จากสมการที่ (2.4)

$$S_3^\alpha(f; x) = \frac{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 2.8871(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ &+ 2.7784(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.8913(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.16)$$

นำสมการที่ (3.16) แทนลงในสมการที่ (3.2) จะได้;ฟังก์ชันยกยอนที่ +1 dB ดังนี้

$$H(f; x)_{+1dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 2.8871(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ &+ 2.7784(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.8913(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)} \quad (3.17)$$

ในการประมาณฟังก์ชันยกยอนของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -3 dB โดยใช้; ตัวดำเนินการแบบเบิร&สไตน์&สแตนคู จากสมการที่ (3.1) ทำการแทน $a_0 = -3$ จะได้สมการเอกซ&โพเนนเชียลดังสมการที่ (3.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = e^{-0.345x} \quad (3.18)$$

จากสมการที่ (3.2) นำสมการที่ (3.18) แทนลงในสมการเบิร&สไตน์&สแตนคู จะได้;

$$S_n^\alpha(f; x) = \sum_{k=0}^n \left(e^{-0.345 \left(\frac{k}{n} \right)} \right)^{-1} S_k^n(x; \alpha) \quad (3.19)$$

ต;ธการประมาณค+โดยไข;สมการอันดับที่สามของเบิร&สไตน์&สแตนคู ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้;

$$S_3^\alpha(f; x) = S_0^3(x, \alpha) + 1.1220S_1^3(x, \alpha) + 1.2589S_2^3(x, \alpha) + 1.4125S_3^3(x, \alpha) \quad (3.20)$$

หาค+ S_0^3 , S_1^3 , S_2^3 และ S_3^3 จากสมการที่ (2.4)

$$S_3^\alpha(f; x) = \frac{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 3.3661(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ + 3.7768(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.4125(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.21)$$

นำสมการที่ (3.21) แทนลงในสมการที่ (3.2) จะได้; พหุ&ขณ&ยโณนที่ -3 dB ดังนี้

$$H(f; x)_{-3dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 3.3661(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ + 3.7768(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.4125(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)} \quad (3.22)$$

ในการประมาณพหุ&ขณ&ยโณนของวงจรปรับเทหทางขนาดแบบเชิงเสนที่ -2 dB โดยไข; ตัวดำเนินการแบบเบิร&สไตน์&สแตนคู จากสมการที่ (3.1) ทำการแทน $a_0 = -2$ จะได้สมการเอกซ&โพเนนเชียลดังสมการที่ (3.23)

$$f(x) = e^{-0.230x} \quad (3.23)$$

จากสมการที่ (3.2) นำสมการที่ (3.23) แทนลงในสมการเบิร&สไตน์&สแตนคู จะได้;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต;ขการประมาณค+โดยไข;สมการอันดับที่สามของเบิร&สไตน&สแตนคู ดัังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได;

$$S_3^\alpha(f; x) = S_0^3(x, \alpha) + 1.0391S_1^3(x, \alpha) + 1.0798S_2^3(x, \alpha) + 1.1220S_3^3(x, \alpha) \quad (3.30)$$

หาค+ว S_0^3 , S_1^3 , S_2^3 และ S_3^3 จากสมการที่ (2.4)

$$S_3^\alpha(f; x) = \frac{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 3.1174(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ &+ 3.2393(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.1220(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.31)$$

นำสมการที่ (3.31) แทนลงในสมการที่ (3.2) จะได;พห&ขณ&ยโอนที่ -1 dB ดัังนี้

$$H(f; x)_{-1dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-x+\alpha)(1-x+2\alpha) + 3.1174(x)(1-x)(1-x+\alpha) \\ &+ 3.2393(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.1220(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)} \quad (3.32)$$

สมการพห&ขณ&ยโอนของวงจรปรับเทททางขนาดแบบเชิงเสนที่ +3 dB, +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB ที่ได;จากการประมาณดวไข;สมการอันดับที่สามของตัวดำเนินการเบิร&สไตน&สแตนคูในสมการที่ (3.7), (3.12), (3.17), (3.22), (3.27) และ (3.32) ตามลำดับ เป็สมการพห&ขณ&ยโอนที่ยังไม่สามารถนำไปไข;ในการออกแบบวงจรปรับเทททางขนาดแบบเชิงเส;น;เนื่องจากสมการไม่ด;ย+นรูปของพห&ขณ&ยโอนในระนาบ s แต่+อ+ระนาบของ x ซึ่งมีขอบเขตอยู่+ด+ในชง $[0, 1]$ ดัังนั้นจึงต;ขนำสมการเหล+นี้มาแปลงขอบเขตของพห&ขณ&ยโอนให;ย+นชง $[0, \infty)$ โดยอาศัยสมการแปลง (Transformation)

3.2.2 การแปลงขอบเขตด้วยสมการแปลง (Transformation)

เมื่อได;พห&ขณ&ยโอนของวงจรปรับเทททางขนาดแบบเชิงเส;น;ซึ่งชนิดอัตรการขยายสูงและอัตรการขยายต่ำที่ได;จากการประมาณโดยไข;ตัวดำเนินการแบบเบิร&สไตน&สแตนคู ลำดับถัดไปคือ การแปลงขอบเขตของสมการเพื่อให;สามารถนำไปไข;งานในการออกแบบวงจรปรับเทททางขนาดแบบเชิงเส;น;โดยการไข;สมการแปลงดังสมการที่ (3.33) จากเดิมที่ อยู่ภายในขอบเขตในชง $[0, 1]$ เมื่อทำการแปลงให;ย+นรูปของ Ω จะทำให้ขอบเขตใหม่ที่อยู่ภายในชง $[0, \infty)$ หรือกลวคือ เมื่อ $x = 0$ ค+ของ $\Omega = 0$ เซนเดียวกัน และเมื่อ $x = 1$ ค+ของ Ω มีแนวโนมที่จะเข;ไกล; ∞ ซึ่งทำให้ขอบเขตใหม่+ได;นั้นสามารถนำไปไข;งานได;ย+นเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว;สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปไข;ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต;ขอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปไข;

$$x = \frac{\Omega^2}{1 + \Omega^2}, \quad \begin{cases} x = 0, & \Omega = 0 \\ x = 1, & \Omega = \infty \end{cases} \quad (3.33)$$

นอกจากนี้การแปลงฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกของ Ω ยังสามารถทำให้ได้ฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกที่ได้นั้นไปทำการวิเคราะห์หาค่าตอบสนองทางความถี่ได้; ย ดังนั้นสมการฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB, +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB ที่ได้จากการประมาณด้วยการใช้สมการอันดับที่สามของตัวดำเนินการเบิร์ตสไตน์ในแต่ละคูในสมการที่ (3.7), (3.12), (3.17), (3.22), (3.27) และ (3.32) ตามลำดับ เมื่อทำการแปลงโดยการแทน x ด้วยสมการแปลงดังสมการที่ (3.33) จะได้สมการฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้น; สมการใหม่ตามลำดับดังนี้

$$H(f; \Omega^2)_{+3dB} = \frac{(1 + \alpha)(1 + 2\alpha)(1 + \Omega^2)^3}{(1 + \alpha + \alpha\Omega^2)(1 + 2\alpha + 2\alpha\Omega^2)} \quad (3.34)$$

$$+ 2.6738 (\Omega^2)(1 + \alpha + \alpha\Omega^2) + 2.3830 (\Omega^2) \left((1 + \alpha)\Omega^2 + \alpha \right) + 0.7079 (\Omega^2) \left((1 + \alpha)\Omega^2 + \alpha \right) \left((1 + 2\alpha)\Omega^2 + 2\alpha \right) \quad (3.35)$$

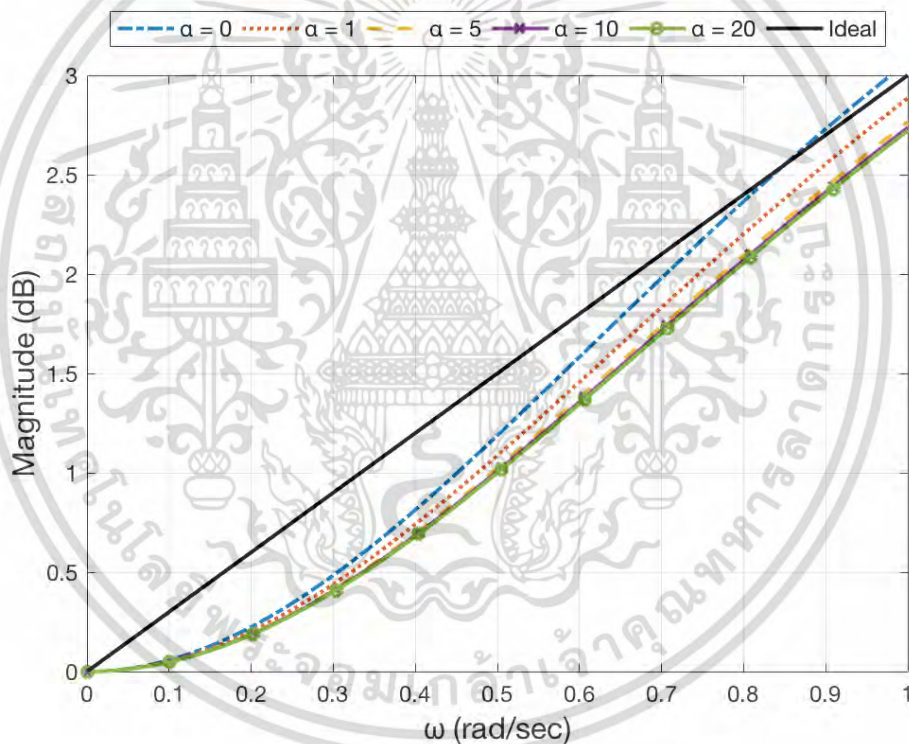
$$H(f; \Omega^2)_{+2dB} = \frac{(1 + \alpha)(1 + 2\alpha)(1 + \Omega^2)^3}{(1 + \alpha + \alpha\Omega^2)(1 + 2\alpha + 2\alpha\Omega^2)} + 2.7784 (\Omega^2)(1 + \alpha + \alpha\Omega^2) + 2.5731 (\Omega^2) \left((1 + \alpha)\Omega^2 + \alpha \right) + 0.7943 (\Omega^2) \left((1 + \alpha)\Omega^2 + \alpha \right) \left((1 + 2\alpha)\Omega^2 + 2\alpha \right)$$

$$H(f; \Omega^2)_{+1dB} = \frac{(1 + \alpha)(1 + 2\alpha)(1 + \Omega^2)^3}{(1 + \alpha + \alpha\Omega^2)(1 + 2\alpha + 2\alpha\Omega^2)} + 2.8871 (\Omega^2)(1 + \alpha + \alpha\Omega^2) + 2.7784 (\Omega^2) \left((1 + \alpha)\Omega^2 + \alpha \right) + 0.8913 (\Omega^2) \left((1 + \alpha)\Omega^2 + \alpha \right) \left((1 + 2\alpha)\Omega^2 + 2\alpha \right) \quad (3.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส้นชนิดอัตราขยายสูงที่ +3 dB ในขั้นแรกได้;ทำการกำหนดให้; α มีค+าเท+กับ 0, 1, 5, 10 และ 20 เพื่อพิจารณาแนวโน;ของผลลัพธ์;ใ้ดูจากการวิเคราะห์&สตอบสนองทั้งสามรูปแบบ ได้;เา;ผลตอบสนองทางขนาด ผลตอบสนองทางเฟส และผลตอบสนองทางดีเลย์&

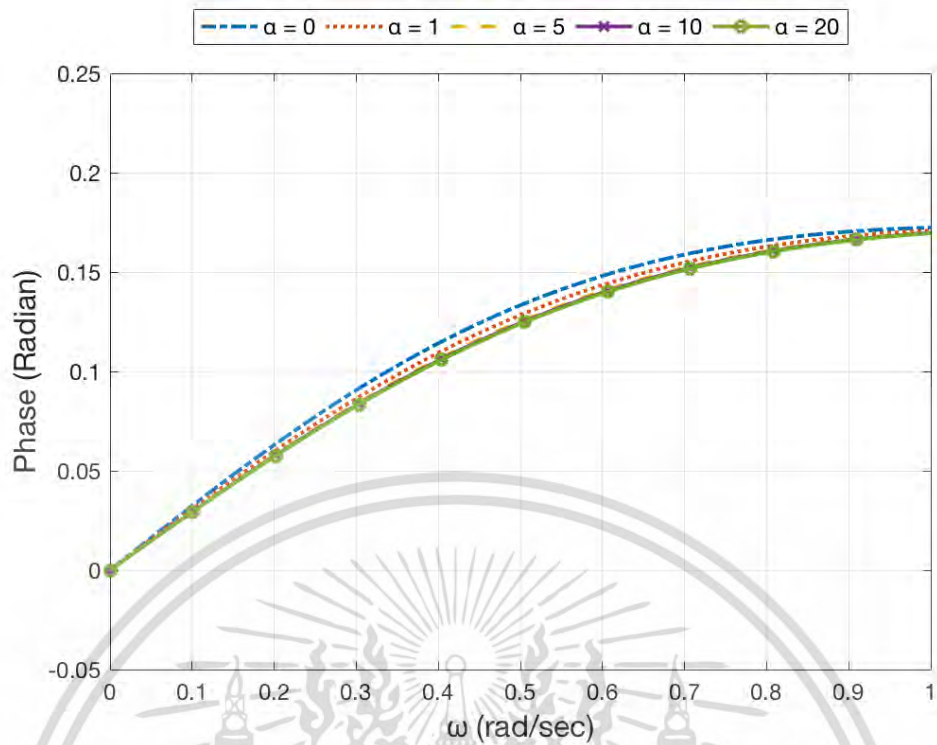
ในรูปที่ 3.3 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นี้ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20 จากกราฟแสดงใ้ทราบว; ผลตอบสนองทางขนาดที่ใ้ได้นั้นมีความราบเรียบและเช;ใกล้ขุดมตมากที่สุดเมื่อ α มีค+าหะวง 0 และ 1 ซึ่งค+าที่ใ้ใ้จะถูกนำใ้พิจารณาในลำดับถัดไป นอกจากนี้ใ้รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 แสดงผลตอบสนองทางเฟสและผลตอบสนองทางดีเลย์&ของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20 ซึ่งทั้งสองกราฟแสดงใ้เห็นถึงแนวโน;ของกราฟที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือผลตอบสนองทางเฟสมีความเช;ใกล้;ความเปHเชิงเส;นและผลตอบสนองทางดีเลย์&มีความเช;ใกล้;ค+าที่ใ้ในทุก ๆ α ที่เปลี่ยนไป



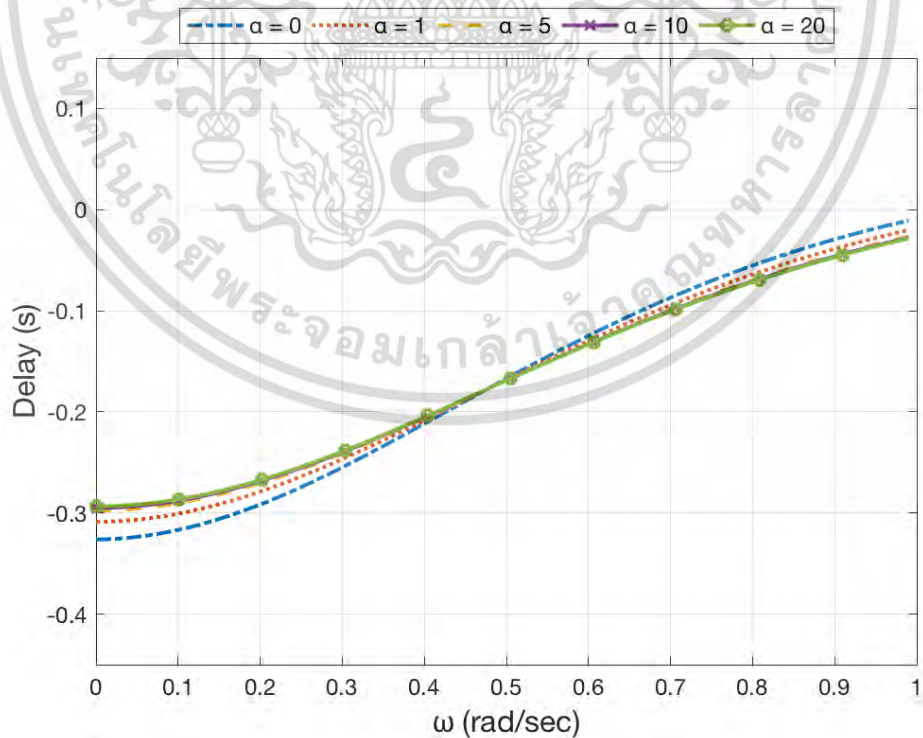
รูปที่ 3.3 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นี้ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20

จากวิธีขงต;นำใ้;ทราบว;ค+าของ α ที่ทำใ้;ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นี้ +3 dB มีค+าใกล้เคียงกับขุดมตมากที่สุดอยู่ระห+ง 0 และ 1 ขั้นตอนถัดใ้คือการพิจารณาค+าของ α ในขงดังกล่าว กำหนดใ้; α มีค+าเท+กับ 0, 1/8, 1/6, 1/8 และ 1 จากนั้นทำการพิจารณาแนวโน;ของผลลัพธ์;ใ้ดูจากการวิเคราะห์&สตอบสนองทั้งสามรูปแบบดังวิธีข;ต;น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตใ้ให้นำใ้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใ้ใ้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใ้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใ้ใช้



รูปที่ 3.4 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +3 dB
เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20

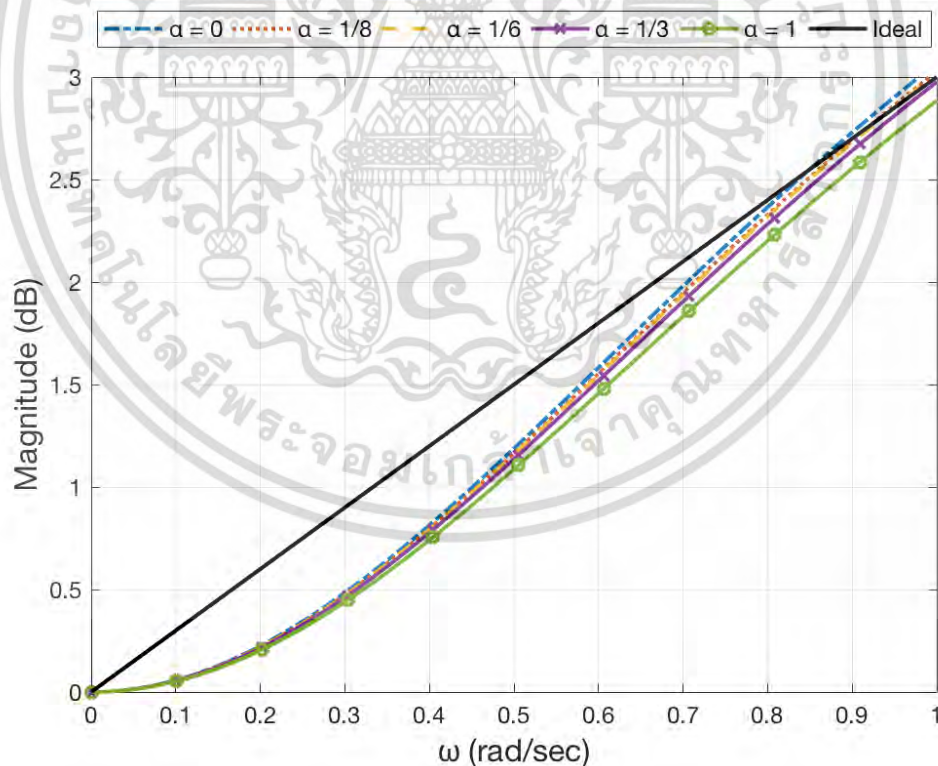


รูปที่ 3.5 ผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +3 dB

เมื่อ $\alpha = 0, 1, 5, 10$ และ 20

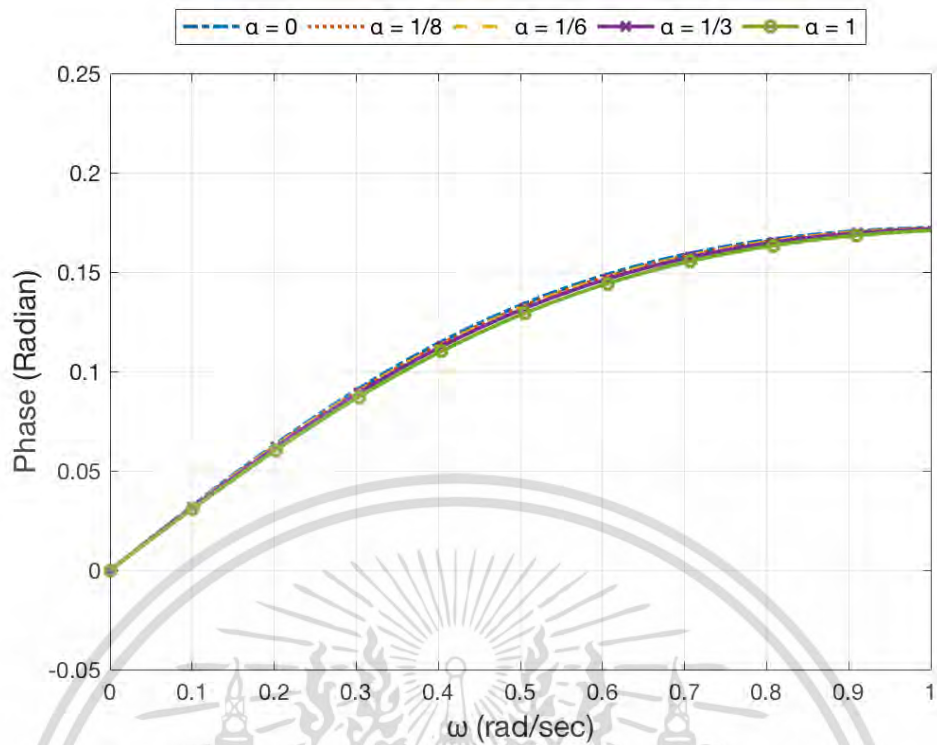
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.6 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรีบเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/8$ และ 1 จากกราฟแสดงไทรารบวค α เทคกับ $1/3$ สามารถทำให; ผลตอบสนองทางขนาดที่ไค;นี้มีความราบเรียบและเซ;ไกล;อุดมคติมากที่สุด นอกจากนี้ผลตอบสนองทางเฟสและผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรรีบเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB เมื่อ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/8$ และ 1 แสดงดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ตามลำดับ ยังคงแสดงถึงแนวโน้มของผลตอบสนองทางเฟสที่เซ;ไกลความเป็นเชิงเส;น และผลตอบสนองทางดีเลย์ที่เซ;ไกลคคกที่ที่แตกตคกกันเล็กน้อย แต่ยังคงเป็นไปในทางเดียวกัน ดังนั้นในตัวอยงนี้จึงสรุปได้วคคของ α ที่เหมาะสมที่สุดจากวิธีช;ต;คือ $1/3$ ซึ่งค;นี้จะถูกนำไปช;เทนค;เพื่อการประมาณหาพห;ย;นในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อให;สามารถนำไปช;ใช้ในการออกแบบวงจรรีบเททางขนาดแบบเชิงเส;น;ด;ย;งเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด และในทำนองเดียวกัน สำหรับวงจรรีบเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB เมื่อทำการพิจารณาหาคคของพารามิเตอร์ช;ย;ยังคงพบวค α เทคกับ $1/3$ สามารถให้ผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดตามวิธีการดังกล่าว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ช;ค $1/3$ ในการออกแบบวงจรรีบเททางขนาดแบบเชิงเส;นในทุก ๆ อัตราขยายที่ต;ช;การ

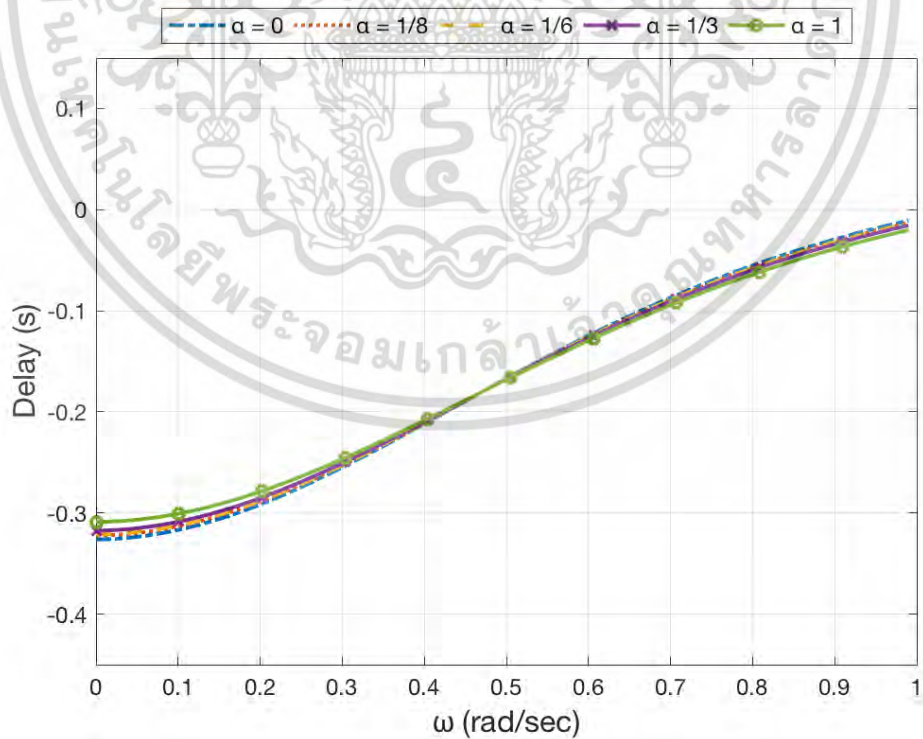


รูปที่ 3.6 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรีบเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB

เมื่อ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/3$ และ 1



รูปที่ 3.7 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นั้ +3 dB
เมื่ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/3$ และ 1



รูปที่ 3.8 ผลตอบสนองทางดีเลย์&งวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นั้ +3 dB

เมื่ $\alpha = 0, 1/8, 1/6, 1/3$ และ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ผลลัพธ์และผลตอบสนอง (Results and Responses)

หลังจากที่ทำการพิจารณาหาค่าของพารามิเตอร์ที่พหุคูณที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบวงจรปรับเทททางขนาดแบบเชิงเส้น; ทั้งชนิดอัตราขยายสูงและอัตราขยายต่ำที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB ในหัวข้อนี้ได้ทำการนำค่า $\alpha = 1/3$ ที่ได้มาแทนลงในสมการของพหุคูณภายในที่ได้จากหัวข้อ 3.2.2 ในการนำไปใช้ในระบบแอนะล็อกนั้นต้องการสมการพหุคูณภายในที่อยู่ในรูปของ s หรือ s -plane ดังนั้นเมื่อทำการแทน Ω^2 ด้วย s จะได้สมการพหุคูณภายในของวงจรปรับเทททางขนาดแบบเชิงเส้น; ทั้ง $+3$ dB, $+2$ dB, $+1$ dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB ดังสมการที่ (3.40-3.45)

$$H(s)_{+3dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.5732s^3 + 5.3134s^2 + 5.9611s + 2.2222} \quad (3.40)$$

$$H(s)_{+2dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.7652s^3 + 5.7265s^2 + 6.1831s + 2.2222} \quad (3.41)$$

$$H(s)_{+1dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.9806s^3 + 6.1764s^2 + 6.4180s + 2.2222} \quad (3.42)$$

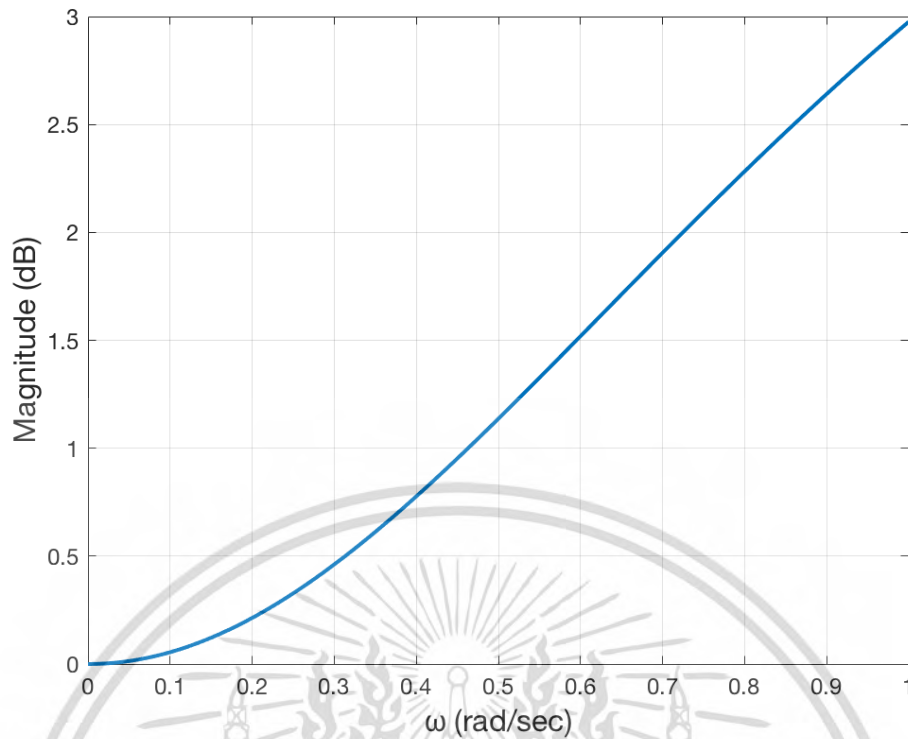
$$H(s)_{-3dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{3.1390s^3 + 8.4203s^2 + 7.5053s + 2.2222} \quad (3.43)$$

$$H(s)_{-2dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{2.7976s^3 + 7.7841s^2 + 7.2092s + 2.2222} \quad (3.44)$$

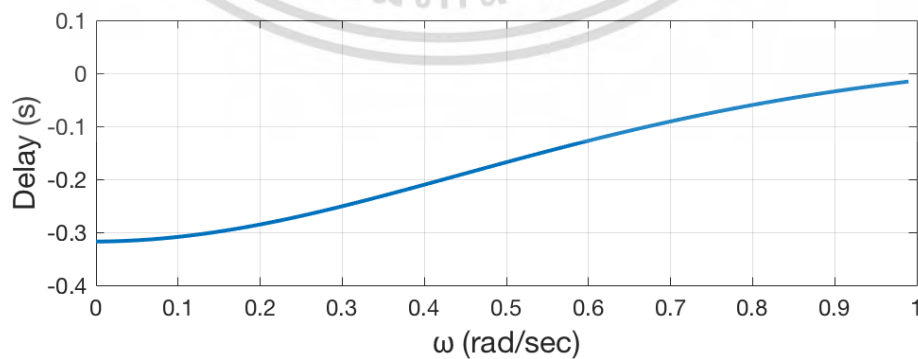
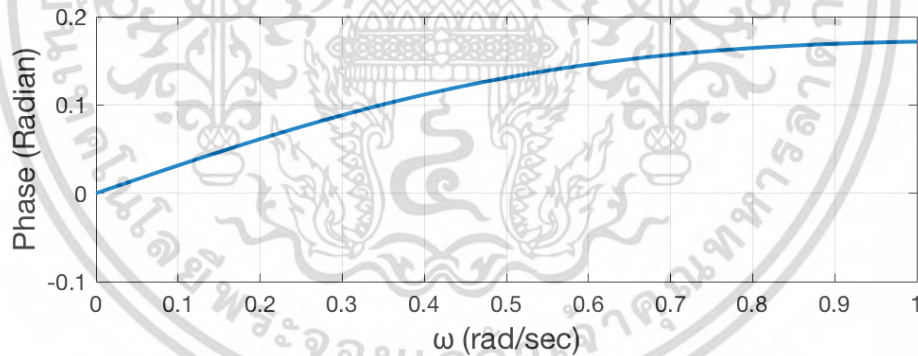
$$H(s)_{-1dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{2.4934s^3 + 7.2011s^2 + 6.9301s + 2.2222} \quad (3.45)$$

ผลตอบสนองทางขนาด ผลตอบสนองทางเฟส และผลตอบสนองทางดีเลย์ที่ได้จากสมการพหุคูณภายในของวงจรปรับเทททางขนาดแบบเชิงเส้นที่ $+3$ dB, $+2$ dB, $+1$ dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB ซึ่งประมาณค่าได้จากโพลีโนเมียลอันดับที่สามของเบียร์ & สไตน์ และแทนค่าและสมการแปลงโดยใช้ค่า $\alpha = 1/3$ แสดงดังรูปที่ 3.9-3.20 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองทางขนาดที่มีความราบเรียบ แสดงการโก่งคียงความเพี้ยนเชิงเส้นของผลตอบสนองทางเฟส และแสดงผลตอบสนองทางดีเลย์ที่เชิง; โกล; คงที่ สำหรับทุก ๆ อัตราขยาย ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้เป็

คุณสมบัตินี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบวงจรปรับเททในระบบสื่อสาร
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

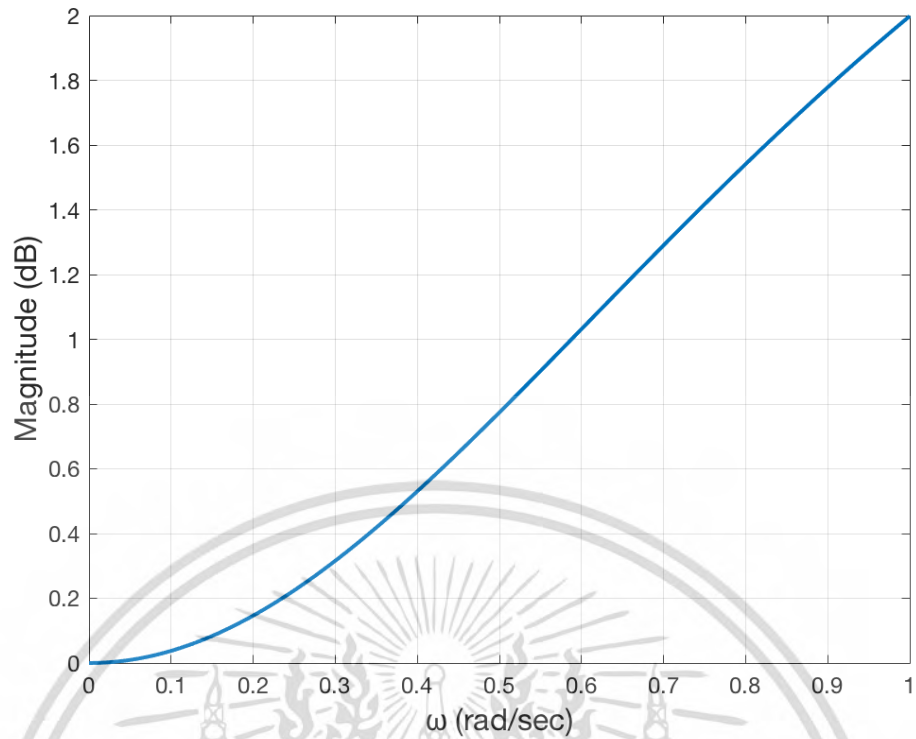


รูปที่ 3.9 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +3 dB
ที่ประมาณโดยเบิร&สไตน์&สแตนคู

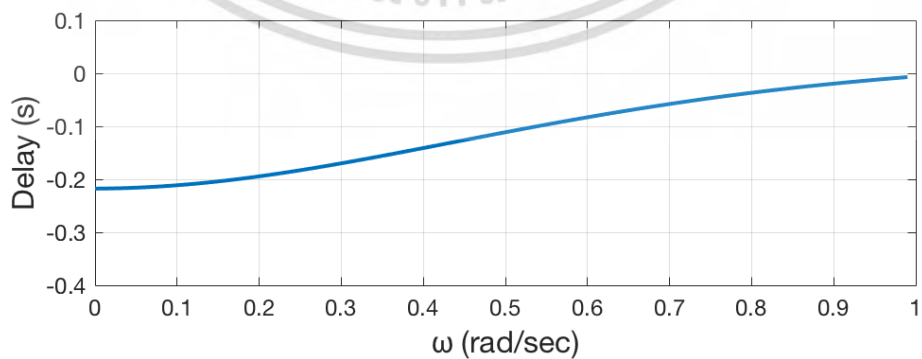
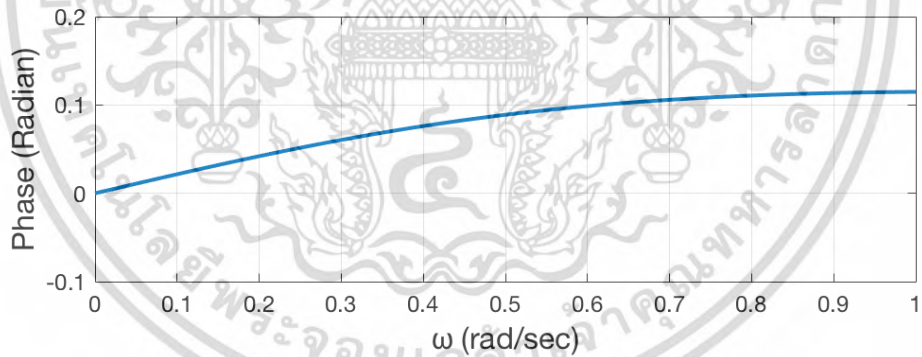


รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +3 dB
ที่ประมาณโดยเบิร&สไตน์&สแตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

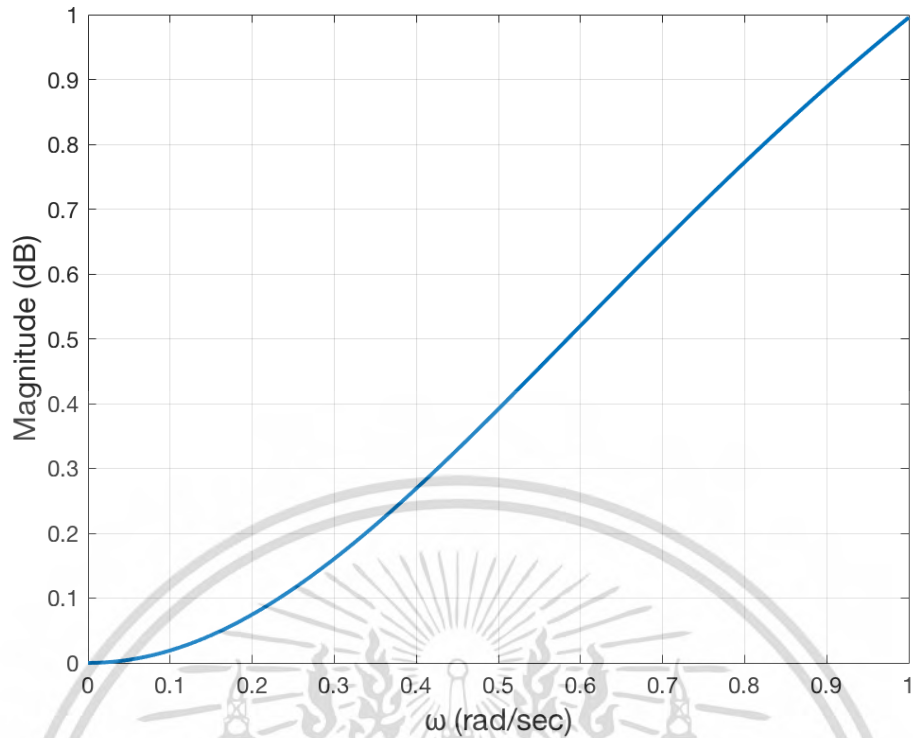


รูปที่ 3.11 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +2 dB
ที่ประมาณโดยเบิ&สตัน&สแตนคู

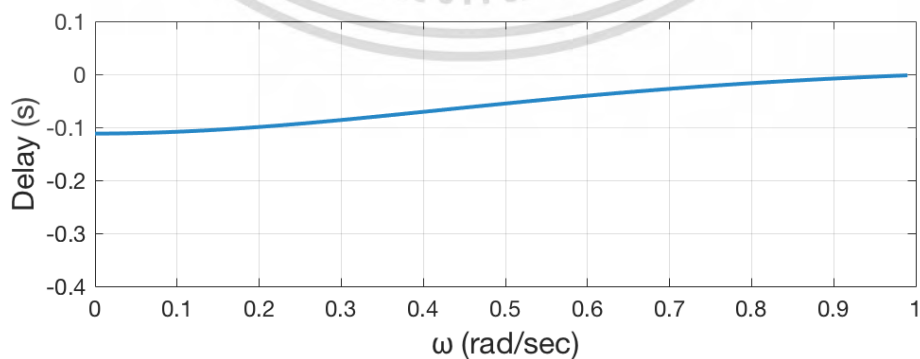
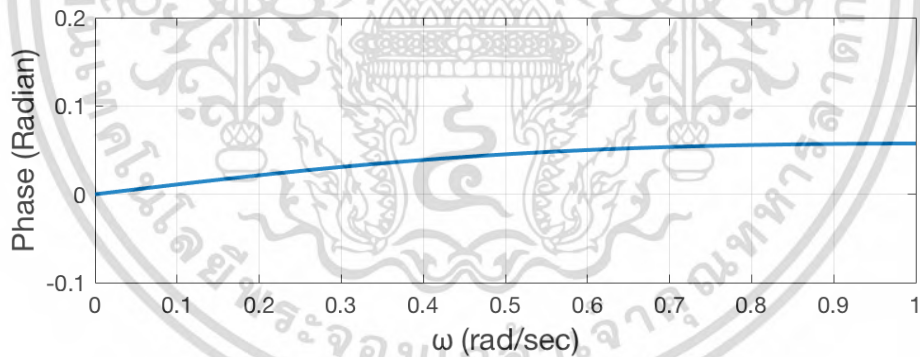


รูปที่ 3.12 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +2 dB
ที่ประมาณโดยเบิ&สตัน&สแตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

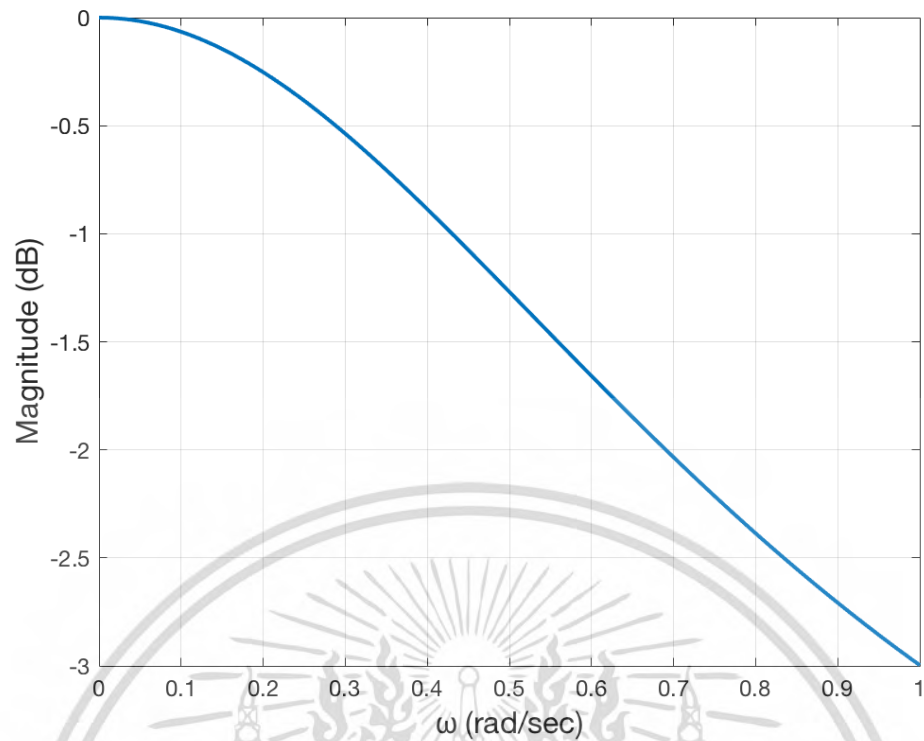


รูปที่ 3.13 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียรที่ +1 dB
ที่ประมาณโดยเบิร์ตสไตน์และแดนคู

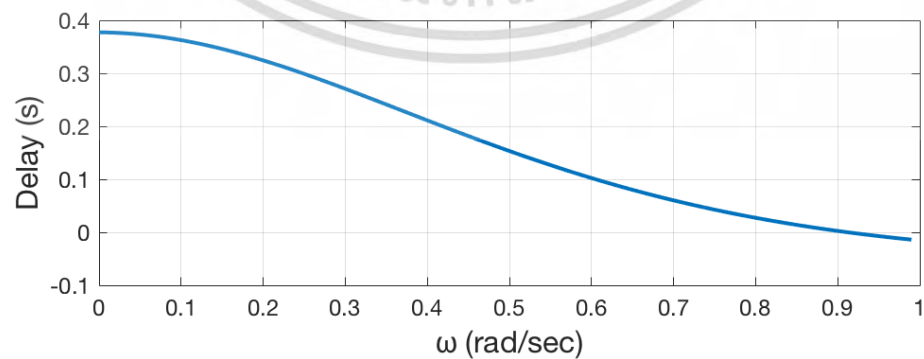
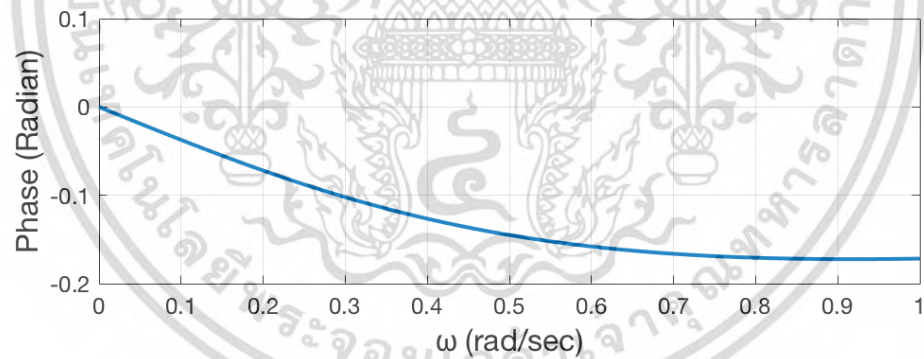


รูปที่ 3.14 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียรที่ +1 dB
ที่ประมาณโดยเบิร์ตสไตน์และแดนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

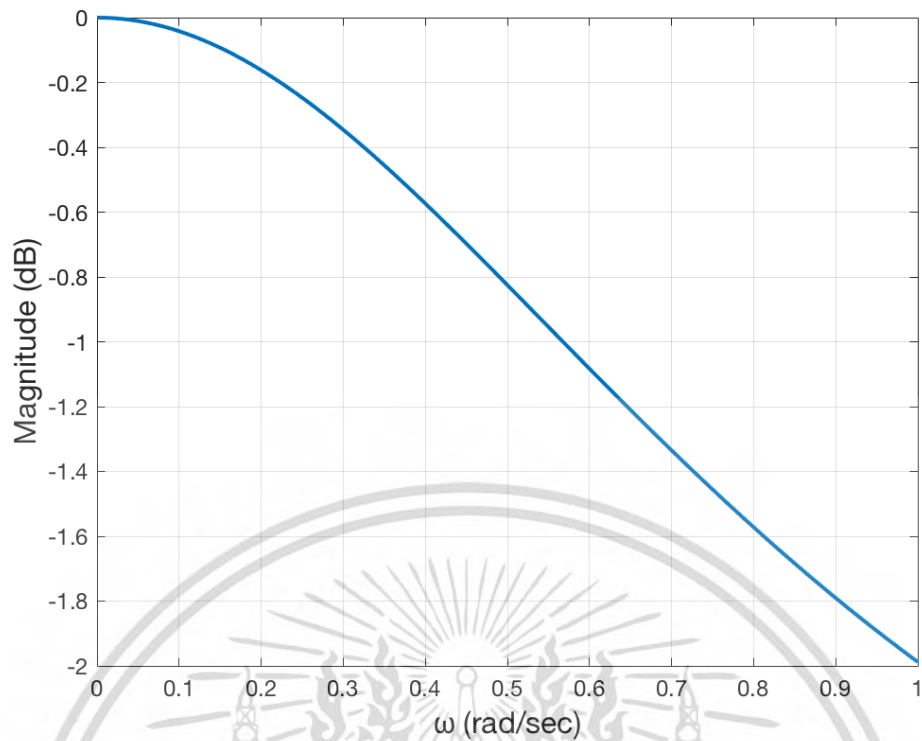


รูปที่ 3.15 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -3 dB
ที่ประมาณโดยเบิร&สไตน์&สแตนคู

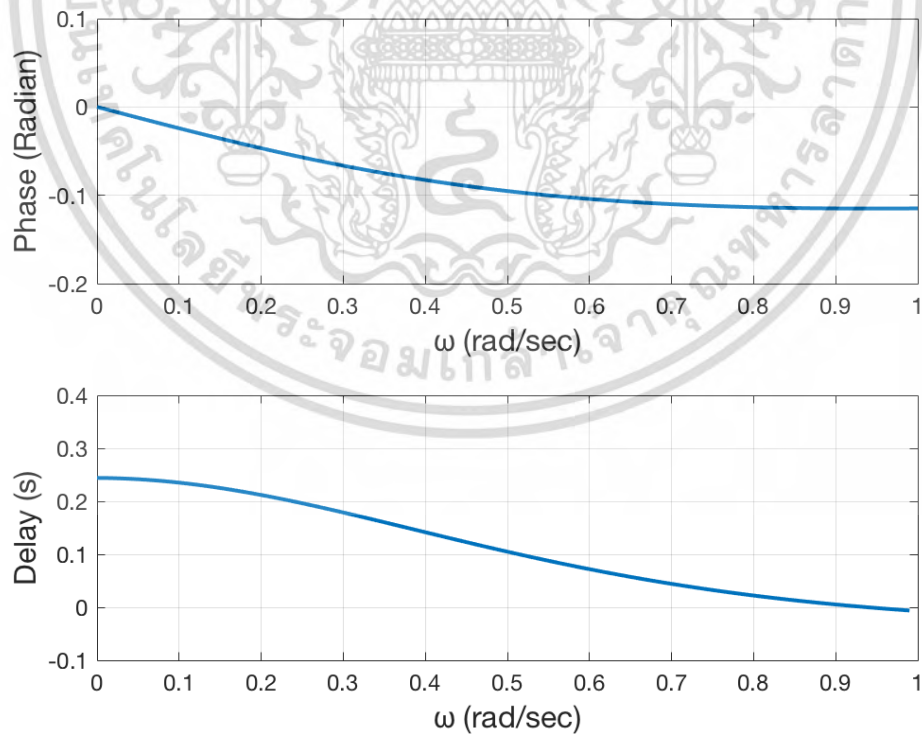


รูปที่ 3.16 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -3 dB
ที่ประมาณโดยเบิร&สไตน์&สแตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

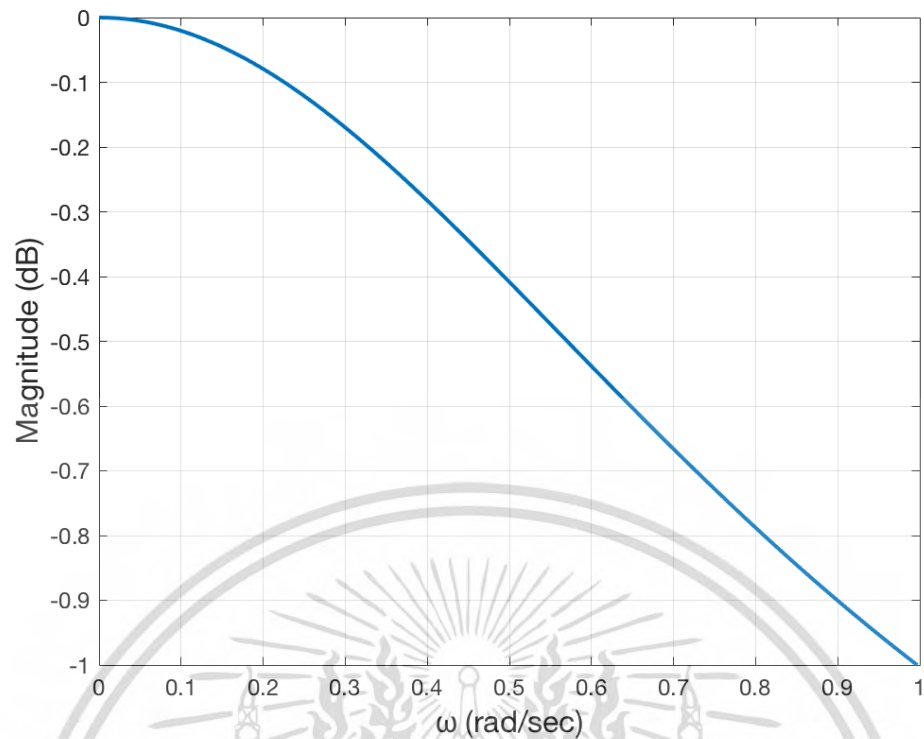


รูปที่ 3.17 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -2 dB
ที่ประมาณโดยเบิ&สไตน&สแตนค

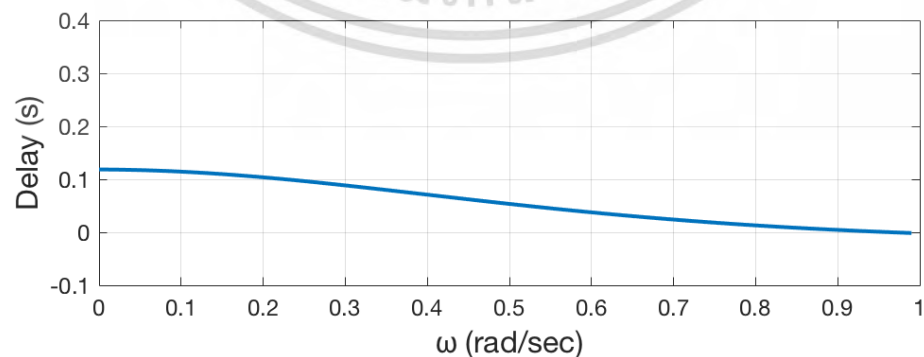
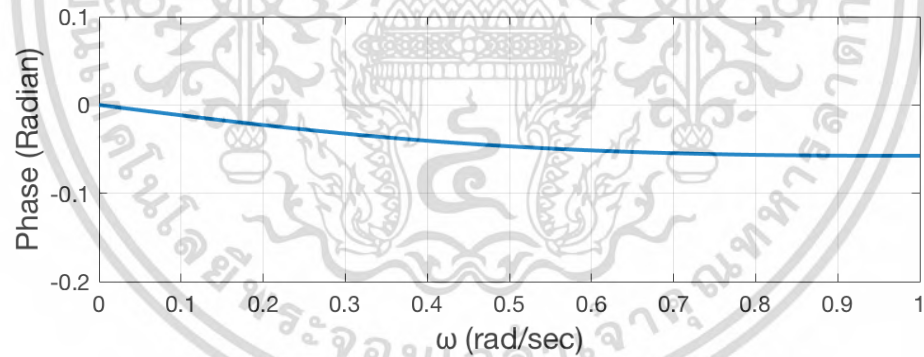


รูปที่ 3.18 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -2 dB
ที่ประมาณโดยเบิ&สไตน&สแตนค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -1 dB
ที่ประมาณโดยเบิ&สไต&สแตนค



รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -1 dB
ที่ประมาณโดยเบิ&สไต&สแตนค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนโดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู

3.3.1 การประมาณร่วมกับสมการเส้นตรง (Linear Form)

ในหัวข้อนี้ได้เสนอวิธีการประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้น โดยใช้สมการอันดับที่สามของคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้มากกว่า การประมาณโดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของเบิร์นสไตน์-สแตนคู ซึ่งเป็นวิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 โดยในที่นี้ได้ใช้สมการตั้งต้นในการประมาณจากสมการของผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นในอุดมคติที่อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง ในการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่อัตราการขยาย ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB

สมการเส้นตรงที่ใช้ในการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นใด ๆ สามารถแสดงดังสมการที่ (3.46)

$$f(x) = 1 + mx \quad (3.46)$$

โดยที่ m คือ ความชันของเส้นตรงใด ๆ

จากสมการที่ (2.20) แสดงสมการที่ใช้สำหรับการประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบความชันเชิงเส้นโดยใช้ตัวดำเนินการเบิร์นสไตน์ใด ๆ เมื่อทำการแทนค่าตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู จะได้สมการที่ (3.47)

$$H(f; x) = \frac{1}{B_n^{q, \alpha}(f; x)} \cong f(x) \quad (3.47)$$

ในการประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ $+3$ dB โดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู จากสมการที่ (3.46) ทำการแทน $m = 0.4125$ จะได้สมการเส้นตรงดังสมการที่ (3.48)

$$f(x) = 1 + 0.4125x \quad (3.48)$$

จากสมการที่ (3.47) นำสมการที่ (3.48) แทนลงในสมการคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู จะได้

$$B_n^{q, \alpha}(f; x) = \sum_{k=0}^n (1 + 0.4125x)^{-1} B_k^n(x, q, \alpha) \quad (3.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต:องการประมาณค+โดยไข;สมการอันดับที่สามของคิ-เบิร&สไตน์&สแตนคู ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได;

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = B_0^3(x,q,\alpha) + 0.8791B_1^3(x,q,\alpha) + 0.7843B_2^3(x,q,\alpha) + 0.7079B_3^3(x,q,\alpha) \quad (3.50)$$

หาค+ B_0^3 , B_1^3 , B_2^3 และ B_3^3 จากสมการที่ (2.6)

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = \frac{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 2.6373(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ + 2.3529(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7079(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.51)$$

นำสมการที่ (3.51) แทนลงในสมการที่ (3.47) จะได;พหุนก+ยโอนที่ +3 dB ดังนี้

$$H(f;x)_{+3dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 2.6373(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ + 2.3529(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7079(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)} \quad (3.52)$$

ในการประมาณพหุนก+ยโอนของวงจรปรับเทหทางขนาดแบบเชิงเสนที่ +2 dB โดยไข;ตัวดำเนินการแบบคิ-เบิร&สไตน์&สแตนคู จากสมการที่ (3.46) ทำการแทน $m = 0.2589$ จะได;สมการเส;ตรงดังสมการที่ (3.53)

$$f(x) = 1 + 0.2589x \quad (3.53)$$

จากสมการที่ (3.47) นำสมการที่ (3.53) แทนลงในสมการคิ-เบิร&สไตน์&สแตนคู จะได;

$$B_n^{q,\alpha}(f;x) = \sum_{k=0}^n (1 + 0.2589x)^{-1} B_k^n(x,q,\alpha) \quad (3.54)$$

ต:องการประมาณค+โดยไข;สมการอันดับที่สามของคิ-เบิร&สไตน์&สแตนคู ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได;

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = B_0^3(x,q,\alpha) + 0.9205B_1^3(x,q,\alpha) + 0.8528B_2^3(x,q,\alpha) + 0.7943B_3^3(x,q,\alpha) \quad (3.55)$$

หาค่า B_0^3 , B_1^3 , B_2^3 และ B_3^3 จากสมการที่ (2.6)

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = \frac{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 2.7616(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ &+ 2.5584(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7943(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.56)$$

นำสมการที่ (3.56) แทนลงในสมการที่ (3.47) จะได้ฟังก์ชันแอมพลิจูดของสัญญาณที่ +2 dB ดังนี้

$$H(f;x)_{+2dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 2.7616(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ &+ 2.5584(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.7943(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)} \quad (3.57)$$

ในการประมาณฟังก์ชันแอมพลิจูดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +1 dB โดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตสไตน์ 8 แตนคิว จากสมการที่ (3.46) ทำการแทน $m = 0.1220$ จะได้สมการเส้นตรงดังสมการที่ (3.58)

$$f(x) = 1 + 0.1220x \quad (3.58)$$

จากสมการที่ (3.47) นำสมการที่ (3.58) แทนลงในสมการคิว-เบิร์ตสไตน์ 8 แตนคิว จะได้

$$B_n^{q,\alpha}(f;x) = \sum_{k=0}^n (1 + 0.1220x)^{-1} B_k^n(x,q,\alpha) \quad (3.59)$$

ต้องการประมาณค่าโดยใช้สมการอันดับที่สามของคิว-เบิร์ตสไตน์ 8 แตนคิว ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = B_0^3(x,q,\alpha) + 0.9609B_1^3(x,q,\alpha) + 0.9248B_2^3(x,q,\alpha) + 0.8913B_3^3(x,q,\alpha) \quad (3.60)$$

หาค่า B_0^3 , B_1^3 , B_2^3 และ B_3^3 จากสมการที่ (2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = \frac{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 2.8828(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ + 2.7743(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.8913(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.61)$$

นำสมการที่ (3.61) แทนลงในสมการที่ (3.47) จะได้ฟังก์ชันแอมพลิจูด +1 dB ดังนี้

$$H(f;x)_{+1dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 2.8828(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ + 2.7743(x)(x+\alpha)(1-x) + 0.8913(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)} \quad (3.62)$$

ในการประมาณฟังก์ชันแอมพลิจูดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -3 dB โดยใช้ตัวดำเนินการแบบควิ-เบิร์ตสไตน์สแตนด์ จากสมการที่ (3.46) ทำการแทน $m = -0.2921$ จะได้สมการแสดงดังสมการที่ (3.63)

$$f(x) = 1 - 0.2921x \quad (3.63)$$

จากสมการที่ (3.47) นำสมการที่ (3.63) แทนลงในสมการควิ-เบิร์ตสไตน์สแตนด์ จะได้

$$B_n^{q,\alpha}(f;x) = \sum_{k=0}^n (1 - 0.2921x)^{-1} B_k^n(x, q, \alpha) \quad (3.64)$$

ดังนั้นการประมาณค่าโดยใช้สมการอันดับที่สามของควิ-เบิร์ตสไตน์สแตนด์ ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = B_0^3(x, q, \alpha) + 1.1079B_1^3(x, q, \alpha) + 1.2418B_2^3(x, q, \alpha) + 1.4125B_3^3(x, q, \alpha) \quad (3.65)$$

หาค่า B_0^3 , B_1^3 , B_2^3 และ B_3^3 จากสมการที่ (2.6)

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = \frac{\left(\begin{array}{l} (1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 3.3236(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ + 3.7253(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.4125(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{array} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.66)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ (3.66) แทนลงในสมการที่ (3.47) จะได้ฟังก์ชันแอมพลิจูดที่ -3 dB ดังนี้

$$H(f;x)_{-3dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 3.3236(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ &+ 3.7253(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.4125(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)} \quad (3.67)$$

ในการประมาณฟังก์ชันแอมพลิจูดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -2 dB โดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตและไฮเปอร์โบลิก จากสมการที่ (3.46) ทำการแทน $m = -0.2057$ จะได้

$$f(x) = 1 - 0.2057x \quad (3.68)$$

จากสมการที่ (3.47) นำสมการที่ (3.68) แทนลงในสมการคิว-เบิร์ตและไฮเปอร์โบลิก จะได้

$$B_n^{q,\alpha}(f;x) = \sum_{k=0}^n (1 - 0.2057x)^{-1} B_k^n(x, q, \alpha) \quad (3.69)$$

ดังนั้นการประมาณค่าโดยใช้สมการอันดับที่สามของคิว-เบิร์ตและไฮเปอร์โบลิก ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = B_0^3(x, q, \alpha) + 1.0736B_1^3(x, q, \alpha) + 1.1589B_2^3(x, q, \alpha) + 1.2589B_3^3(x, q, \alpha) \quad (3.70)$$

หาค่า B_0^3 , B_1^3 , B_2^3 และ B_3^3 จากสมการที่ (2.6)

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = \frac{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 3.2208(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ &+ 3.4767(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.2589(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.71)$$

นำสมการที่ (3.71) แทนลงในสมการที่ (3.47) จะได้ฟังก์ชันแอมพลิจูดที่ -2 dB ดังนี้

$$H(f;x)_{-2dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 3.2208(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ &+ 3.4767(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.2589(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)} \quad (3.72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประมาณฟังก์ชันถดถอยของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ -1 dB โดยใช่; ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตสไตน์ & สแตนคู จากสมการที่ (3.46) ทำการแทน $m = -0.1087$ จะได้; สมการเสตรงดสมการที่ (3.73)

$$f(x) = 1 - 0.1087x \quad (3.73)$$

จากสมการที่ (3.47) นำสมการที่ (3.73) แทนลงในสมการคิว-เบิร์ตสไตน์ & สแตนคู จะได้;

$$B_n^{q,\alpha}(f;x) = \sum_{k=0}^n (1 - 0.1087x)^{-1} B_k^n(x, q, \alpha) \quad (3.74)$$

ตงการประมาณคโดยใช่; สมการอันดับที่สามของคิว-เบิร์ตสไตน์ & สแตนคู ดังนั้นทำการแทน $n = 3$ และ $k = 0, 1, 2$ และ 3 จะได้;

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = B_0^3(x, q, \alpha) + 1.0376B_1^3(x, q, \alpha) + 1.0782B_2^3(x, q, \alpha) + 1.1220B_3^3(x, q, \alpha) \quad (3.75)$$

หาค่า B_0^3, B_1^3, B_2^3 และ B_3^3 จากสมการที่ (2.6)

$$B_3^{q,\alpha}(f;x) = \frac{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 3.1128(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ &+ 3.2345(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.1220(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)}{(1+\alpha)(1+2\alpha)} \quad (3.76)$$

นำสมการที่ (3.76) แทนลงในสมการที่ (3.47) จะได้; ฟังก์ชันถดถอยที่ -1 dB ดังนี้

$$H(f;x)_{-1dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)}{\left(\begin{aligned} &(1-x)(1-qx+\alpha)(1-q^2x+2\alpha) + 3.1128(x)(1-x)(1-qx+\alpha) \\ &+ 3.2345(x)(x+\alpha)(1-x) + 1.1220(x)(x+\alpha)(x+2\alpha) \end{aligned} \right)} \quad (3.77)$$

สมการฟังก์ชันถดถอยของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ +3 dB, +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB ที่ได้; จากการประมาณดวยการใชสมการอันดับที่สามของตัวดำเนินการคิว-เบิร์ตสไตน์ & สแตนคูในสมการที่ (3.52), (3.57), (3.62), (3.67), (3.72) และ (3.77) ตามลำดับ เปนสมการฟังก์ชันถดถอยที่ยังไม่สามารถนำไปใช่; ในการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเส; ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช่ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช่

เนื่องจากสมการไม่ต่อเนื่องรูปของฟังก์ชันเศษส่วนในระนาบ s แต่อนุพันธ์ของ x ซึ่งมีขอบเขตอยู่ $0 < x < 1$ ดังนั้นจึงต้องนำสมการเหล่านี้มาแปลงขอบเขตของฟังก์ชันให้ใหญ่ขึ้นจนสามารถขยายขอบเขตได้เป็น $0 < x < \infty$ โดยอาศัยสมการแปลงแบบม็อบีอุส (Möbius Transformation)

3.3.2 การแปลงขอบเขตด้วยสมการแปลงแบบม็อบีอุส (Möbius Transformation)

เมื่อใดที่ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส้น; ทั้งชนิดอัตรการขยายสูงและอัตรการขยายต่ำที่ใด; จากการประมาณโดยใช้; ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ต & สไตน์ & แตนคู ลำดับถัดไปคือการแปลงขอบเขตของสมการเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในการออกแบบวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส้นได้; ในที่นี้ทำการใช้สมการแปลงแบบม็อบีอุส [19] ที่มีพารามิเตอร์รับค่าได้มากกว่าสมการแปลงทั่วไป แสดงดังสมการที่ (3.78) เพื่อแปลงขอบเขตของ x ให้เปลี่ยนแปลงขอบเขตของ Ω ที่มีความเหมาะสมกว่า

$$x = \frac{(c \Omega)^2}{1 + (c \Omega)^2}, \quad \begin{cases} x = 0, & \Omega = 0 \\ x = 1, & \Omega = \infty \end{cases} \quad (3.78)$$

จากสมการที่ (3.78) จากเดิมที่มีขอบเขต x ใน $0 < x < 1$ เมื่อทำการแปลงใหญ่ขึ้นรูปของ Ω จะทำให้ได้ขอบเขตใหม่ $0 < x < \infty$ หรือกล่าวคือ เมื่อ $x = 0$ ค่าของ $\Omega = 0$ เช่นเดียวกัน และเมื่อ $x = 1$ ค่าของ Ω มีแนวโน้มที่จะเข้าใกล้ ∞ ซึ่งทำให้ขอบเขตใหม่ที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้; อย่างเหมาะสม สามารถทำให้นำฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาผลตอบสนองทางความถี่ได้; อีกนอกรังนี้สมการแปลงแบบม็อบีอุส ยังมีพารามิเตอร์พิเศษคือ c ซึ่งสามารถใช้ในการปรับแต่งผลตอบสนองได้; ผลลัพธ์ที่ขึ้นได้นอกจาก q และ α ที่ได้จากตัวดำเนินการคิว-เบิร์ต & สไตน์ & แตนคู ดังนั้นสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส้น; ที่ +3 dB, +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB ที่ได้จากการประมาณด้วยการใช้; สมการอันดับที่สามของตัวดำเนินการคิว-เบิร์ต & สไตน์ & แตนคูในสมการที่ (3.52), (3.57), (3.62), (3.67), (3.72) และ (3.77) ตามลำดับ เมื่อทำการแปลงโดยการแทน x ด้วยสมการแปลงแบบม็อบีอุสดังสมการที่ (3.78) จะได้; สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส้น; สมการใหม่ตามลำดับดังนี้

$$H(f; \Omega^2)_{+3dB} = \frac{(1 + \alpha)(1 + 2\alpha)(1 + (c \Omega)^2)^3}{\left(\begin{aligned} &((1 - q + \alpha)(c \Omega)^2 + a + 1)((1 - q^2 + 2\alpha)(c \Omega)^2 + 2\alpha + 1) \\ &+ 2.2527(c \Omega)^2((1 - q + \alpha)(c \Omega)^2 + a + 1) \\ &+ 1.8033(c \Omega)^2((1 + \alpha)(c \Omega)^2 + \alpha) \\ &+ 0.5012(c \Omega)^2((1 + \alpha)(c \Omega)^2 + \alpha)((1 + 2\alpha)(c \Omega)^2 + 2\alpha) \end{aligned} \right)} \quad (3.79)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(f; \Omega^2)_{+2dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)(1+(c\Omega^2)^3)}{\left(\begin{aligned} &((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1)((1-q^2+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha+1) \\ &+2.5105(c\Omega^2)^2((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1) \\ &+2.1584(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right) \\ &+0.6310(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right)\left((1+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha)\right) \end{aligned} \right)} \quad (3.80)$$

$$H(f; \Omega^2)_{+1dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)(1+(c\Omega^2)^3)}{\left(\begin{aligned} &((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1)((1-q^2+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha+1) \\ &+2.7616(c\Omega^2)^2((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1) \\ &+2.5584(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right) \\ &+0.7943(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right)\left((1+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha)\right) \end{aligned} \right)} \quad (3.81)$$

$$H(f; \Omega^2)_{-3dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)(1+(c\Omega^2)^3)}{\left(\begin{aligned} &((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1)((1-q^2+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha+1) \\ &+3.5983(c\Omega^2)^2((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1) \\ &+4.4947(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right) \\ &+1.9953(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right)\left((1+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha)\right) \end{aligned} \right)} \quad (3.82)$$

$$H(f; \Omega^2)_{-2dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)(1+(c\Omega^2)^3)}{\left(\begin{aligned} &((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1)((1-q^2+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha+1) \\ &+3.4208(c\Omega^2)^2((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1) \\ &+3.9789(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right) \\ &+1.5849(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right)\left((1+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha)\right) \end{aligned} \right)} \quad (3.83)$$

$$H(f; \Omega^2)_{-1dB} = \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha)(1+(c\Omega^2)^3)}{\left(\begin{aligned} &((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1)((1-q^2+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha+1) \\ &+3.2208(c\Omega^2)^2((1-q+\alpha)(c\Omega^2+a+1) \\ &+3.4767(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right) \\ &+1.2589(c\Omega^2)^2\left((1+\alpha)(c\Omega^2+\alpha)\right)\left((1+2\alpha)(c\Omega^2+2\alpha)\right) \end{aligned} \right)} \quad (3.84)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

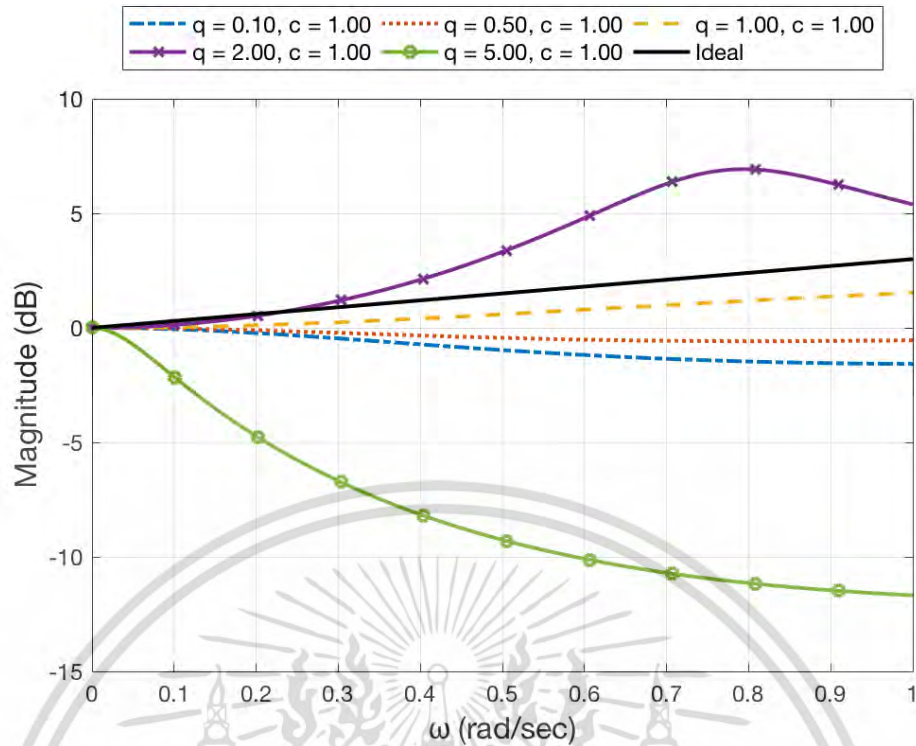
หลังจากที่ได้ผลการหาค่าของพารามิเตอร์ของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร; ขั้นตอนถัดมาคือการขยายสูงและอัตราการขยายต่ำที่ใด; จากการประมาณโดยใช้; ขั้นตอนการแบบคิว-เบิร์ตและขั้นตอนการขั้นตอนต่อไปคือการพิจารณาการปรับแต่งค่าของพารามิเตอร์พิเศษที่อยู่ในสมการดังกล่าว นั่นคือ α ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 และ q ที่มีค่าน้อยกว่า 0 ซึ่งทั้งสองเป็นพารามิเตอร์พิเศษของตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตและขั้นตอนการ และ c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์พิเศษของสมการแปลงแบบโมเบียส โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับค่าที่เหมาะสมที่ทำให้วงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร; ได้มีผลตอบสนองทางขนาดที่มีความราบเรียบใกล้เคียงอุดมคติมากที่สุด

3.3.3 การปรับแต่งพารามิเตอร์พิเศษ (Special Parameter Adjusting)

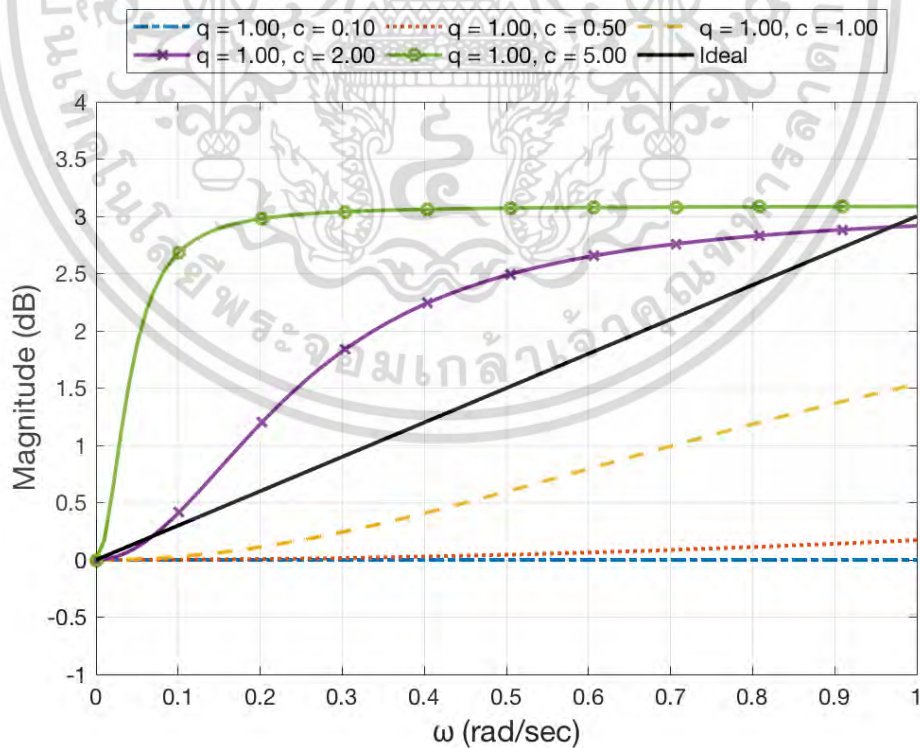
ในสมการนี้ได้เสนอการพิจารณาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์พิเศษ α , q และ c โดยการปรับค่าเหล่านี้เพื่อให้ได้ค่าที่สามารถทำให้; วงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร; มีผลตอบสนองทางขนาดที่ใกล้เคียงกับอุดมคติ ผลตอบสนองทางเฟสมีความเป็นเชิงเส้น; และผลตอบสนองทางดีเลย์และ; ใกล้เคียงกับมากที่สุด ซึ่งในตัวอย่างนี้ได้ทำการแสดงการพิจารณาค่าที่เหมาะสมของ α , q และ c สำหรับวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร; ชนิดอัตราการขยายสูงที่ +3 dB

จากหัวข้อที่ 3.2.3 ทราบว่าค่าที่เหมาะสมของ α คือ 1/3 ดังนั้นในวิธีการนี้จึงยังคงใช้ค่าค่านี้อยู่ และมุ่งไปพิจารณาค่าตัวแปรอื่น ๆ เพื่อให้ได้; ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับอุดมคติมากที่สุด; การพิจารณาแนวโน้มนการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองทางขนาดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า q และ c โดยทำการพิจารณา q ก่อน โดยการกำหนดให้; c มีค่าคงที่เท่ากับ 1 และให้; q มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.5, 1, 2 และ 5 และพิจารณา c เป็นลำดับถัดมา โดยการกำหนดให้; q มีค่าคงที่เท่ากับ 1 และให้; c มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.5, 1, 2 และ 5 ซึ่งได้ผลตอบสนองทางขนาดดังรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 ตามลำดับรูปที่ 3.21 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร; ที่ +3 dB เมื่อ $c = 1$ และ $q = 0.1, 0.5, 1, 2$ และ 5 รูปที่ 3.22 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร; ที่ +3 dB เมื่อ $q = 1$ และ $c = 0.1, 0.5, 1, 2$ และ 5 จากกราฟแสดงให้ทราบค่าที่เหมาะสมและควรนำมาพิจารณาคือค่าของ q ที่อยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 2 และค่าของ c ที่อยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 2 เช่นเดียวกัน

ขั้นตอนต่อไปทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของทั้ง q และ c พร้อมกัน โดยจะพิจารณาจากค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้; ในขั้นแรก กำหนดให้; q มีค่าเท่ากับ 1.3, 1.21, 1.15, 1.1 และ 1 ในขณะที่ c มีค่าเท่ากับ 0.75, 0.85, 0.98, 1.25 และ 2.62 จากรูปที่ 3.23 แสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองทางขนาดที่ได้มีความราบเรียบและ; ใกล้เคียงกับมากที่สุดเมื่อ $q = 1.15$ และ $c = 0.98$ แต่จากรูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25 แสดงให้เห็นว่าเมื่อ $q = 1.3$ และ $c = 0.75$ ให้; ผลตอบสนองทางเฟสที่มีความเป็นเชิงเส้น; และให้; ผลตอบสนองทางดีเลย์ใกล้เคียงกับมากที่สุด

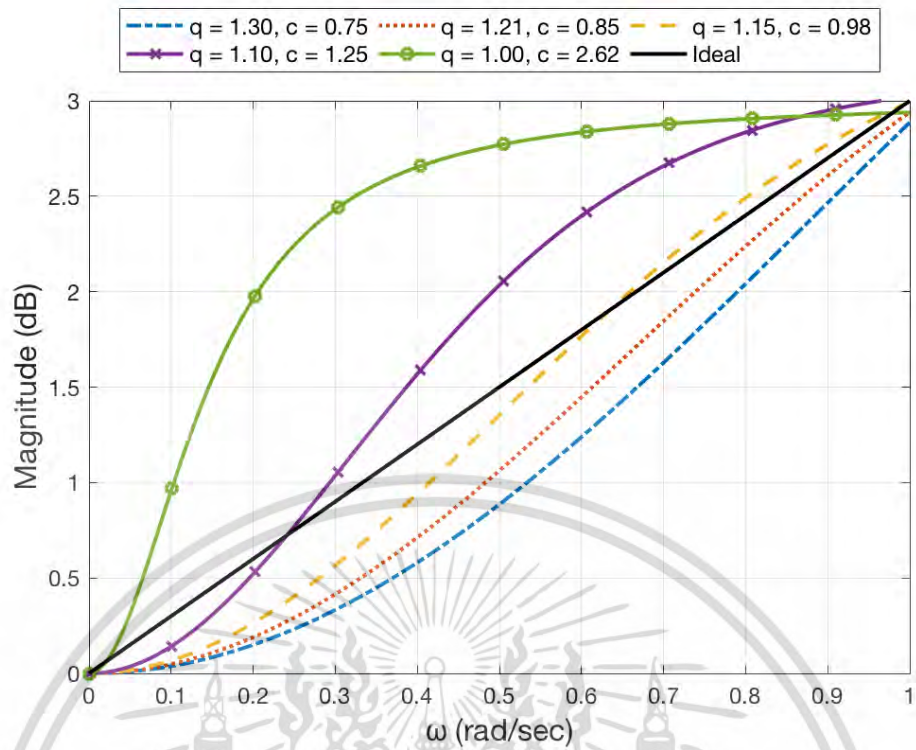


รูปที่ 3.21 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรีบเท+ทางขนาดแบบเชิงเสถียร; $+3$ dB
เมื่อ $c = 1$, $q = 0.1, 0.5, 1, 2$ และ 5

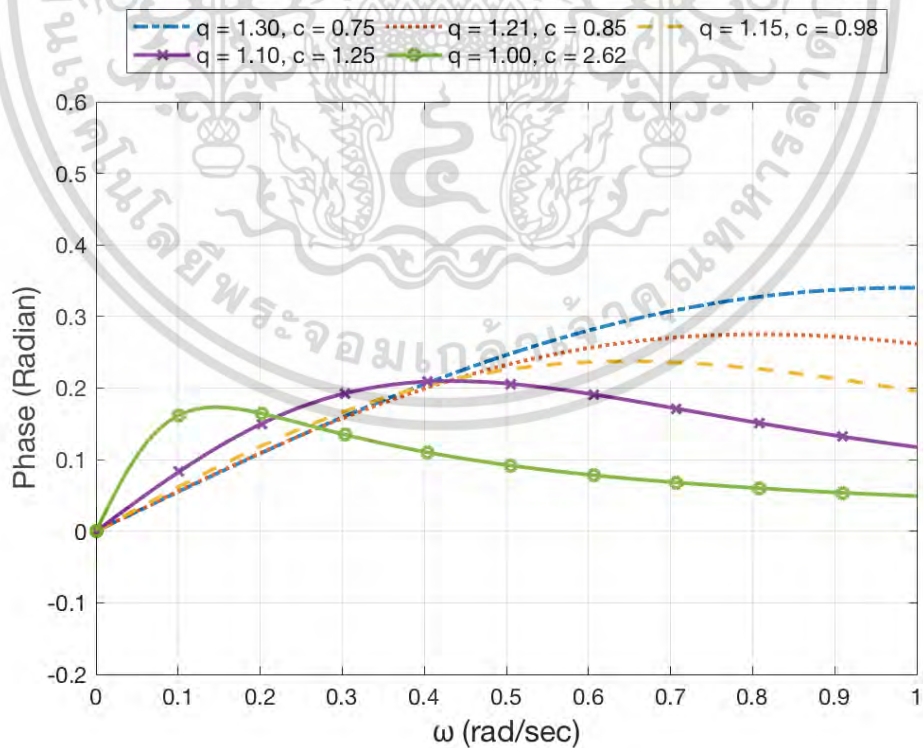


รูปที่ 3.22 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรีบเท+ทางขนาดแบบเชิงเสถียร; $+3$ dB
เมื่อ $q = 1$, $c = 0.1, 0.5, 1, 2$ และ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



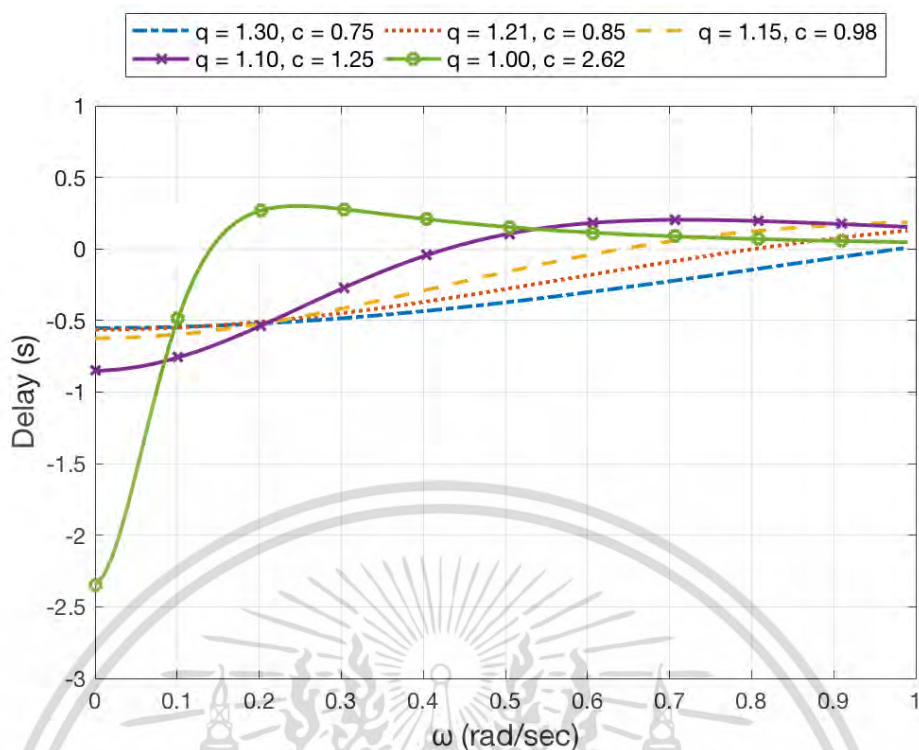
รูปที่ 3.23 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB
เมื่อ $q = 1.3, 1.21, 1.15, 1.1$ และ $1, c = 0.75, 0.85, 0.98, 1.25$ และ 2.62



รูปที่ 3.24 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB

เมื่อ $q = 1.3, 1.21, 1.15, 1.1$ และ $1, c = 0.75, 0.85, 0.98, 1.25$ และ 2.62

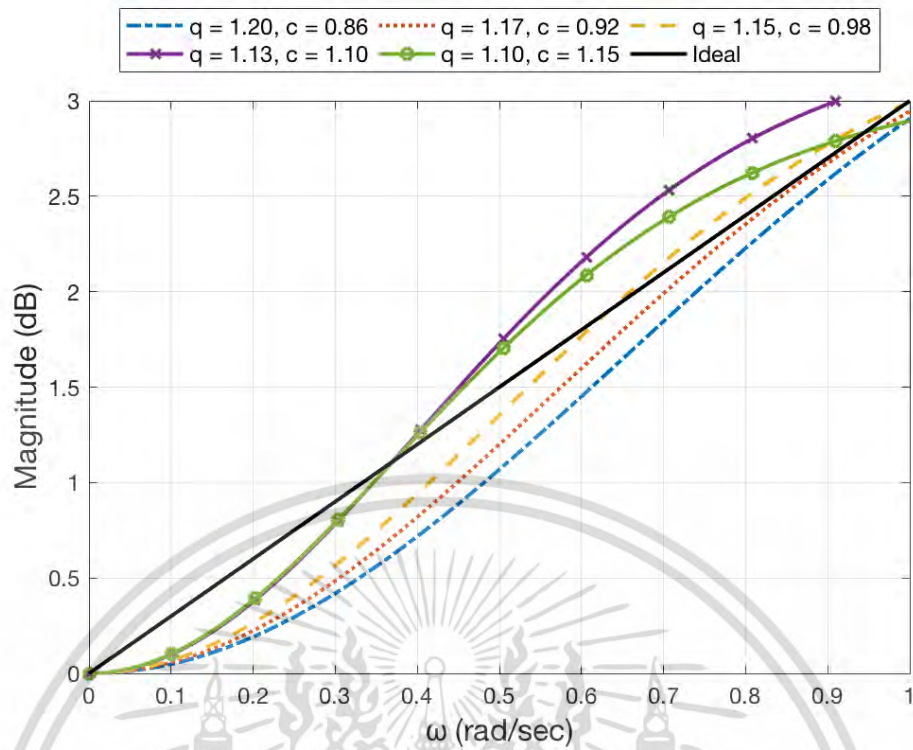
เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไวสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุ่ญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



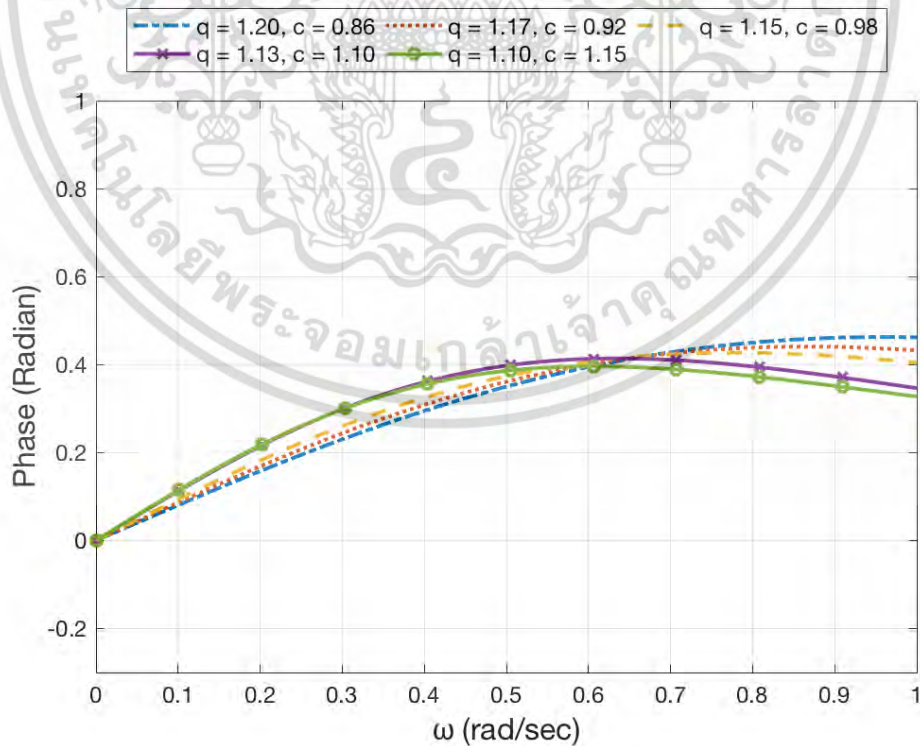
รูปที่ 3.25 ผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.3, 1.21, 1.15, 1.1$ และ $1, c = 0.75, 0.85, 0.98, 1.25$ และ 2.62

จากวิธีห;รต;นทำให;ทราบว+ค+ของ q และ c ที่ทำให;ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB มีค+ใกล้เคียงกับอุดมคติมากที่สุดคือ $q = 1.15$ และ $c = 0.98$ ลำดับถัดไปคือการพิจารณาค+ของ q และ c ที่ใกล้เคียงค+ดังกล่าว กำหนดให้; $q = 1.2, 1.17, 1.15, 1.13$ และ 1.1 ขณะที่ $c = 0.86, 0.92, 0.98, 1.1$ และ 1.15 ในรูปที่ 3.26 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB จากกราฟแสดงให้;เห็นว+ $q = 1.15$ และ $c = 0.98$ ยังคงสามารถทำให;ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้มี;นั้มีความราบเรียบและเข;ใกล้อุดมคติมากที่สุด นอกจากนี้ผลตอบสนองทางเฟสและผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB แสดงดังรูปที่ 3.27 และรูปที่ 3.28 ตามลำดับ แสดงถึงแนวโนมของผลตอบสนองทางเฟสที่เข;ใกล้ความเป;นเชิงเส;น และผลตอบสนองทางดีเลย์ที่เข;ใกล้ค+คงที่ที่มีความแตกต;งกันเล็กน้อย แต่เป;นไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้;ว+ค+ที่เหมาะสมที่สุดจากวิธีห;รต;นคือ $\alpha = 1/3, q = 1.15$ และ $c = 0.98$ ซึ่งค+นี้;จะถูกนำไปใช้;แทนค+เพื่อการประมาณหาพ+งชันอ+อนในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อให;สามารถนำไปใช้;ในการออกแบบวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;นโดย;นเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด และในทำนองเดียวกัน สำหรับวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB เมื่อทำการพิจารณาค+ของพารามิเตอร์;พิเศษ พบว+ค+ที่สามารถให้;ผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดตามวิธีการดังกล่าว;นั้แสดงดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้;เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้;นำไปใช้;ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้;ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



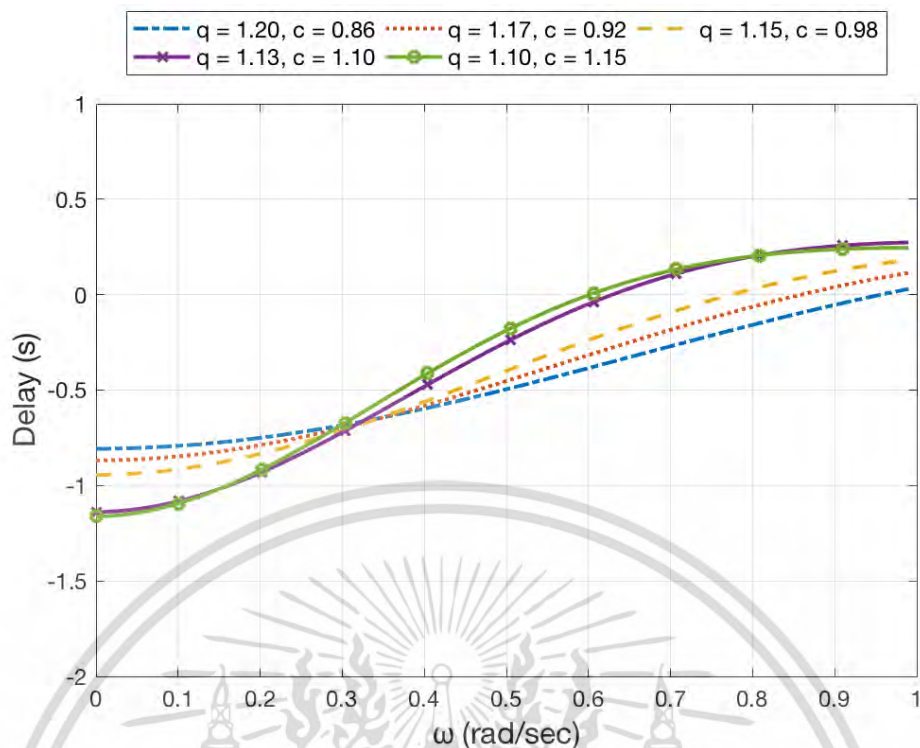
รูปที่ 3.26 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB
เมื่อ $q = 1.2, 1.17, 1.15, 1.13$ และ 1.1 , $c = 0.86, 0.92, 0.98, 1.1$ และ 1.15



รูปที่ 3.27 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB

เมื่อ $q = 1.2, 1.17, 1.15, 1.13$ และ 1.1 , $c = 0.86, 0.92, 0.98, 1.1$ และ 1.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสรวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อณัฐาเตเห็นาไปไซบระเียชนด้านการค้า
ไม่วากรณใตๆ ทั้งลึน อึกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ผลตอบสนองทางดีเลย์ของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นที่ +3 dB เมื่อ $q = 1.2, 1.17, 1.15, 1.13$ และ $1.1, c = 0.86, 0.92, 0.98, 1.1$ และ 1.15

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;น

Gain	Parameters		
	α	c	q
+3 dB	1/3	0.98	1.15
+2 dB	1/3	0.93	1.12
+1 dB	1/3	0.90	1.07
-3 dB	1/3	0.84	0.67
-2 dB	1/3	0.85	0.80
-1 dB	1/3	0.86	0.91

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของพารามิเตอร์พิเศษที่เหมาะสมที่ใช้ในการออกแบบวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;น ทั้งชนิดอัตรการขยายสูงและอัตรการขยายต่ำที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB โดยใช้วิธีการประมาณพหุนามอันดับ 3 โอนจากตัวดำเนินการคิวิ-เบิร์ตตัน & สแตนคู เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ผลลัพธ์และผลตอบสนอง (Results and Responses)

หลังจากที่ทำการพิจารณาหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;ทั้งชนิดอัตรการขยายสูงและอัตรการขยายต่ำที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB ในหัวข้อนี้ได้ทำการนำค่า q , α และ c ที่ได้ในตารางที่ 3.1 มาแทนลงในสมการของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากหัวข้อ 3.3.2 ในการนำไปใช้;ในระบบแอนะล็อกนั้นต้องการสมการฟังก์ชันถ่ายโอนที่อยู่ในรูปของ s หรือ s -plane ดังนั้นเมื่อทำการแทน Ω^2 ด้วย s จะได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;ที่อยู่ในรูปของ s ดังสมการที่ (3.85-3.90)

$$H(s)_{+3dB} = \frac{1.9685s^3 + 6.1491s^2 + 6.4027s + 2.2222}{1.3935s^3 + 4.3410s^2 + 5.0156s + 2.2222} \quad (3.85)$$

$$H(s)_{+2dB} = \frac{1.4378s^3 + 4.9870s^2 + 5.7660s + 2.2222}{1.1420s^3 + 3.9165s^2 + 4.8579s + 2.2222} \quad (3.86)$$

$$H(s)_{+1dB} = \frac{1.1809s^3 + 4.3740s^2 + 5.4000s + 2.2222}{1.0526s^3 + 3.8598s^2 + 4.9419s + 2.2222} \quad (3.87)$$

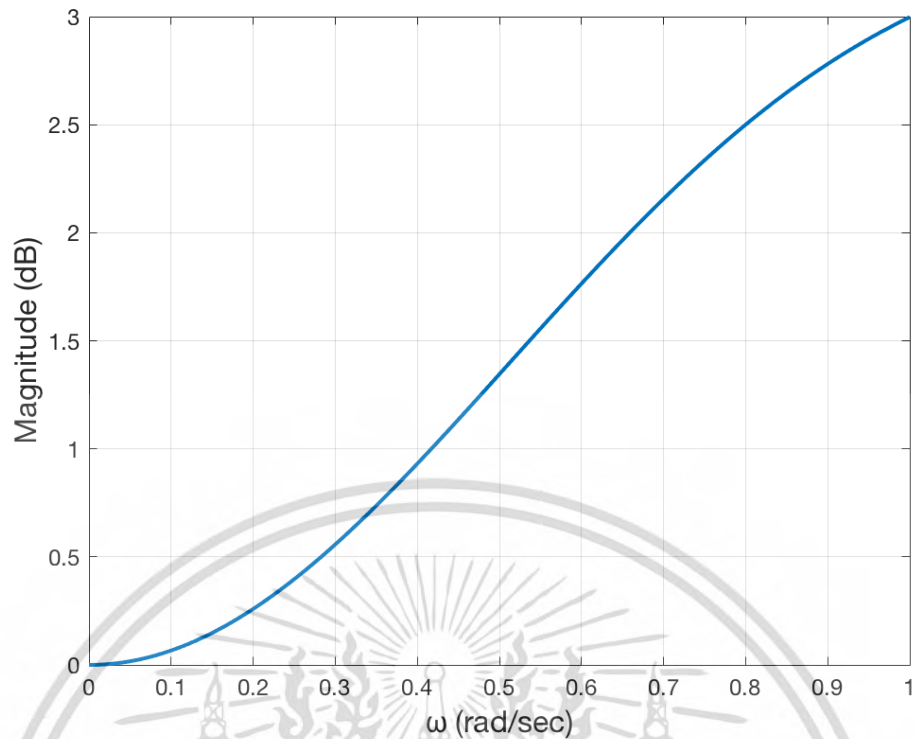
$$H(s)_{-3dB} = \frac{0.7807s^3 + 3.3191s^2 + 4.7040s + 2.2222}{1.1027s^3 + 5.0700s^2 + 6.2226s + 2.2222} \quad (3.88)$$

$$H(s)_{-2dB} = \frac{0.8381s^3 + 3.4800s^2 + 4.8167s + 2.2222}{1.0551s^3 + 4.5515s^2 + 5.7733s + 2.2222} \quad (3.89)$$

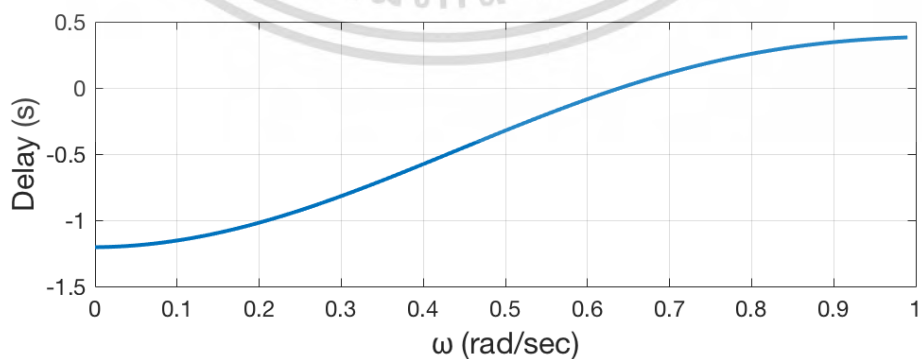
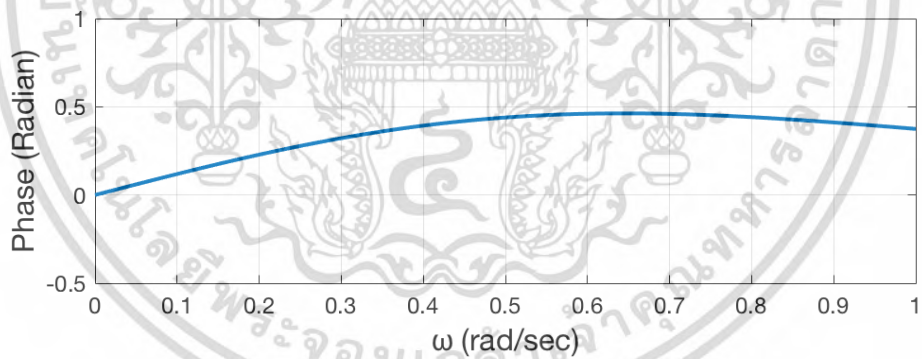
$$H(s)_{-1dB} = \frac{0.8990s^3 + 3.6467s^2 + 4.9307s + 2.2222}{1.0087s^3 + 4.1606s^2 + 5.4002s + 2.2222} \quad (3.90)$$

ผลตอบสนองทางขนาด ผลตอบสนองทางเฟส และผลตอบสนองทางดีเลย์ที่ได้จากสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;นี้ ซึ่งประมาณค่าได้จากโพลีโนเมียลอันดับที่สามของคิว-เบิร์ตอนและสมการแปลง โดยใช้ค่า q , α และ c ในตารางที่ 3.1 แสดงดังรูปที่ 3.29-3.40 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองทางขนาดที่มีความราบเรียบ แสดงการไกล;เคียงความเปHเชิงเส;ของผลตอบสนองทางเฟส และแสดงผลตอบสนองทางดีเลย์ที่ไกล;คงที่ สำหรับทุก ๆ อัตรการขยาย ซึ่งเปHคุณสมบัติที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบวงจรปรับเท+ในระบบสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

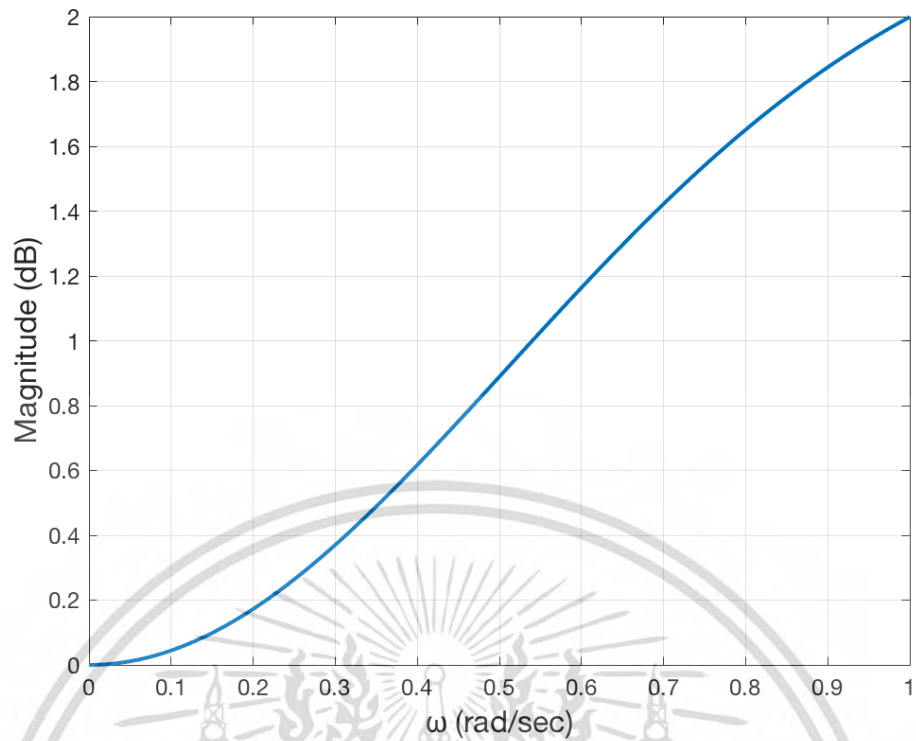


รูปที่ 3.29 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร +3 dB
ที่ประมาณโดยคิวิ-เบิร&สไตน์&สแตนคู

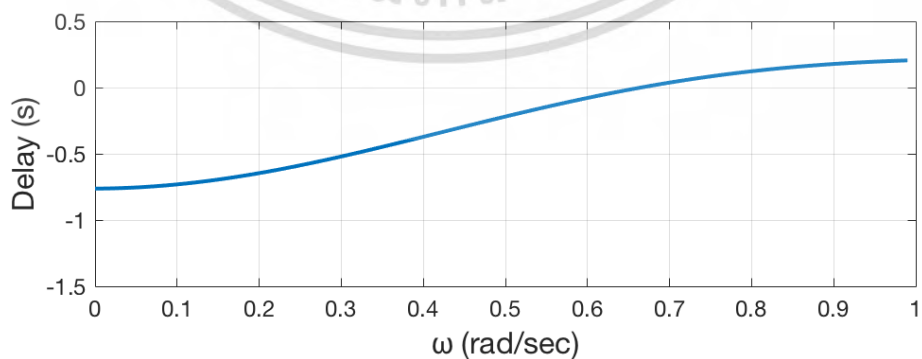
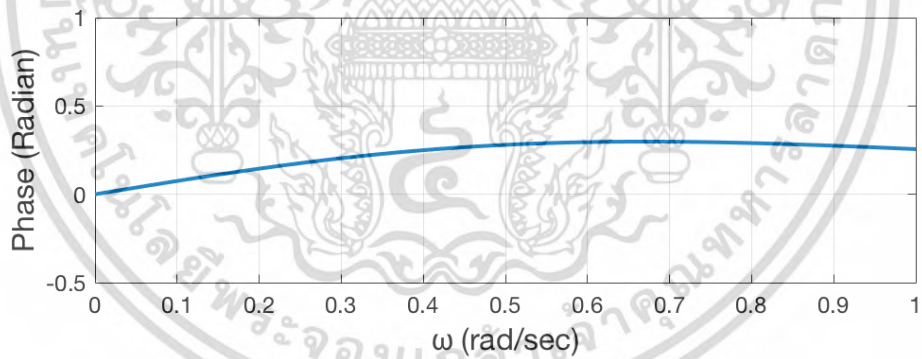


รูปที่ 3.30 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร +3 dB
ที่ประมาณโดยคิวิ-เบิร&สไตน์&สแตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

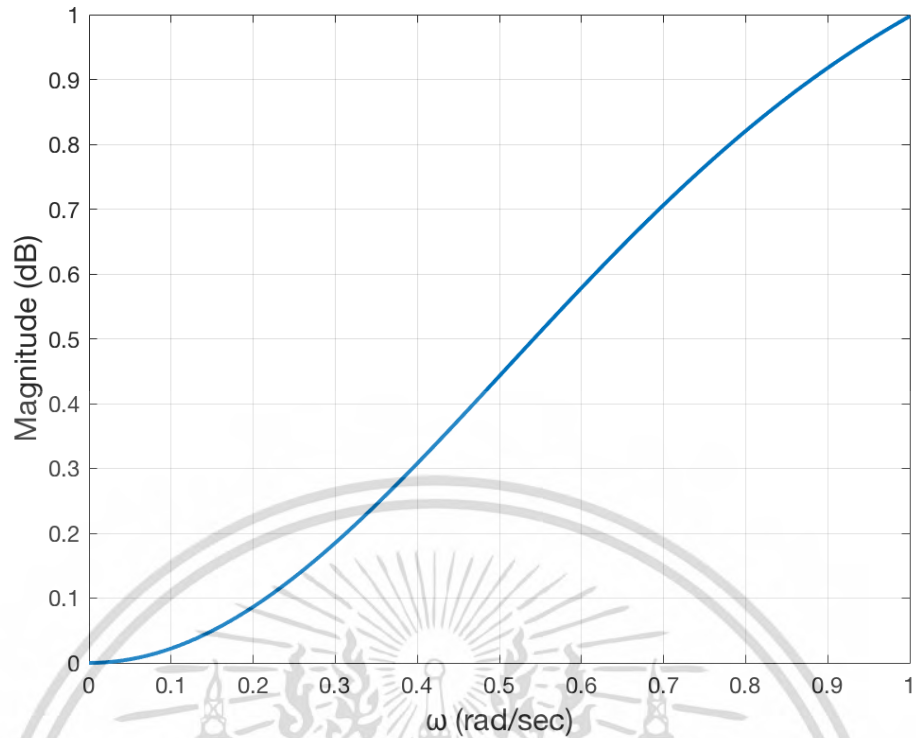


รูปที่ 3.31 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร +2 dB
ที่ประมาณโดยคิวิ-เบิร์ต & สไตน์ & แตนคูล

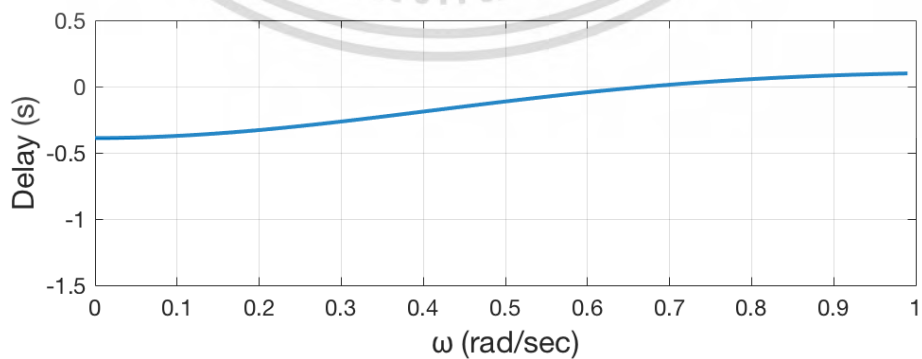
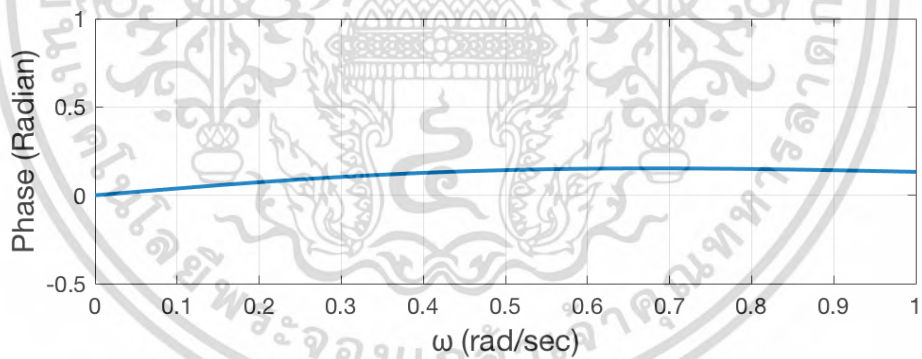


รูปที่ 3.32 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเทจทางขนาดแบบเชิงเสถียร +2 dB
ที่ประมาณโดยคิวิ-เบิร์ต & สไตน์ & แตนคูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



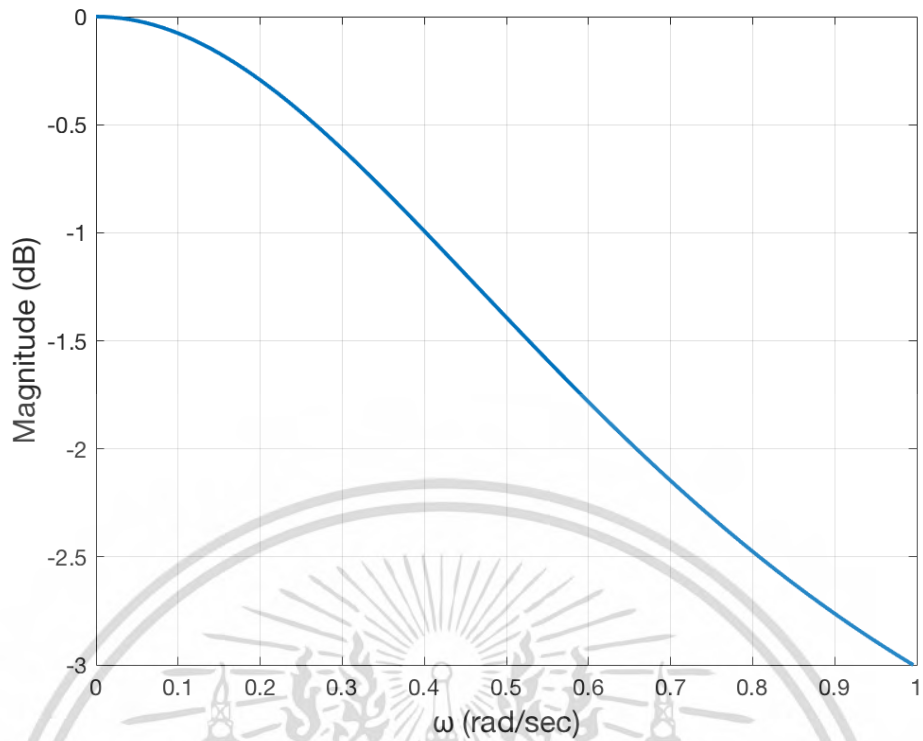
รูปที่ 3.33 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +1 dB
ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน&สแตนค



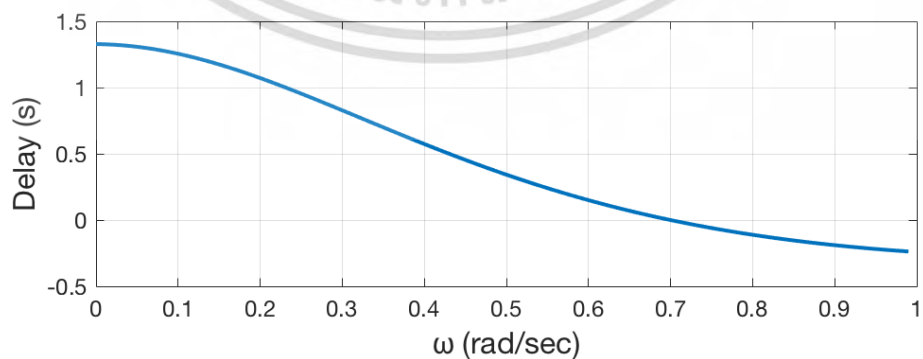
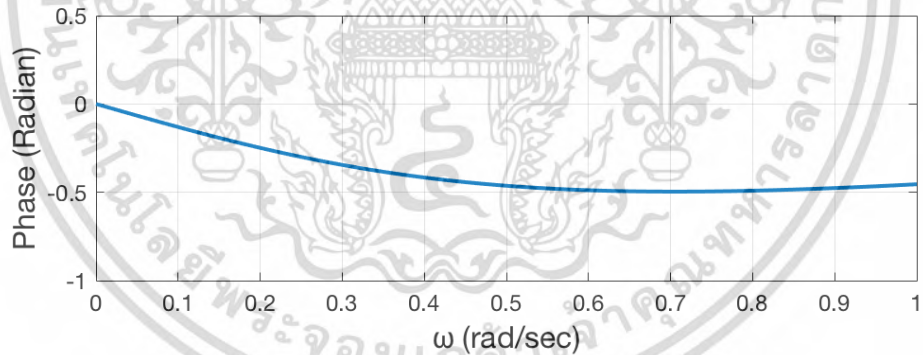
รูปที่ 3.34 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ +1 dB

ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน&สแตนค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



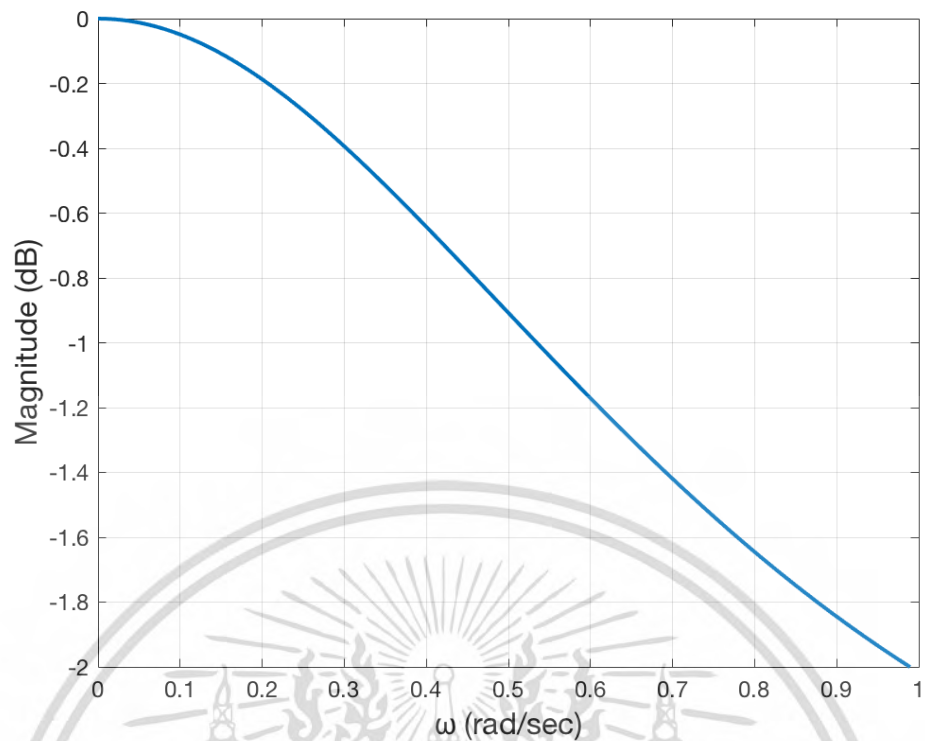
รูปที่ 3.35 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -3 dB
ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน์&แตนคู



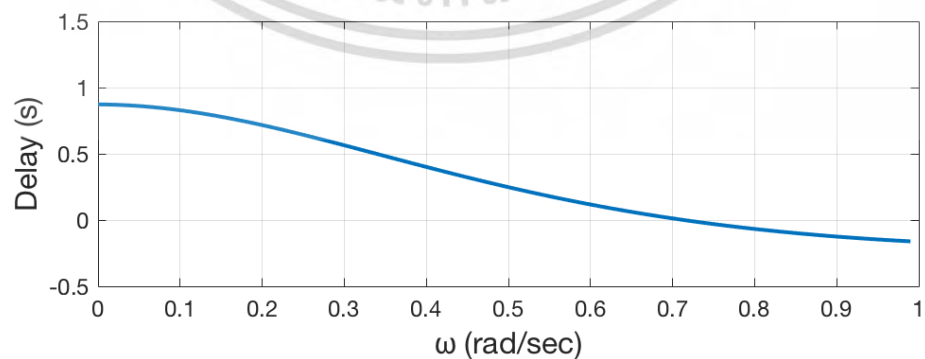
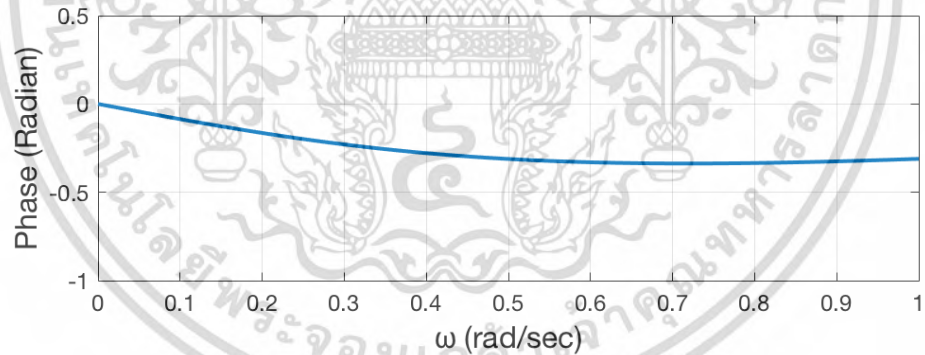
รูปที่ 3.36 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -3 dB

ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน์&แตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



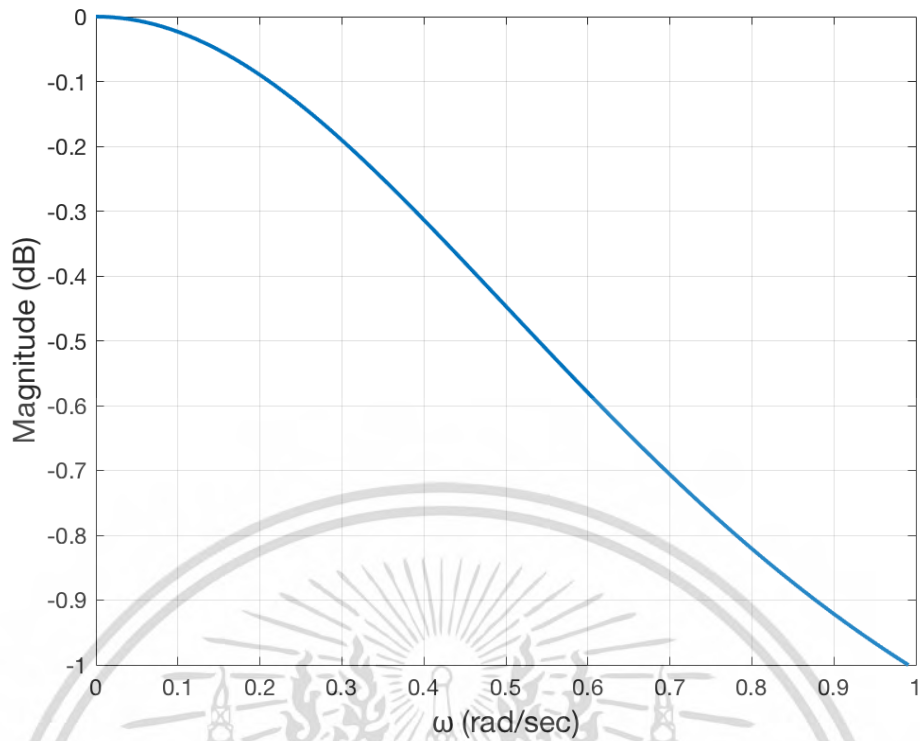
รูปที่ 3.37 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -2 dB
ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน&สแตนคู



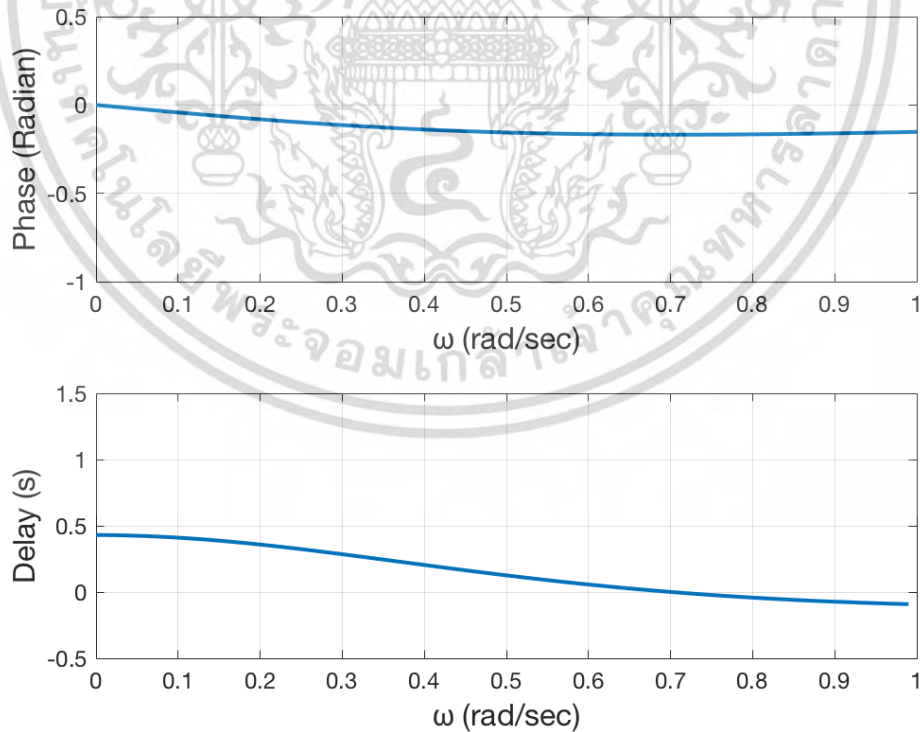
รูปที่ 3.38 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเท+ทางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -2 dB

ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน&สแตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.39 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -1 dB
ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน์&สแตนคู



รูปที่ 3.40 ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ของวงจรปรับเททางขนาดแบบเชิงเส;ที่ -1 dB
ที่ประมาณโดยคิว-เบิร&สไตน์&สแตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

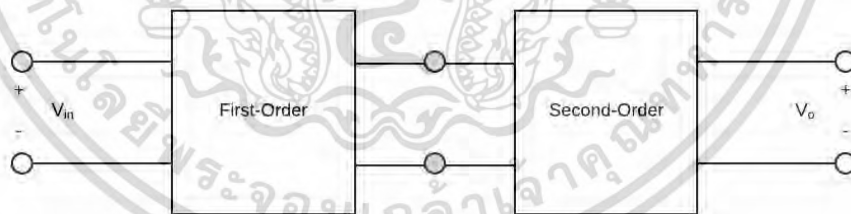
การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้น

4.1 แนวคิดในการออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้น

การสรุปรวมวงจรปรับเท่า/ทางขนาดแบบเชิงเส้นและฟังก์ชันของวงจร RC ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการต่อวงจรแบบคาสเคด (Cascade) ซึ่งเป็นการสรุปรวมโดยอาศัยวงจร/หลายวงจรวางต่อกันรวมเป็นวงจรใหญ่/หนึ่งวงจร โดยการนำวงจร RC ของฟังก์ชัน/ขโณอันดับที่ 1 (First-Order) ที่ใช้รูปแบบการสรุปรวมทั้งแบบ Inverting Amplifier และ Noninverting Amplifier มาต่อรวมเข้ากับวงจร RC ของฟังก์ชัน/ขโณอันดับที่ 2 (Second-Order) ที่ใช้รูปแบบการสรุปรวมแบบ Single Amplifier ที่มีวงจรประกอบไปด้วย ออปแอมพลิฟายเออร์ (Op-Amp) 1 ตัว และวงจร RC แบบ One-Ports จำนวน 6 ชุด รวมกันเป็นวงจร RC ที่ได้จากฟังก์ชัน/ขโณอันดับที่ 3 ดังสมการที่ (4.1)

$$H(s)_{3rd} = H(s)_{1st} \cdot H(s)_{2nd} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ (4.1) สามารถทำการต่อวงจรแบบคาสเคด ดังตัวอย่างจำนวน 2 วงจร ซึ่งมีฟังก์ชัน/ขโณคือ H_1 และ H_2 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการต่อ/วงจรแบบคาสเคดของฟังก์ชัน/ขโณอันดับที่ 1 และ 2

4.2 การออกแบบโดยใช้ตัวดำเนินการแบบเบิร์นสไตน์-สแตนคู

4.2.1 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ +3 dB

จากฟังก์ชัน/ขโณของวงจรปรับเท่า/ทางขนาดแบบเชิงเส้นชนิดอัตรการขยายสูงที่ +3 dB ที่ได้มาจากการประมาณค่าโดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของเบิร์นสไตน์-สแตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(s)_{+3dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.5732s^3 + 5.3134s^2 + 5.9611s + 2.2222} \quad (4.2)$$

จะได้

$$H_1(s) = 1.41 \frac{s + 1}{s + 1.26} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 2s + 1}{s^2 + 2.12s + 1.12} \quad (4.3)$$

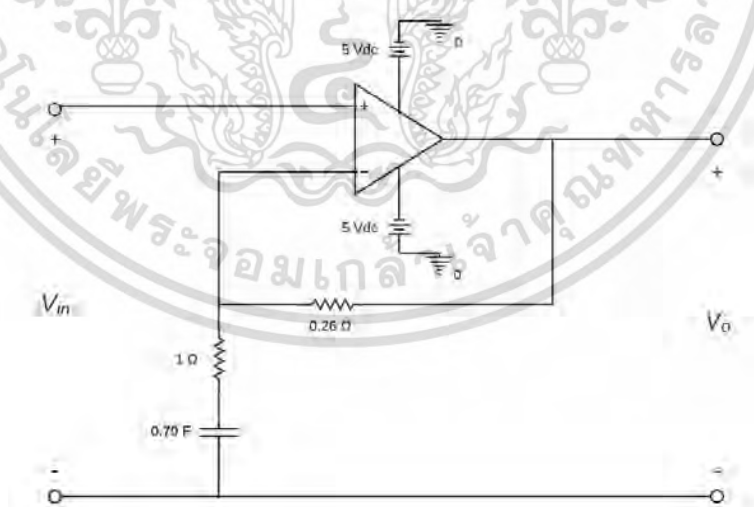
พิจารณา $H_1(s)$ สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$H_1(s) = \frac{1.41}{1.26} \left(1.26 \frac{s + 1}{s + 1.26} \right) \quad (4.4)$$

ดังนั้นจะได้

$$a = 1, b = 1.26, K = b/a = 1.26 \quad (4.5)$$

ในวงเล็บของสมการที่ (4.4) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.2



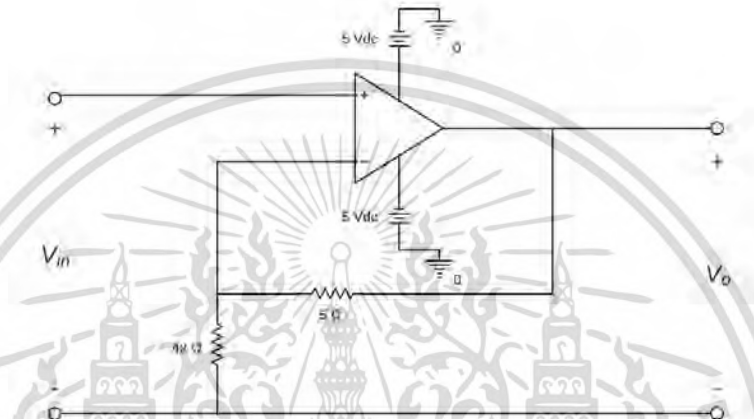
รูปที่ 4.2 วงจรอัตราขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

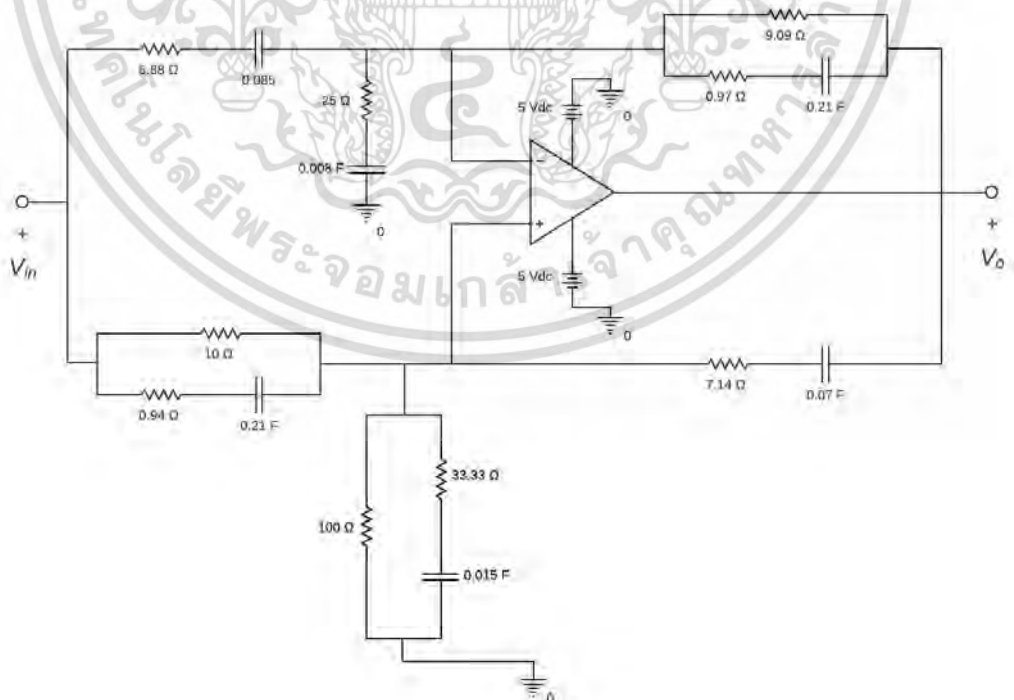
เมื่อทำการจัดรูปค/ทงทีในสมการที่ (4.4) จะได&

$$1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{1.41}{1.26} = 1 + \frac{5}{42} \quad (4.6)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4.6) สามารถสร&วงจร Noninverting Amplifier ได้&รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 วงจรอัตราขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2



รูปที่ 4.4 วงจรอัตราขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิย&าทเ&น&าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ท

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2s + 1}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.7)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.1$, $B = -0.17$, $C = 1.07$ แทนลงในสมการที่ (4.7)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.1s}{s} - \frac{0.17s}{s+2} + \frac{1.07s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.8)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_1 = \frac{0.1s}{s} + \frac{1.07s}{s+5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.214s}} \quad Y_2 = \frac{0.17s}{s+2} = \frac{1}{5.88 + \frac{1}{0.085s}} \quad (4.9)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้&ท

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2.12s + 1.12}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.10)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.11$, $E = -0.14$, $F = 1.03$ แทนลงในสมการที่ (4.11)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.11s}{s} - \frac{0.14s}{s+2} + \frac{1.03s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.11)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_5 = \frac{0.14s}{s+2} = \frac{1}{7.14 + \frac{1}{0.07s}} \quad Y_6 = \frac{0.11s}{s} + \frac{1.03s}{s+5} = \frac{1}{9.09} + \frac{1}{0.97 + \frac{1}{0.206s}} \quad (4.12)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้&ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.01s}{s} - \frac{0.04s}{s+5} + \frac{0.03s}{s+2} \quad (4.13)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.03s}{s+2} = \frac{1}{100} + \frac{1}{33.33 + \frac{1}{0.015s}} \quad Y_4 = \frac{0.04s}{s+5} = \frac{1}{25 + \frac{1}{0.008s}} \quad (4.14)$$

จาก $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5,$ และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.4

4.2.2 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ +2 dB

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเสถียรชนิดอัตราขยายสูงที่ +2 dB ที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของเบิร์ตสไตน์แสดงดังสมการที่ (4.15)

$$H(s)_{+2dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.7652s^3 + 5.7265s^2 + 6.1831s + 2.2222} \quad (4.15)$$

จะได้

$$H_1(s) = 1.26 \frac{s+1}{s+1.16} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 2s + 1}{s^2 + 2.08s + 1.08} \quad (4.16)$$

พิจารณา $H_1(s)$ สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

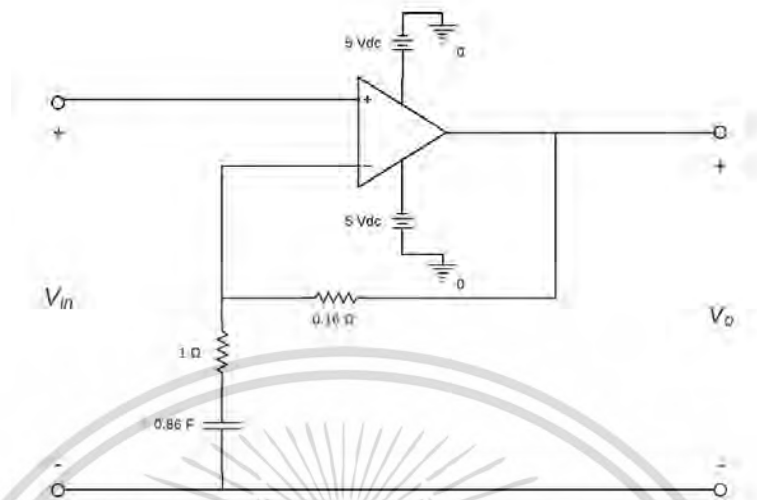
$$H_1(s) = \frac{1.26}{1.16} \left(1.16 \frac{s+1}{s+1.16} \right) \quad (4.17)$$

ดังนั้นจะได้

$$a = 1, b = 1.16, K = b/a = 1.16 \quad (4.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงเล็บของสมการที่ (4.17) สามารถสรุบทงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.5

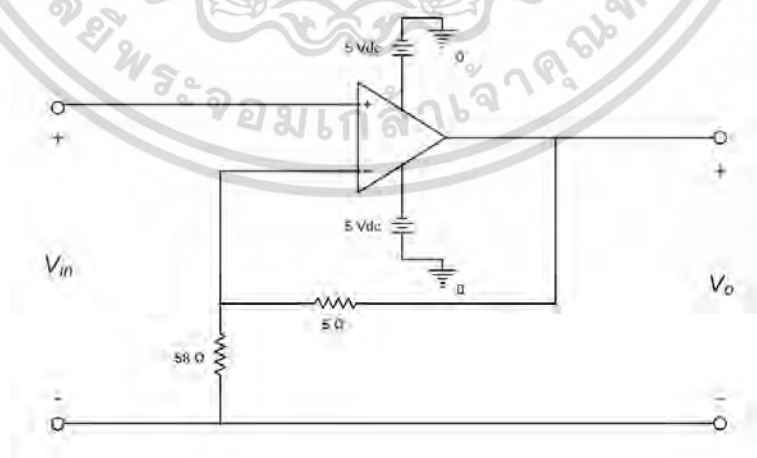


รูปที่ 4.5 วงจรอัตราขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1

ทำการจัดรูปค/ตงที่ในสมการที่ (4.17)

$$1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{1.26}{1.16} = 1 + \frac{5}{58} \quad (4.19)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4.19) สามารถสรุบทงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรอัตราขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้จาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2s + 1}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.20)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.1$, $B = -0.17$, $C = 1.07$ แทนลงในสมการที่ (4.20)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.1s}{s} - \frac{0.17s}{s+2} + \frac{1.07s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.21)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.1s}{s} + \frac{1.07s}{s+5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.214s}} \quad Y_2 = \frac{0.17s}{s+2} = \frac{1}{5.88 + \frac{1}{0.085s}} \quad (4.22)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้จาก

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2.08s + 1.08}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.23)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.11$, $E = -0.16$, $F = 1.05$ แทนลงในสมการที่ (4.23)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.11s}{s} - \frac{0.16s}{s+2} + \frac{1.05s}{s+5} = Y_5 - Y_6 \quad (4.24)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_5 = \frac{0.16s}{s+2} = \frac{1}{6.25 + \frac{1}{0.08s}} \quad Y_6 = \frac{0.11s}{s} + \frac{1.05s}{s+5} = \frac{1}{9.09} + \frac{1}{0.95 + \frac{1}{0.21s}} \quad (4.25)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้จาก

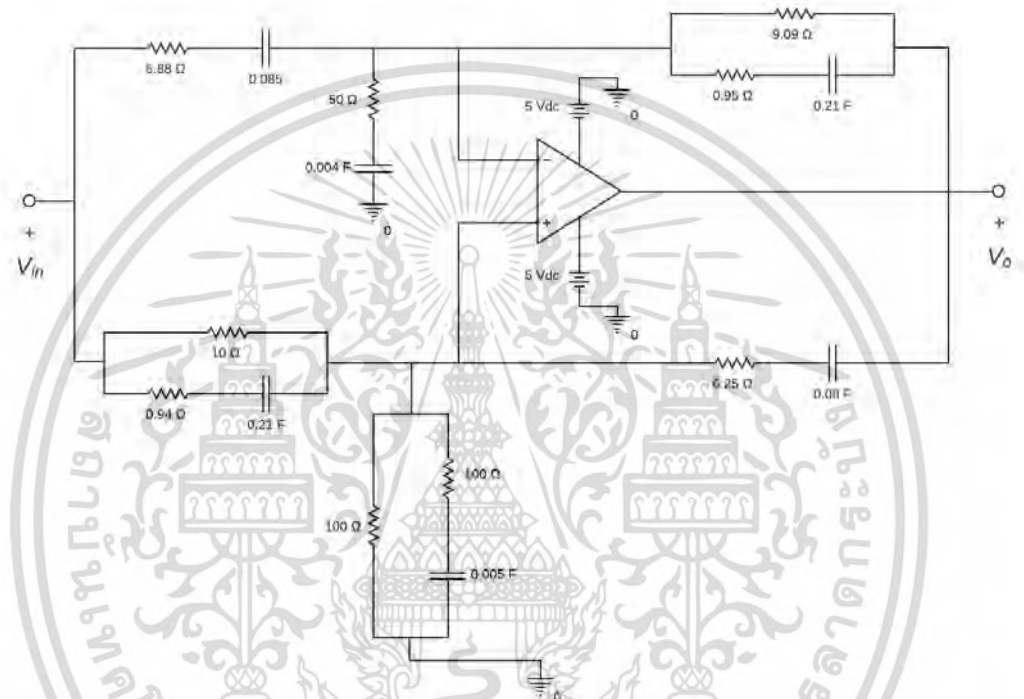
$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.01s}{s} - \frac{0.02s}{s+5} + \frac{0.01s}{s+2} \quad (4.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.01s}{s+2} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100 + \frac{1}{0.005s}} \quad Y_4 = \frac{0.02s}{s+5} = \frac{1}{50 + \frac{1}{0.004s}} \quad (4.27)$$

จาก Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 , Y_5 , และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 วงจรอัตราการขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 2)

4.2.3 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ +1 dB

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเสถียรชนิดอัตราการขยายสูงที่ +1 dB ที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของเบิรชสไตน์สแตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.28)

$$H(s)_{+1dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.9806s^3 + 6.1764s^2 + 6.4180s + 2.2222} \quad (4.28)$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_1(s) = 1.12 \frac{s+1}{s+1} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 2s + 1}{s^2 + 2.12s + 1.12} \quad (4.29)$$

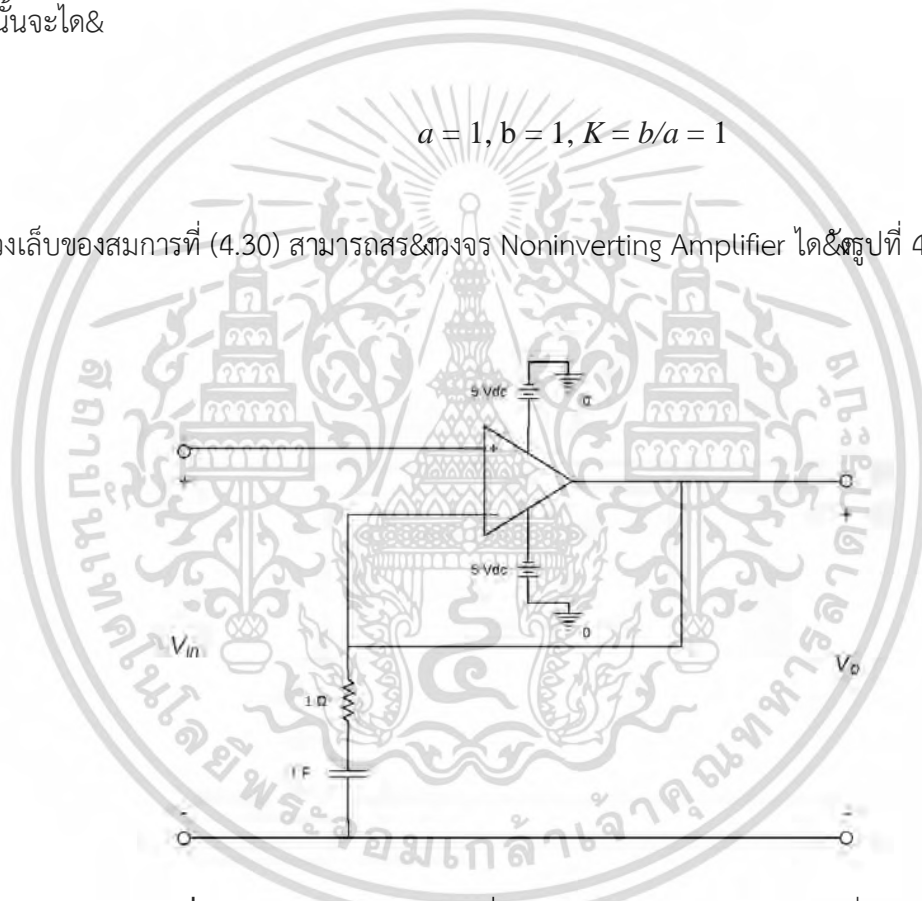
พิจารณา $H_1(s)$ สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$H_1(s) = \frac{1.12}{1} \left(1 \frac{s+1}{s+1} \right) \quad (4.30)$$

ดังนั้นจะได้

$$a = 1, b = 1, K = b/a = 1 \quad (4.31)$$

ในวงเล็บของสมการที่ (4.30) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.8



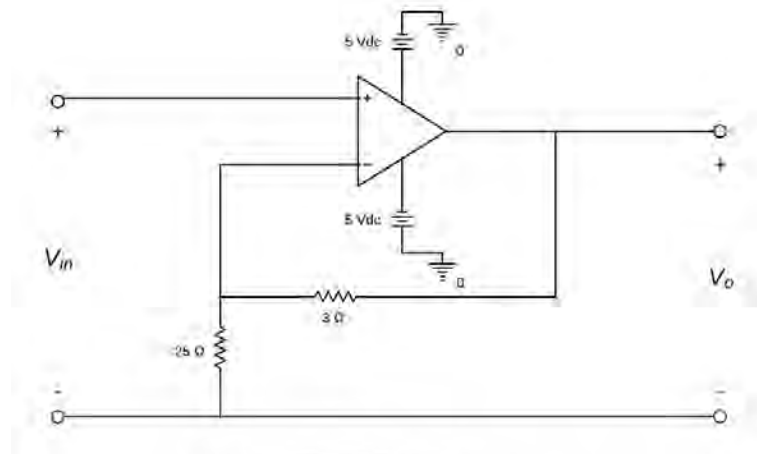
รูปที่ 4.8 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1

ทำการจัดรูปค/ทงที่ในสมการที่ (4.30)

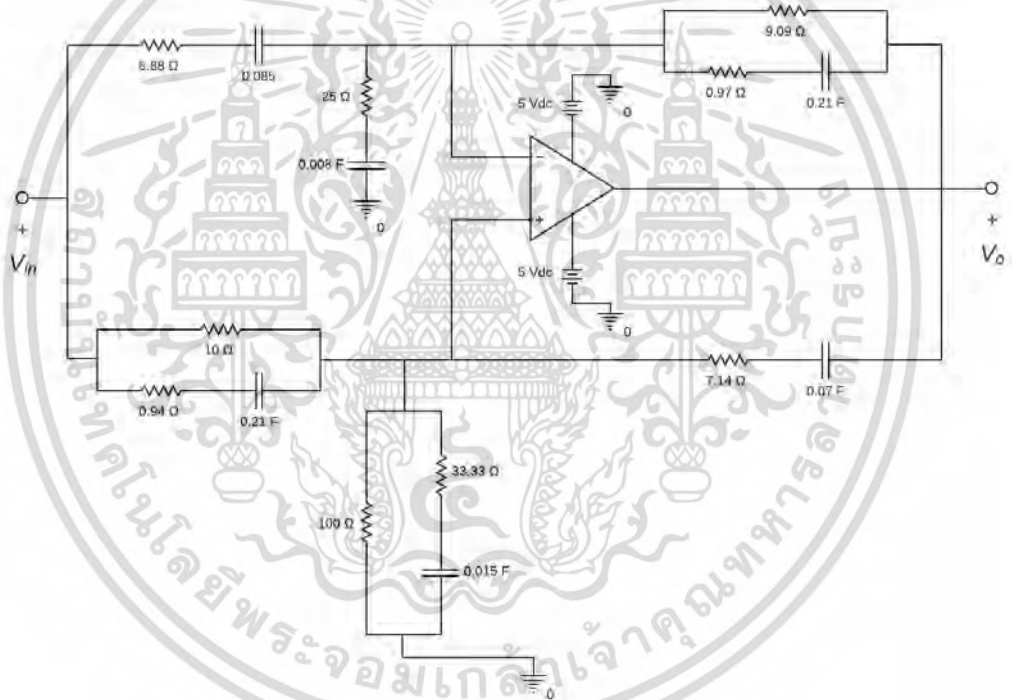
$$1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{1.12}{1} = 1 + \frac{3}{25} \quad (4.32)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4.32) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2



รูปที่ 4.10 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 2)

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ท

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2s + 1}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.33)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.1$, $B = -0.17$, $C = 1.07$ แทนลงในสมการที่ (4.33)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.1s}{s} - \frac{0.17s}{s+2} + \frac{1.07s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.34)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.1s}{s} + \frac{1.07s}{s+5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.214s}} \quad Y_2 = \frac{0.17s}{s+2} = \frac{1}{5.88 + \frac{1}{0.085s}} \quad (4.35)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้จาก

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2.12s + 1.12}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.36)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.11$, $E = -0.14$, $F = 1.03$ แทนลงในสมการที่ (4.36)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.11s}{s} - \frac{0.14s}{s+2} + \frac{1.03s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.37)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_5 = \frac{0.14s}{s+2} = \frac{1}{7.14 + \frac{1}{0.07s}} \quad Y_6 = \frac{0.11s}{s} + \frac{1.03s}{s+5} = \frac{1}{9.09} + \frac{1}{0.97 + \frac{1}{0.206s}} \quad (4.38)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้จาก

$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.01s}{s} - \frac{0.04s}{s+5} + \frac{0.03s}{s+2} \quad (4.39)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.03s}{s+2} = \frac{1}{100} + \frac{1}{33.33 + \frac{1}{0.015s}} \quad Y_4 = \frac{0.04s}{s+5} = \frac{1}{25 + \frac{1}{0.008s}} \quad (4.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 , และ Y_6 สามารถสรุบทงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.10

4.2.4 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ -3 dB

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท่า/ทางขนาดแบบเชิงเสถียรชนิดอัตราการขยายสูงที่ -3 dB ที่ได้จากการประมาณ/โดยใช้ขั้นตอนการอันดับที่สามของเบิรอสโตนสแตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.41)

$$H(s)_{-3dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{3.1390s^3 + 8.4203s^2 + 7.5053s + 2.2222} \quad (4.41)$$

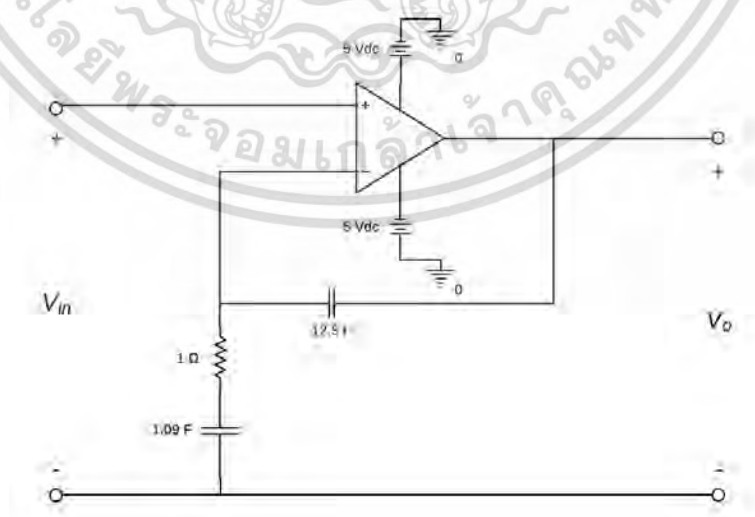
จะได้

$$H_1(s) = \frac{s+1}{s+0.92} \quad H_2(s) = \frac{s^2+2s+1}{1.41s^2+2.46s+1.07} \quad (4.42)$$

พิจารณา $H_1(s)$ จะได้

$$a = 1, b = 0.92, K = 1 \quad (4.43)$$

ดังนั้น $H_1(s)$ จากสมการที่ (4.42) สามารถสรุบทงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 วงจรอัตราการขยายที่ -3 dB (สมการอันดับ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ท

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2s + 1}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.44)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.1$, $B = -0.17$, $C = 1.07$ แทนลงในสมการที่ (4.44)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.1s}{s} - \frac{0.17s}{s+2} + \frac{1.07s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.45)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_1 = \frac{0.1s}{s} + \frac{1.07s}{s+5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.214s}} \quad Y_2 = \frac{0.17s}{s+2} = \frac{1}{5.88 + \frac{1}{0.085s}} \quad (4.46)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้&ท

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{1.41s^2 + 2.46s + 1.07}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.47)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.11$, $E = -0.3$, $F = 1.6$ แทนลงในสมการที่ (4.47)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.11s}{s} - \frac{0.3s}{s+2} + \frac{1.6s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.48)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_5 = \frac{0.3s}{s+2} = \frac{1}{3.33 + \frac{1}{0.15s}} \quad Y_6 = \frac{0.11s}{s} + \frac{1.6s}{s+5} = \frac{1}{9.09} + \frac{1}{0.625 + \frac{1}{0.32s}} \quad (4.49)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้&ท

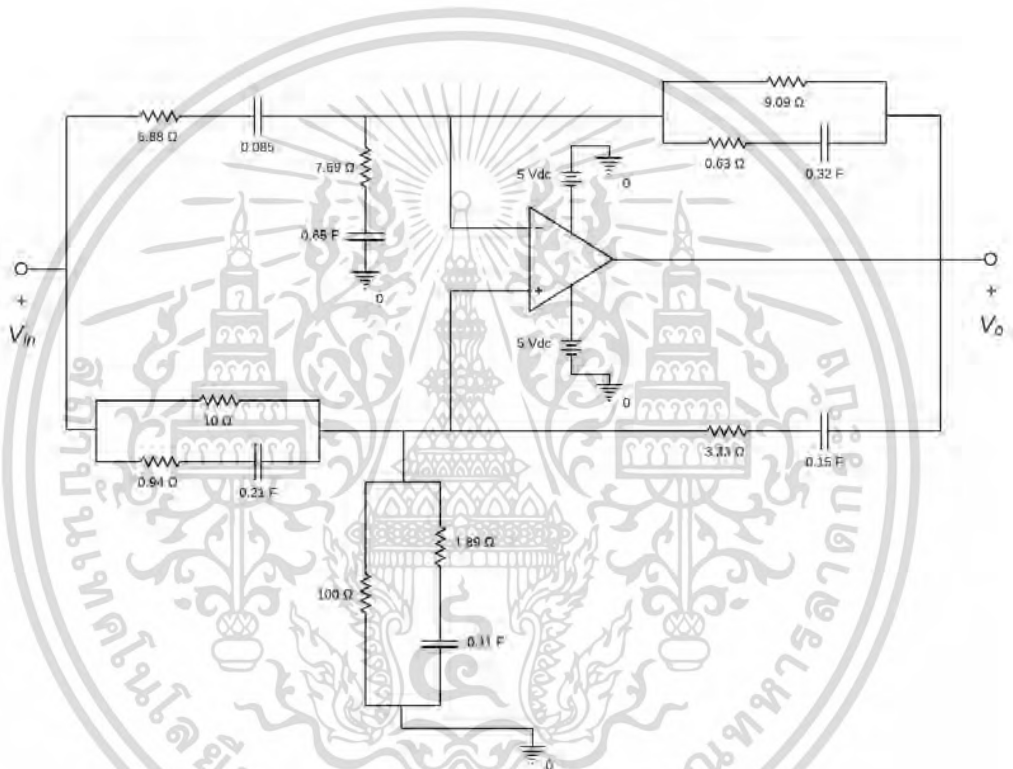
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.53s}{s+5} - \frac{0.13s}{s+2} \quad (4.50)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.53s}{s+5} = \frac{1}{100} + \frac{1}{1.89 + \frac{1}{0.106s}} \quad Y_4 = \frac{0.13s}{s+2} = \frac{1}{7.69 + \frac{1}{0.65s}} \quad (4.51)$$

จาก $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5,$ และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรอัตราขยายที่ -3 dB (สมการอันดับ 2)

4.2.5 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ -2 dB

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ -2 dB ที่ได้ออกมาจากการประมาณค่าโดยใช้อัตราอันดับที่สามของเบิรอสเตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.52)

$$H(s)_{-2dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{2.7976s^3 + 7.7841s^2 + 7.2092s + 2.2222} \quad (4.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

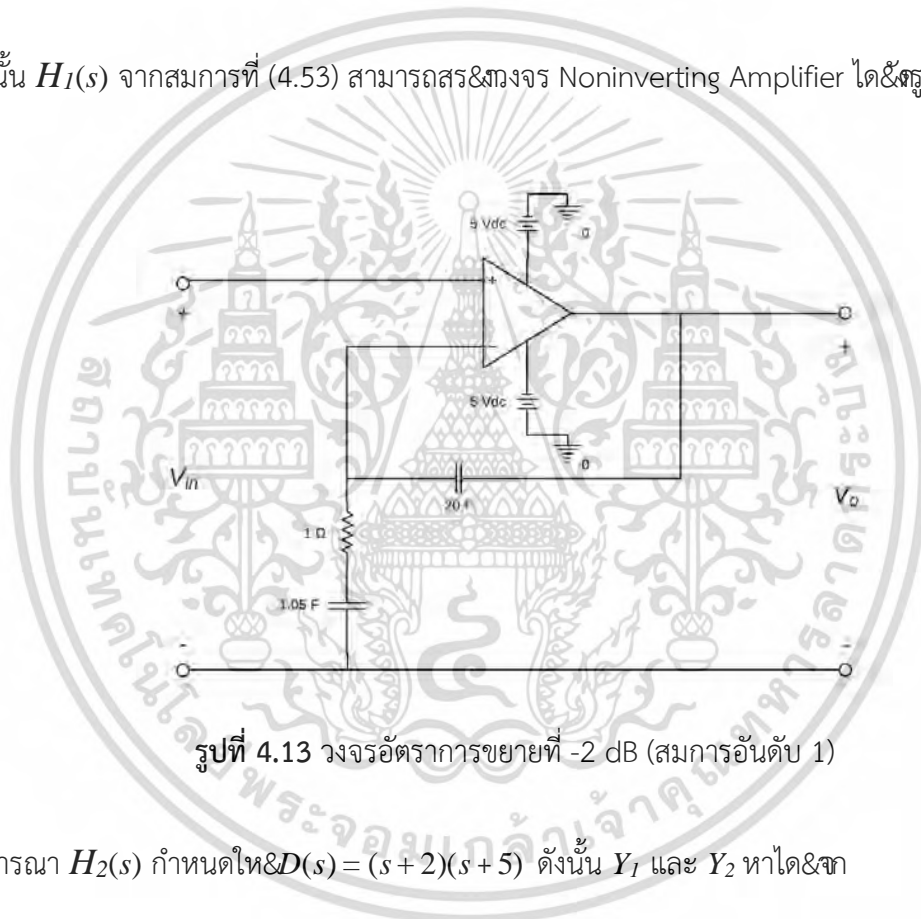
จะได้

$$H_1(s) = \frac{s+1}{s+0.95} \quad H_2(s) = \frac{s^2+2s+1}{1.26s^2+2.31s+1.06} \quad (4.53)$$

พิจารณา $H_1(s)$ จะได้

$$a = 1, b = 0.95, K = 1 \quad (4.54)$$

ดังนั้น $H_1(s)$ จากสมการที่ (4.53) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 วงจรอัตราขยายที่ -2 dB (สมการอันดับ 1)

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้จาก

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2+2s+1}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.55)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.1, B = -0.17, C = 1.07$ แทนลงในสมการที่ (4.55)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.1s}{s} - \frac{0.17s}{s+2} + \frac{1.07s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.56)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.1s}{s} + \frac{1.07s}{s+5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.214s}} \quad Y_2 = \frac{0.17s}{s+2} = \frac{1}{5.88 + \frac{1}{0.085s}} \quad (4.57)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{1.26s^2 + 2.31s + 1.06}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.58)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.11$, $E = -0.25$, $F = 1.4$ แทนลงในสมการที่ (4.58)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.11s}{s} - \frac{0.25s}{s+2} + \frac{1.4s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.59)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_5 = \frac{0.25s}{s+2} = \frac{1}{4 + \frac{1}{0.125s}} \quad Y_6 = \frac{0.11s}{s} + \frac{1.4s}{s+5} = \frac{1}{9.09} + \frac{1}{0.71 + \frac{1}{0.28s}} \quad (4.60)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้

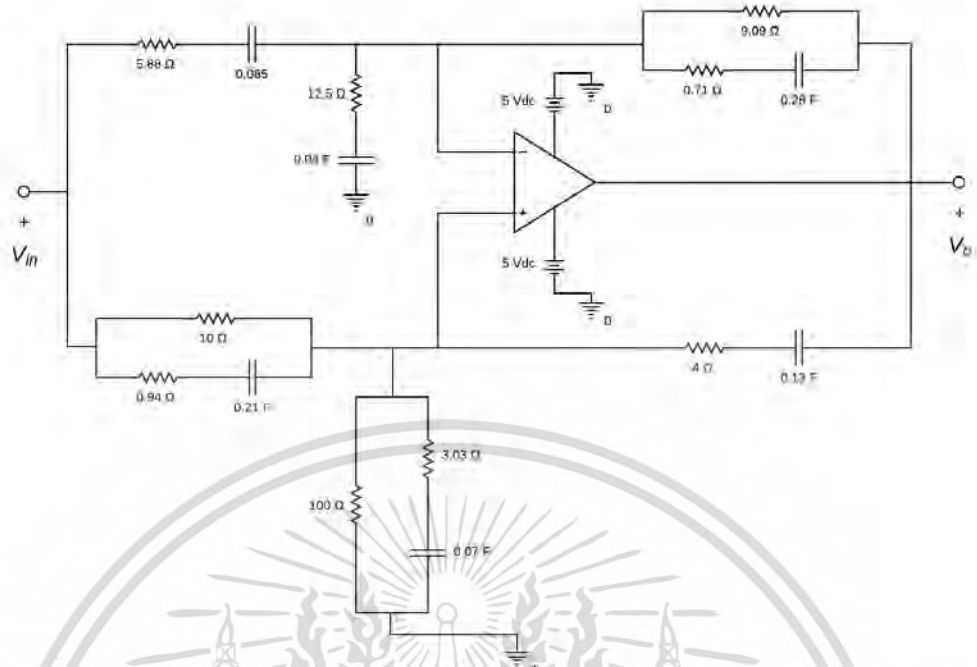
$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.33s}{s+5} - \frac{0.08s}{s+2} \quad (4.61)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.33s}{s+5} = \frac{1}{100} + \frac{1}{3.03 + \frac{1}{0.066s}} \quad Y_4 = \frac{0.08s}{s+2} = \frac{1}{12.5 + \frac{1}{0.04s}} \quad (4.62)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5,$ และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 วงจรอัตราขยายที่ -2 dB (สมการอันดับ 2)

4.2.6 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ -1 dB

จากฟังก์ชัน/ขโณนของวงจรปรับเท่า/ทางขนาดแบบเชิงเสถียรอัตราขยายสูงที่ -1 dB ที่ได้ออกมาการประมาณ/โดยใช้ขั้นตอนการอันดับที่สามของเบิรชเตินสแตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.63)

$$H(s)_{-1dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{2.4934s^3 + 7.2011s^2 + 6.9301s + 2.2222} \quad (4.63)$$

จะได้

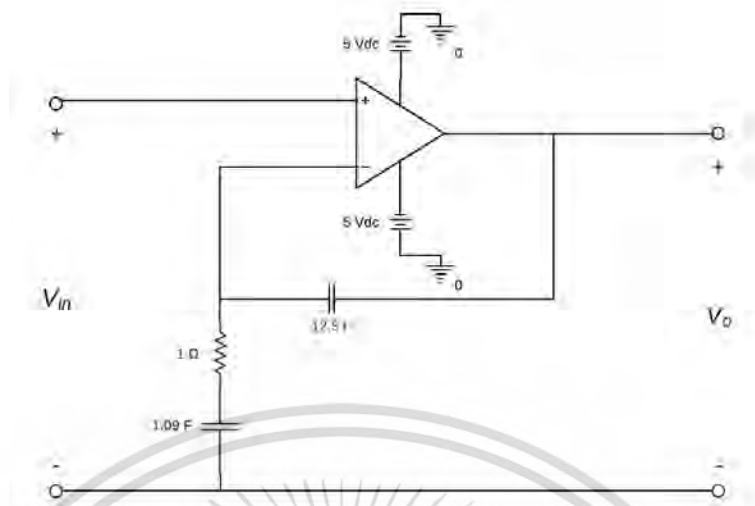
$$H_1(s) = \frac{s + 1}{s + 0.92} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 2s + 1}{1.12s^2 + 2.01s + 1.09} \quad (4.64)$$

พิจารณา $H_1(s)$ จะได้

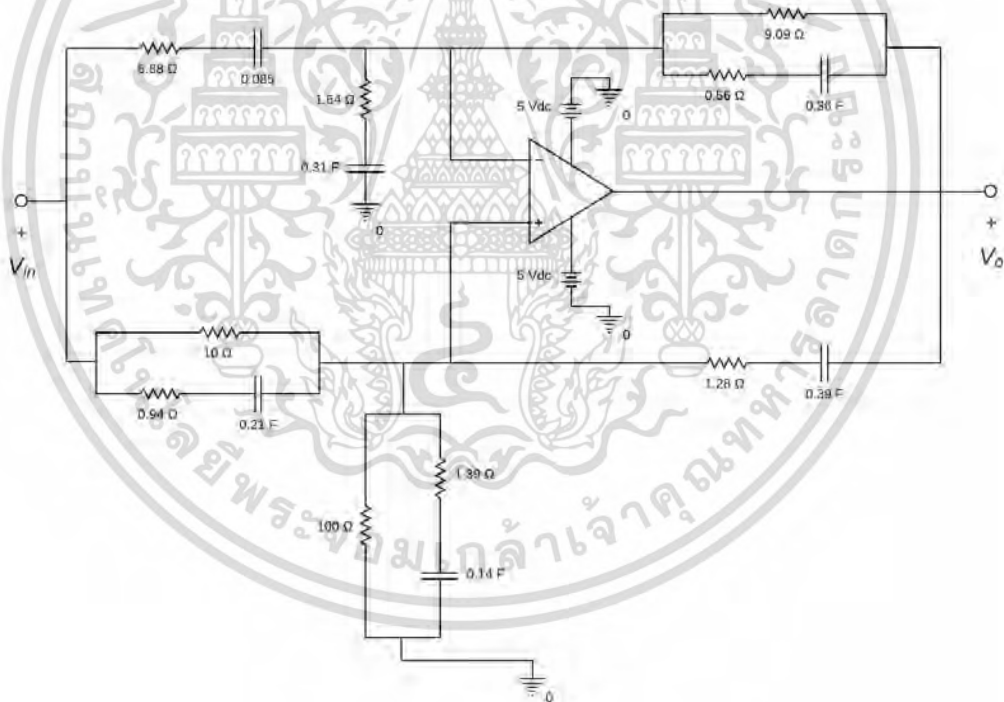
$$a = 1, b = 0.92, K = 1 \quad (4.65)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $H_I(s)$ จากสมการที่ (4.64) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 1)



รูปที่ 4.16 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 2)

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s + 2)(s + 5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ท

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2s + 1}{s(s + 2)(s + 5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s + 2} + \frac{C}{s + 5} \quad (4.66)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เอกรสิทธิ์เท่านั้น ไม่ให้ผู้ยัดค้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.1$, $B = -0.17$, $C = 1.07$ แทนลงในสมการที่ (4.66)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.1s}{s} - \frac{0.17s}{s+2} + \frac{1.07s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.67)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.1s}{s} + \frac{1.07s}{s+5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.214s}} \quad Y_2 = \frac{0.17s}{s+2} = \frac{1}{5.88 + \frac{1}{0.085s}} \quad (4.68)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้จาก

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{1.12s^2 + 2.01s + 1.09}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.69)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.11$, $E = -0.78$, $F = 1.79$ แทนลงในสมการที่ (4.69)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.11s}{s} - \frac{0.78s}{s+2} + \frac{1.79s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.70)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_5 = \frac{0.78s}{s+2} = \frac{1}{1.28 + \frac{1}{0.39s}} \quad Y_6 = \frac{0.11s}{s} + \frac{1.79s}{s+5} = \frac{1}{9.09} + \frac{1}{0.56 + \frac{1}{0.358s}} \quad (4.71)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้จาก

$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.72s}{s+5} - \frac{0.61s}{s+2} \quad (4.72)$$

ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_3 = \frac{0.01s}{s} + \frac{0.72s}{s+5} = \frac{1}{100} + \frac{1}{1.39 + \frac{1}{0.144s}} \quad Y_4 = \frac{0.61s}{s+2} = \frac{1}{1.64 + \frac{1}{0.305s}} \quad (4.73)$$

จาก $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5,$ และ Y_6 สามารถสรุบทงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.16

4.3 การออกแบบโดยใช้ตัวดำเนินการแบบควิ-เบิร์นสไตน์-สแตนคู

4.3.1 การออกแบบวงจรรีบเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ +3 dB

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรรีบเท่า/ทางขนาดแบบเชิงที่ +3 dB ที่ได้มาจากการประมาณค/โดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของควิ-เบิร์นสไตน์-สแตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.74)

$$H(s)_{+3dB} = \frac{1.9685s^3 + 6.1491s^2 + 6.4027s + 2.2222}{1.3935s^3 + 4.3410s^2 + 5.0156s + 2.2222} \quad (4.74)$$

จะได้

$$H_1(s) = 2 \frac{s + 0.89}{s + 1.28} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 1.83s + 0.84}{s^2 + 1.54s + 1.17} \quad (4.75)$$

พิจารณา $H_1(s)$ สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

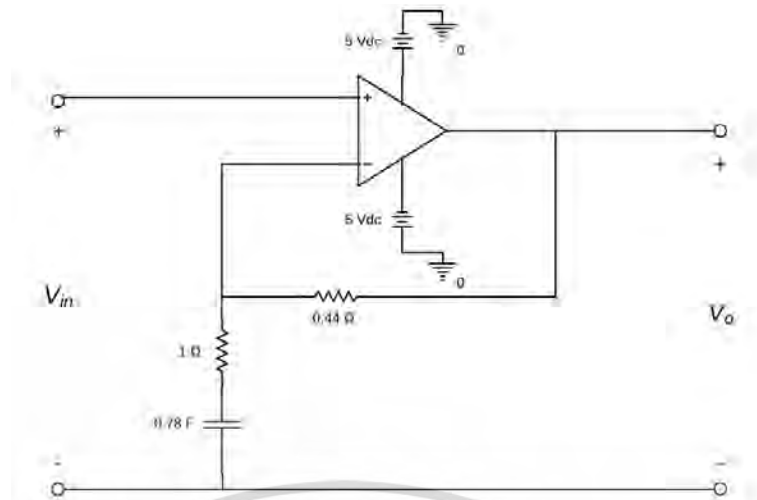
$$H_1(s) = \frac{2}{1.45} \left(1.45 \frac{s + 0.89}{s + 1.28} \right) \quad (4.76)$$

ดังนั้นจะได้

$$a = 0.89, b = 1.28, K = b/a = 1.45 \quad (4.77)$$

ในวงเล็บของสมการที่ (4.76) สามารถสรุบทงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

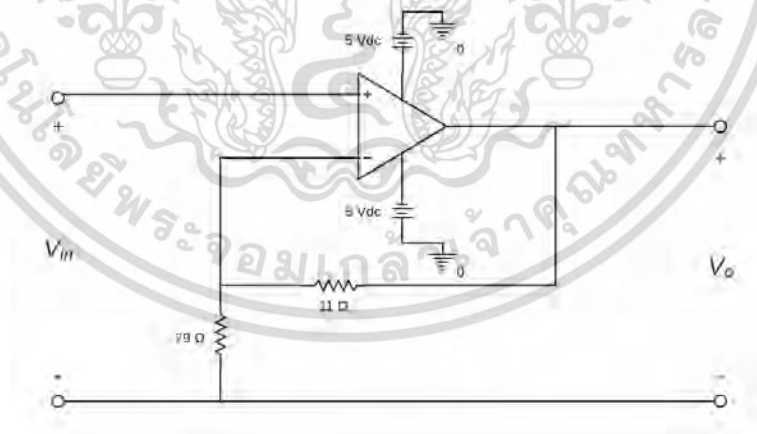


รูปที่ 4.17 วงจรอัตรากาขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1

ทำการจัดรูปค/ตงที่ในสมการที่ (4.76)

$$1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{2}{1.45} = 1 + \frac{11}{29} \quad (4.78)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4.78) สามารถสร้งวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 วงจรอัตรากาขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ทก

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 1.83s + 0.84}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.79)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวงนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.08$, $B = -0.19$, $C = 1.11$ แทนลงในสมการที่ (4.79)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.08s}{s} - \frac{0.19s}{s+2} + \frac{1.11s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.80)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.08s}{s} + \frac{1.11s}{s+5} = \frac{1}{12.5} + \frac{1}{0.9 + \frac{1}{0.22s}} \quad Y_2 = \frac{0.19s}{s+2} = \frac{1}{5.26 + \frac{1}{0.095s}} \quad (4.81)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้จาก

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 1.54s + 1.17}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.82)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.12$, $E = -1.06$, $F = 1.94$ แทนลงในสมการที่ (4.82)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.12s}{s} - \frac{1.06s}{s+2} + \frac{1.94s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.83)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_5 = \frac{1.06s}{s+2} = \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.53s}} \quad Y_6 = \frac{0.12s}{s} + \frac{1.94s}{s+5} = \frac{1}{8.33} + \frac{1}{0.52 + \frac{1}{0.388s}} \quad (4.84)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้จาก

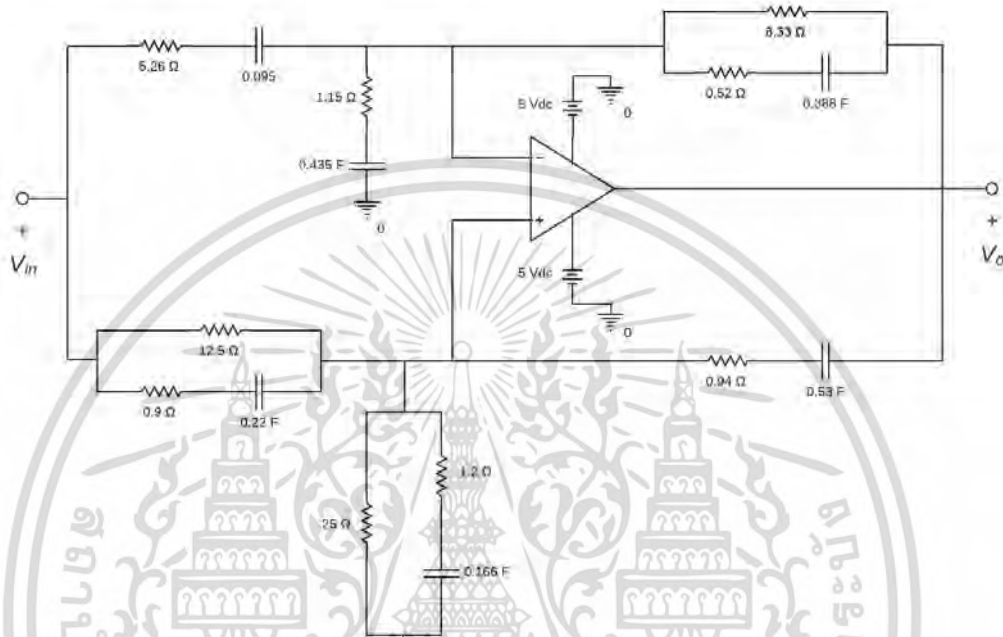
$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.04s}{s} - \frac{0.87s}{s+2} + \frac{0.83s}{s+5} \quad (4.85)$$

ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_3 = \frac{0.04s}{s} + \frac{0.83s}{s+5} = \frac{1}{25} + \frac{1}{1.2 + \frac{1}{0.166s}} \quad Y_4 = \frac{0.87s}{s+2} = \frac{1}{1.15 + \frac{1}{0.435s}} \quad (4.86)$$

จาก $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5,$ และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 วงจรอัตราขยายที่ +3 dB (สมการอันดับ 2)

4.3.2 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ +2 dB

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ +2 dB ที่ได้มาจากการประมาณค่าโดยใช้อัตราการอันดับที่สามของคิวิ-เบิร์ตสไตน์สแตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.87)

$$H(s)_{+2dB} = \frac{1.4378s^3 + 4.9870s^2 + 5.7660s + 2.2222}{1.1420s^3 + 3.9165s^2 + 4.8579s + 2.2222} \quad (4.87)$$

จะได้

$$H_1(s) = 2 \frac{s+1}{s+1.35} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 2s + 1}{s^2 + 1.88s + 1.48} \quad (4.88)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา $H_1(s)$ สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$H_1(s) = \frac{2}{1.35} \left(1.35 \frac{s+1}{s+1.35} \right) \quad (4.89)$$

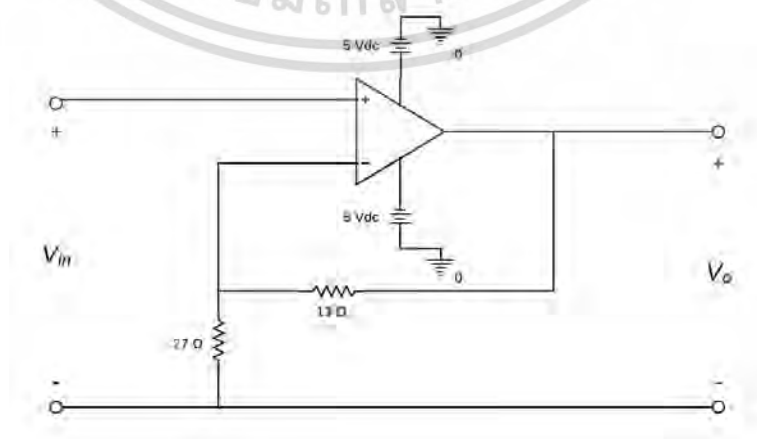
ดังนั้นจะได้

$$a = 1, b = 1.35, K = b/a = 1.35 \quad (4.90)$$

ในวงเล็บของสมการที่ (4.89) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 วงจรอัตราขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1



รูปที่ 4.21 วงจรอัตราขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการจัดรูป/คงที่ในสมการที่ (4.89)

$$1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{2}{1.35} = 1 + \frac{13}{27} \quad (4.91)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4.78) สามารถสรุบทงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.21

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้ดัง

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2s + 1}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.92)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.1$, $B = -0.17$, $C = 1.07$ แทนลงในสมการที่ (4.92)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.1s}{s} - \frac{0.17s}{s+2} + \frac{1.07s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.93)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.1s}{s} + \frac{1.07s}{s+5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{0.94 + \frac{1}{0.214s}} \quad Y_2 = \frac{0.17s}{s+2} = \frac{1}{5.88 + \frac{1}{0.085s}} \quad (4.94)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้ดัง

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 1.88s + 1.48}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.95)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.15$, $E = -0.29$, $F = 1.14$ แทนลงในสมการที่ (4.95)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.15s}{s} - \frac{0.29s}{s+2} + \frac{1.14s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.96)$$

ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_5 = \frac{0.29s}{s+2} = \frac{1}{3.45 + \frac{1}{0.145s}} \quad Y_6 = \frac{0.15s}{s} + \frac{1.14s}{s+5} = \frac{1}{6.67} + \frac{1}{0.88 + \frac{1}{0.228s}} \quad (4.97)$$

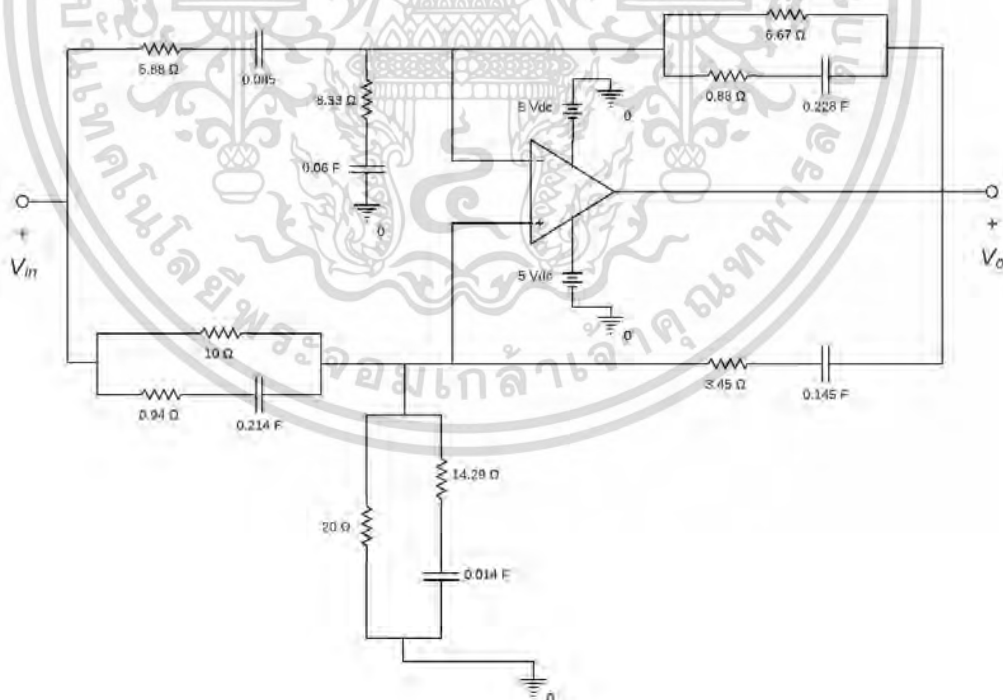
หา Y_3 และ Y_4 ได้&ขา

$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.05s}{s} + \frac{0.07s}{s+5} - \frac{0.12s}{s+2} \quad (4.98)$$

ดังนั้นจะได&

$$Y_3 = \frac{0.05s}{s} + \frac{0.07s}{s+5} = \frac{1}{20} + \frac{1}{14.29 + \frac{1}{0.014s}} \quad Y_4 = \frac{0.12s}{s+2} = \frac{1}{8.33 + \frac{1}{0.06s}} \quad (4.99)$$

จาก $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5,$ และ Y_6 สามารถสร&วงจรแบบ Single Amplifier ได้&รูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 วงจรอัตรการขยายที่ +2 dB (สมการอันดับ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ +1 dB

จากฟังก์ชัน/ขโณของวงจรปรับเท่า/ทางขนาดแบบเชิงเส&ชนิดอัตราขยายสูงที่ +1 dB ที่ได้&จากการประมาณค/&โดยใช้&ดำเนินการอันดับที่สามของคิ&เว&ร์&ส&ไ&น&ส&แต&น&คู&โ&พลี&โน&เมีย&ล แสดงดังสมการที่ (4.100)

$$H(s)_{+1dB} = \frac{1.1809s^3 + 4.3740s^2 + 5.4000s + 2.2222}{1.0526s^3 + 3.8598s^2 + 4.9419s + 2.2222} \quad (4.100)$$

จะได้&

$$H_1(s) = 2 \frac{s + 1.08}{s + 1.44} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 2.25s + 1.27}{s^2 + 2.29s + 1.88} \quad (4.101)$$

พิจารณา $H_1(s)$ สามารถจัดรูปใหม่ได้&Pน

$$H_1(s) = \frac{2}{1.33} \left(1.33 \frac{s + 1.08}{s + 1.44} \right) \quad (4.102)$$

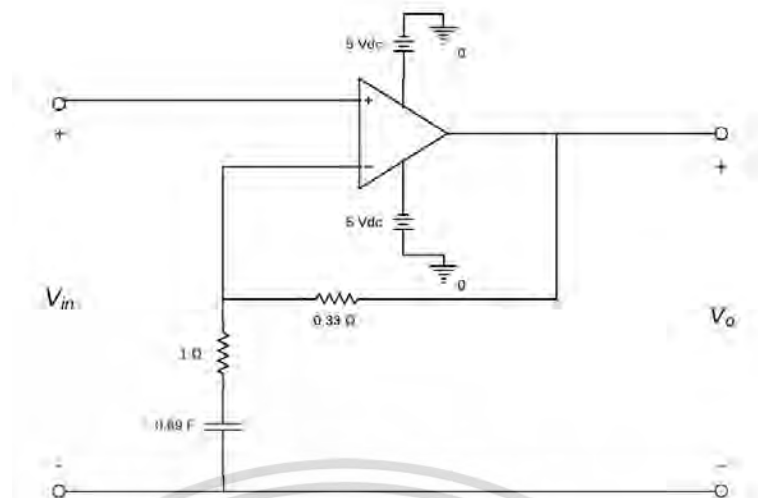
ดังนั้นจะได้&

$$a = 1.08, b = 1.44, K = b/a = 1.33 \quad (4.103)$$

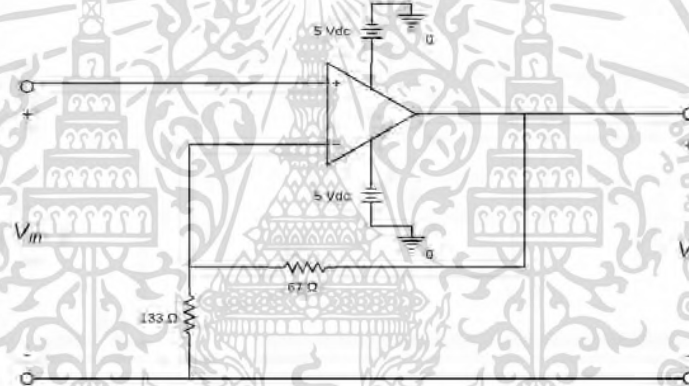
ในวงเล็บของสมการที่ (4.102) สามารถสร&วงจร Noninverting Amplifier ได้&รูปที่ 4.23 เมื่อทำการจัดรูปค/&ทงที่ในสมการที่ (4.102)

$$1 + \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = \frac{2}{1.33} = 1 + \frac{67}{133} \quad (4.104)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4.104) สามารถสร&วงจร Noninverting Amplifier ได้&รูปที่ 4.24



รูปที่ 4.23 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 1



รูปที่ 4.24 วงจรอัตราขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 1) วงจรที่ 2

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&จก

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2.25s + 1.27}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.105)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.13$, $B = -0.13$, $C = 1$ แทนลงในสมการที่ (4.105)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.13s}{s} - \frac{0.13s}{s+2} + \frac{s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.106)$$

ดังนั้นจะได้& เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_1 = \frac{0.13s}{s} + \frac{s}{s+5} = \frac{1}{7.69} + \frac{1}{1 + \frac{1}{0.2s}} \quad Y_2 = \frac{0.13s}{s+2} = \frac{1}{7.69 + \frac{1}{0.065s}} \quad (4.107)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้&ท

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2.29s + 1.88}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.108)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.19$, $E = -0.22$, $F = 1.03$ แทนลงในสมการที่ (4.108)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.19s}{s} - \frac{0.22s}{s+2} + \frac{1.03s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.109)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_5 = \frac{0.22s}{s+2} = \frac{1}{4.55 + \frac{1}{0.11s}} \quad Y_6 = \frac{0.19s}{s} + \frac{1.03s}{s+5} = \frac{1}{5.26} + \frac{1}{0.1 + \frac{1}{0.206s}} \quad (4.110)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้&ท

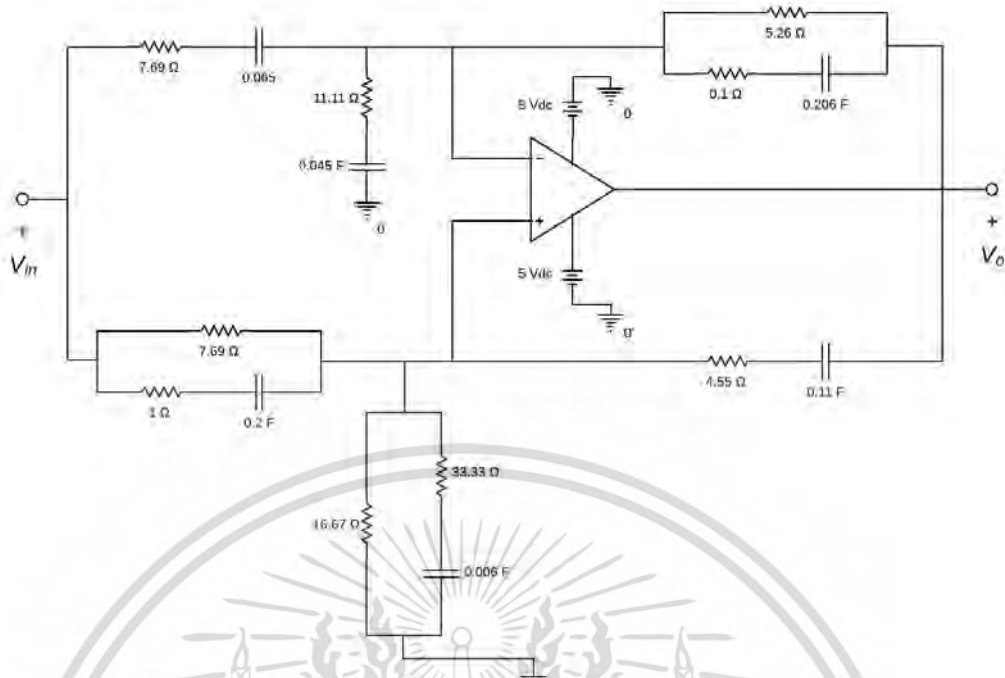
$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.06s}{s} + \frac{0.03s}{s+5} - \frac{0.09s}{s+2} \quad (4.111)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_3 = \frac{0.06s}{s} + \frac{0.03s}{s+5} = \frac{1}{16.67} + \frac{1}{33.33 + \frac{1}{0.006s}} \quad Y_4 = \frac{0.09s}{s+2} = \frac{1}{11.11 + \frac{1}{0.045s}} \quad (4.112)$$

จาก Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 , Y_5 , และ Y_6 สามารถสร&ทวงจรแบบ Single Amplifier ได้&รูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 วงจรอัตรการขยายที่ +1 dB (สมการอันดับ 2)

4.3.4 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ -3 dB

จากฟังก์ชัน/ขโณนของวงจรปรับเท่า/ทางขนาดแบบเชิงเส&ชนิดอัตรการขยายสูงที่ -3 dB ที่ได&จากการประมาณค&โดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของคิว-เบริ&สโตน&สแต&นคูโพลีโนเมียลแสดงดังสมการที่ (4.113)

$$H(s)_{-3dB} = \frac{0.7807s^3 + 3.3191s^2 + 4.7040s + 2.2222}{1.1027s^3 + 5.0700s^2 + 6.2226s + 2.2222} \quad (4.113)$$

จะได้&

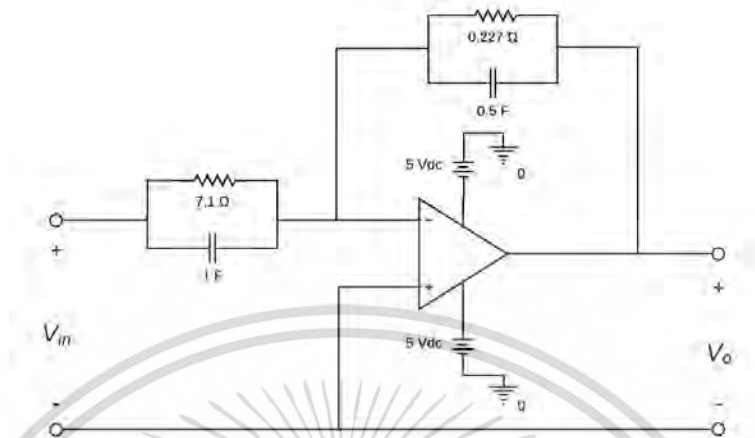
$$H_1(s) = 2 \frac{s + 1.4}{s + 8.81} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 3s + 2.26}{s^2 + 1.67s + 0.72} \quad (4.114)$$

พิจารณา $H_1(s)$ จะได้&

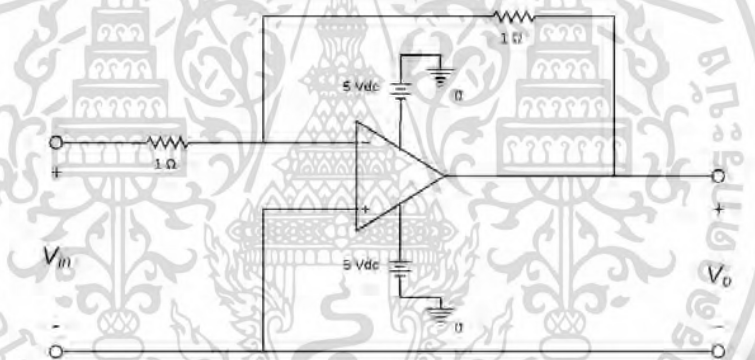
$$a = 1.4, b = 8.81, K = 2 \quad (4.115)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $H_I(s)$ จากสมการที่ (4.42) สามารถสร้างวงจร Inverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.26 และเนื่องจาก K มีค/ขพบวก จึงต้องทำการเพิ่มวงจร Unity-Gain Sign Inversion ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 วงจรอัตราการขยายที่ -3 dB (สมการอันดับ 1)



รูปที่ 4.27 วงจร Unity-Gain Sign Inversion

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ขก

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 3s + 2.26}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.116)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.23$, $B = -0.05$, $C = 0.82$ แทนลงในสมการที่ (4.116)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.23s}{s} - \frac{0.05s}{s+2} + \frac{0.82s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.117)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.23s}{s} + \frac{0.82s}{s+5} = \frac{1}{4.35} + \frac{1}{1.23 + \frac{1}{0.164s}} \quad Y_2 = \frac{0.05s}{s+2} = \frac{1}{20 + \frac{1}{0.025s}} \quad (4.118)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 1.67s + 0.72}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.119)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.07$, $E = -0.23$, $F = 1.16$ แทนลงในสมการที่ (4.108)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.07s}{s} - \frac{0.23s}{s+2} + \frac{1.16s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.120)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_5 = \frac{0.23s}{s+2} = \frac{1}{4.35 + \frac{1}{0.115s}} \quad Y_6 = \frac{0.07s}{s} + \frac{1.16s}{s+5} = \frac{1}{14.29} + \frac{1}{0.86 + \frac{1}{0.232s}} \quad (4.121)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้

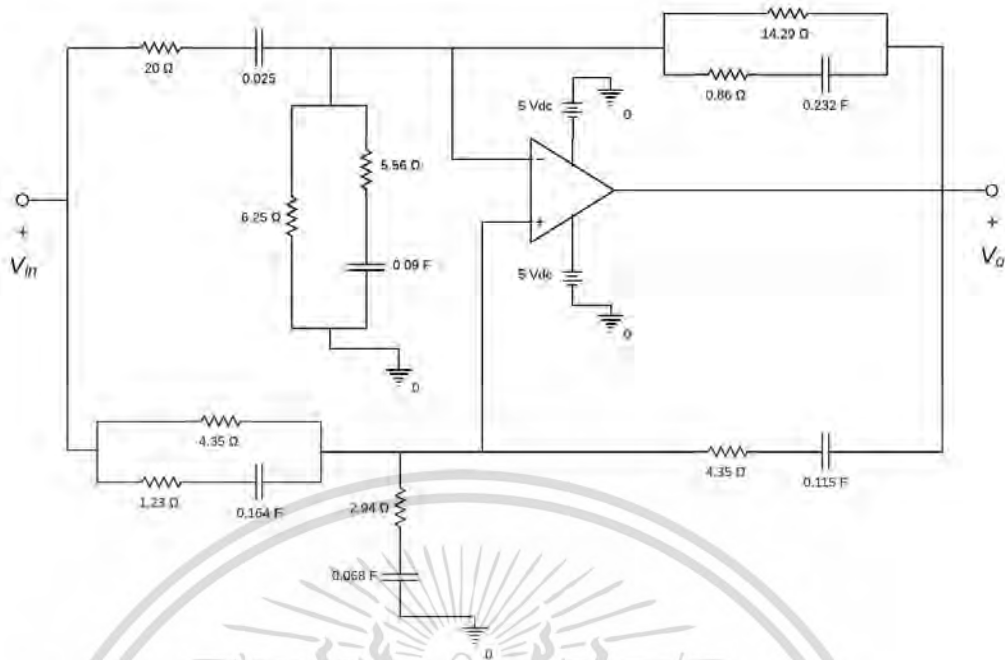
$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = -\frac{0.16s}{s} + \frac{0.34s}{s+5} - \frac{0.18s}{s+2} \quad (4.122)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.34s}{s+5} = \frac{1}{2.94 + \frac{1}{0.068s}} \quad Y_4 = \frac{0.16s}{s} + \frac{0.18s}{s+2} = \frac{1}{6.25} + \frac{1}{5.56 + \frac{1}{0.09s}} \quad (4.123)$$

จาก Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 , Y_5 , และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 วงจรอัตราขยายที่ -3 dB (สมการอันดับ 2)

4.3.5 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ -2 dB

จากฟังก์ชัน/ขโณนของวงจรปรับเท่า/ทางขนาดแบบเชิงเสถียรอัตราขยายสูงที่ -2 dB ที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของคิว-เบริสสไตน์ 8 แตนคูลิโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.124)

$$H(s)_{-2dB} = \frac{0.8381s^3 + 3.4800s^2 + 4.8167s + 2.2222}{1.0551s^3 + 4.5515s^2 + 5.7733s + 2.2222} \tag{4.124}$$

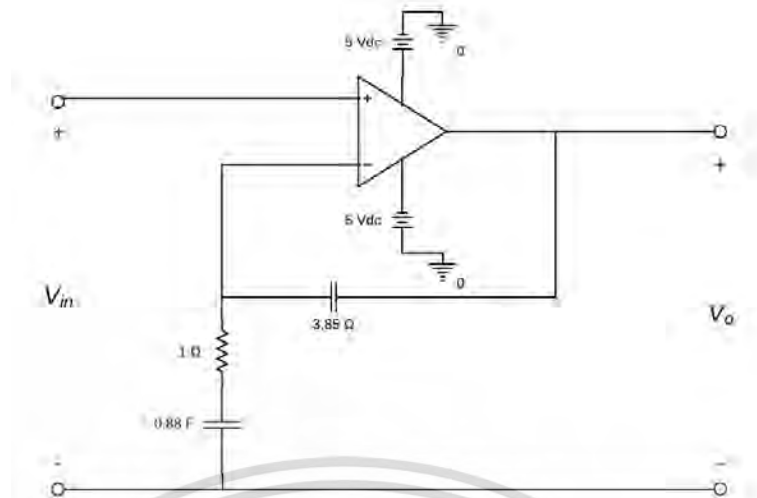
จะได้

$$H_1(s) = \frac{s + 1.4}{s + 1.14} \qquad H_2(s) = \frac{s^2 + 3s + 2.26}{0.5s^2 + 3.51s + 2.77} \tag{4.125}$$

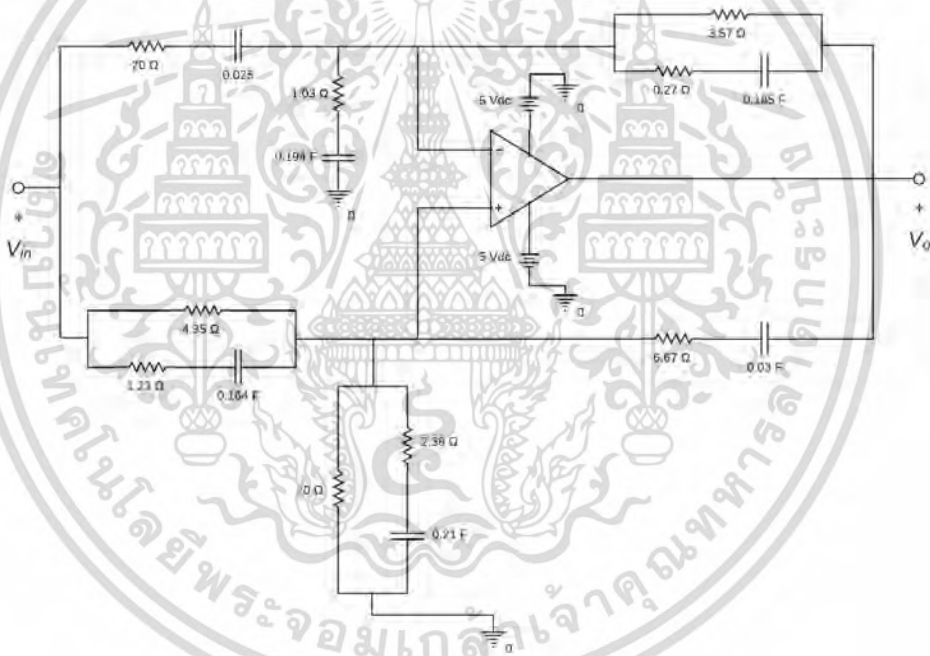
พิจารณา $H_1(s)$ จะได้

$$a = 1.4, b = 1.14, K = 1 \tag{4.126}$$

ดังนั้น $H_1(s)$ จากสมการที่ (4.125) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.29 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 วงจรอัตราขยายที่ -2 dB (สมการอันดับ 1)



รูปที่ 4.30 วงจรอัตราขยายที่ -2 dB (สมการอันดับ 2).

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s + 2)(s + 5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ท

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 3s + 2.26}{s(s + 2)(s + 5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s + 2} + \frac{C}{s + 5} \tag{4.127}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.23$, $B = -0.05$, $C = 0.82$ แทนลงในสมการที่ (4.127)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.23s}{s} - \frac{0.05s}{s+2} + \frac{0.82s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.128)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_1 = \frac{0.23s}{s} + \frac{0.82s}{s+5} = \frac{1}{4.35} + \frac{1}{1.23 + \frac{1}{0.164s}} \quad Y_2 = \frac{0.05s}{s+2} = \frac{1}{20 + \frac{1}{0.025s}} \quad (4.129)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{0.5s^2 + 3.51s + 2.77}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.130)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.28$, $E = 0.37$, $F = -0.15$ แทนลงในสมการที่ (4.130)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.28s}{s} + \frac{0.37s}{s+2} - \frac{0.15s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.131)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_5 = \frac{0.15s}{s+5} = \frac{1}{6.67 + \frac{1}{0.03s}} \quad Y_6 = \frac{0.28s}{s} + \frac{0.37s}{s+2} = \frac{1}{3.57} + \frac{1}{2.7 + \frac{1}{0.185s}} \quad (4.132)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้

$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.05s}{s} - \frac{0.97s}{s+5} + \frac{0.42s}{s+2} \quad (4.133)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.05s}{s} + \frac{0.42s}{s+2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{2.38 + \frac{1}{0.21s}} \quad Y_4 = \frac{0.97s}{s+5} = \frac{1}{1.03 + \frac{1}{0.194s}} \quad (4.134)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 0.21s เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 0.194s ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 , และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.30

4.3.6 การออกแบบวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงที่ -1 dB

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเสถียรชนิดอัตราขยายสูงที่ -1 dB ที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ตัวดำเนินการอันดับที่สามของคิวิ-เบิร์ตสไตน์สแตนคูโพลีโนเมียล แสดงดังสมการที่ (4.135)

$$H(s)_{-1dB} = \frac{0.8990s^3 + 3.6467s^2 + 4.9307s + 2.2222}{1.0087s^3 + 4.1606s^2 + 5.4002s + 2.2222} \quad (4.135)$$

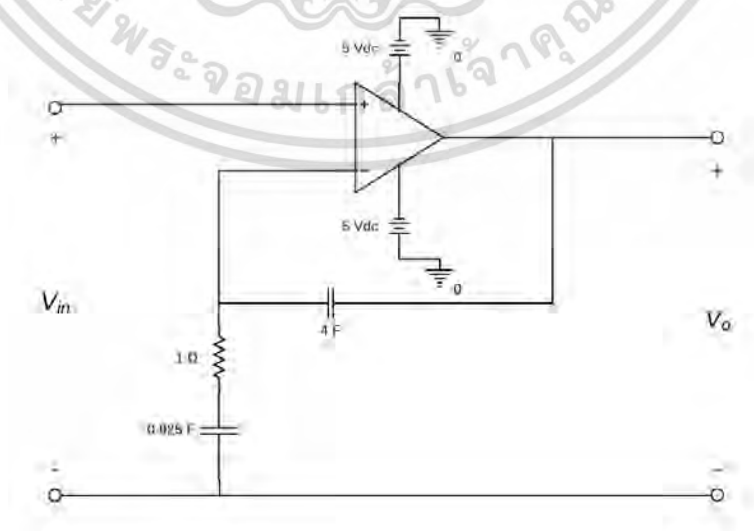
จะได้

$$H_1(s) = \frac{s + 1.33}{s + 1.08} \quad H_2(s) = \frac{s^2 + 2.82s + 1.99}{0.5s^2 + 2.49s + 2.44} \quad (4.136)$$

พิจารณา $H_1(s)$ จะได้

$$a = 1.33, b = 1.08, K = 1 \quad (4.137)$$

ดังนั้น $H_1(s)$ จากสมการที่ (4.136) สามารถสร้างวงจร Noninverting Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา $H_2(s)$ กำหนดให้ $D(s) = (s+2)(s+5)$ ดังนั้น Y_1 และ Y_2 หาได้&ซก

$$\frac{P(s)}{sD(s)} = \frac{s^2 + 2.82s + 1.99}{s(s+2)(s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2} + \frac{C}{s+5} \quad (4.138)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $A = 0.2$, $B = -0.06$, $C = 0.86$ แทนลงในสมการที่ (4.138)

$$\frac{P(s)}{D(s)} = \frac{0.2s}{s} - \frac{0.06s}{s+2} + \frac{0.86s}{s+5} = Y_1 - Y_2 \quad (4.139)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_1 = \frac{0.2s}{s} + \frac{0.86s}{s+5} = \frac{1}{5} + \frac{1}{1.16 + \frac{1}{0.172s}} \quad Y_2 = \frac{0.06s}{s+2} = \frac{1}{16.67 + \frac{1}{0.03s}} \quad (4.140)$$

หา Y_5 และ Y_6 ได้&ซก

$$\frac{Q(s)}{sD(s)} = \frac{0.5s^2 + 2.49s + 2.44}{s(s+2)(s+5)} = \frac{D}{s} + \frac{E}{s+2} + \frac{F}{s+5} \quad (4.141)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $D = 0.24$, $E = 0.1$, $F = 0.16$ แทนลงในสมการที่ (4.141)

$$\frac{Q(s)}{D(s)} = \frac{0.24s}{s} + \frac{0.1s}{s+2} + \frac{0.16s}{s+5} = Y_6 - Y_5 \quad (4.142)$$

ดังนั้นจะได้&

$$Y_5 = 0 \quad Y_6 = \frac{0.24s}{s} + \frac{0.1s}{s+2} + \frac{0.16s}{s+5} = \frac{1}{4.17} + \frac{1}{10 + \frac{1}{0.05s}} + \frac{1}{6.25 + \frac{1}{0.032s}} \quad (4.143)$$

หา Y_3 และ Y_4 ได้&ซก

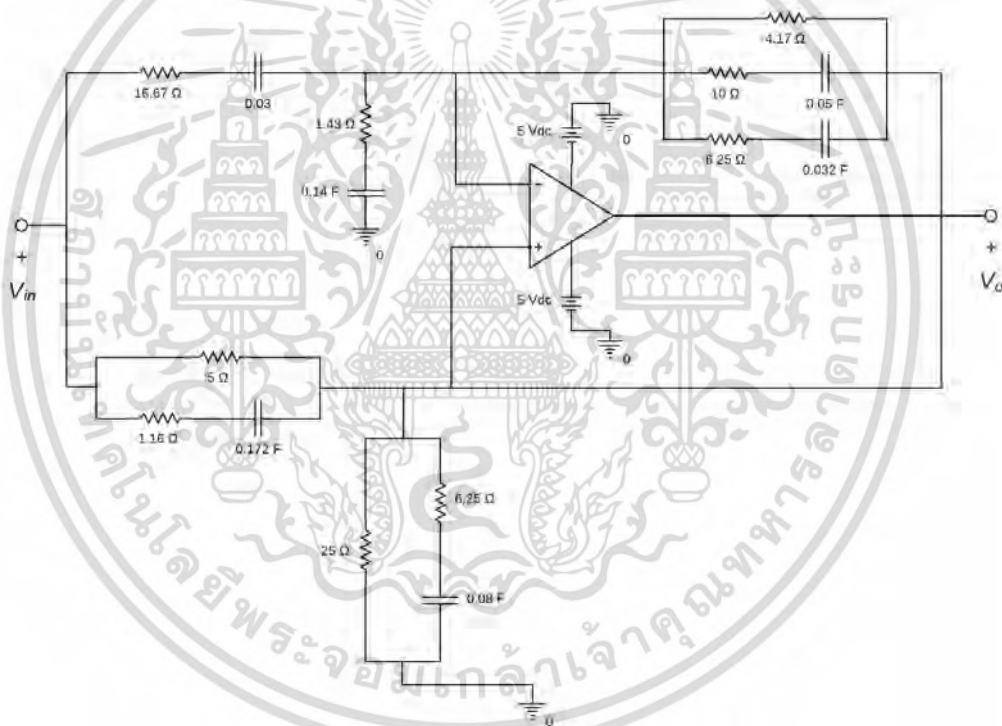
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_3 - Y_4 = \frac{Q(s) - P(s)}{D(s)} = \frac{0.04s}{s} - \frac{0.7s}{s+5} + \frac{0.16s}{s+2} \quad (4.144)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_3 = \frac{0.04s}{s} + \frac{0.16s}{s+2} = \frac{1}{25} + \frac{1}{6.25 + \frac{1}{0.08s}} \quad Y_4 = \frac{0.7s}{s+5} = \frac{1}{1.43 + \frac{1}{0.14s}} \quad (4.145)$$

จาก $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5,$ และ Y_6 สามารถสร้างวงจรแบบ Single Amplifier ได้ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 วงจรอัตราขยายที่ -1 dB (สมการอันดับ 2).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลตอบสนองจากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทำทางขนาดแบบเชิงเส้น

5.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากตัวดำเนินการเบิร์นสไตน์-สแตนคู

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำผลการประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทำทางขนาดแบบเชิงเส้นโดยใช้ตัวดำเนินการเบิร์นสไตน์-สแตนคูโพลีโนเมียลอันดับที่สาม ดังที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 เพื่อแกไขความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณที่มีความถี่ของคลื่นพาหะอยู่ที่ 4.43 MHz ในระบบการส่งสัญญาณโทรทัศนีสที่อัตราการขยาย ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB โดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้ทั้งหมดสามารถแสดงได้อัตนั้

$$H(s)_{+3dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.5732s^3 + 5.3134s^2 + 5.9611s + 2.2222} \quad (5.1)$$

$$H(s)_{+2dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.7652s^3 + 5.7265s^2 + 6.1831s + 2.2222} \quad (5.2)$$

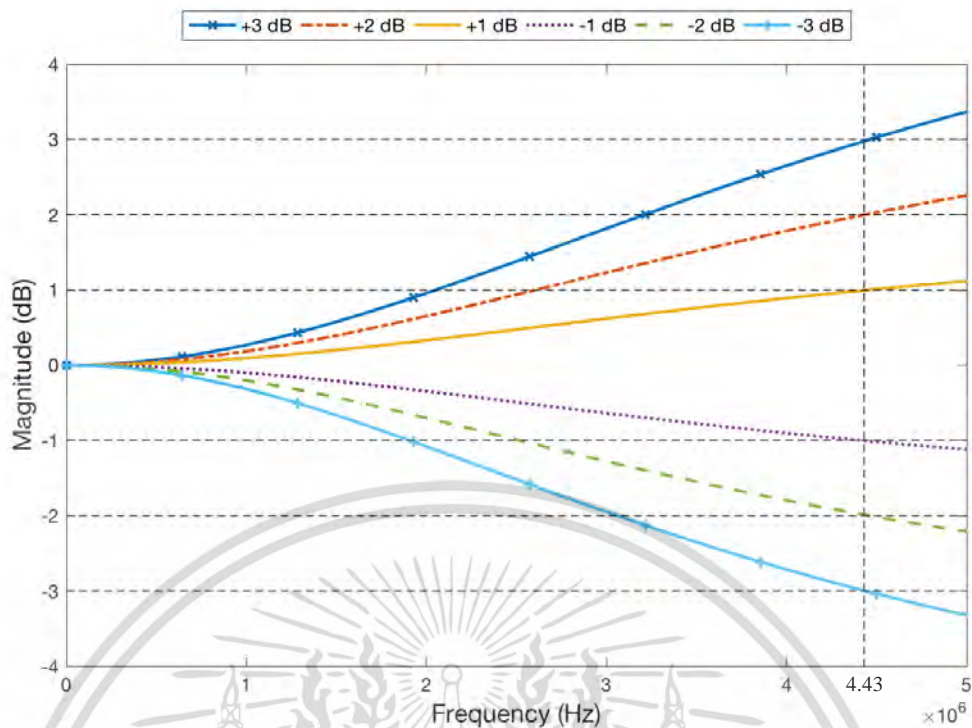
$$H(s)_{+1dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{1.9806s^3 + 6.1764s^2 + 6.4180s + 2.2222} \quad (5.3)$$

$$H(s)_{-3dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{3.1390s^3 + 8.4203s^2 + 7.5053s + 2.2222} \quad (5.4)$$

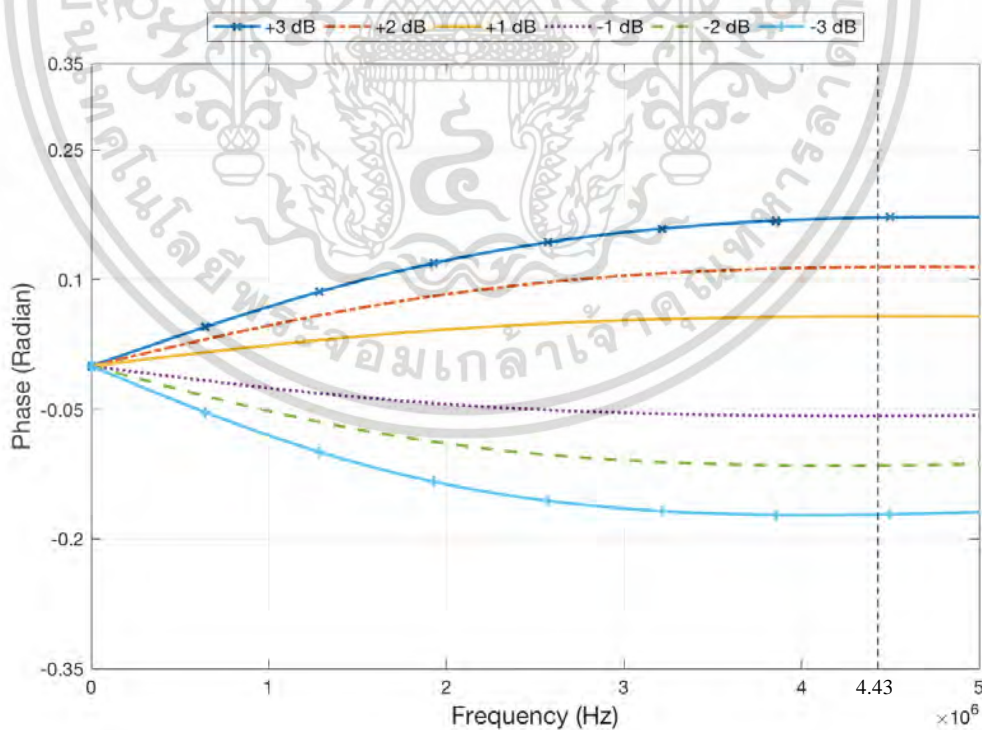
$$H(s)_{-2dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{2.7976s^3 + 7.7841s^2 + 7.2092s + 2.2222} \quad (5.5)$$

$$H(s)_{-1dB} = \frac{2.2222s^3 + 6.6667s^2 + 6.6667s + 2.2222}{2.4934s^3 + 7.2011s^2 + 6.9301s + 2.2222} \quad (5.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



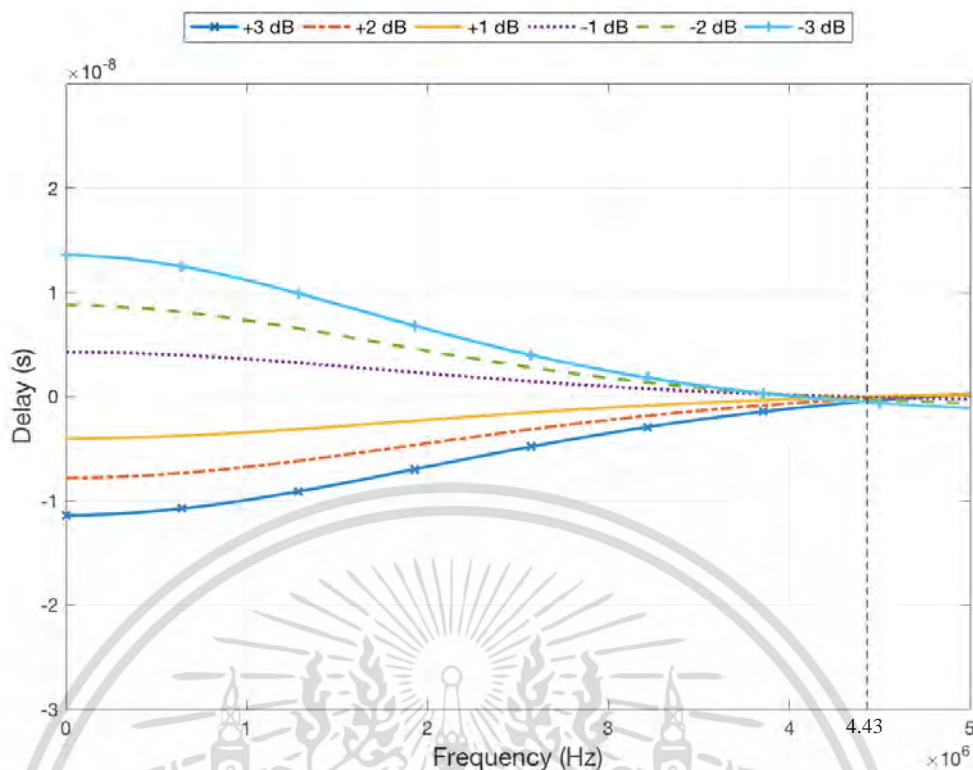
รูปที่ 5.1 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร
ซึ่งได้จกตัวดำเนินการเบิร+สไตน์-สแตนด์คูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB บนความถี่ 4.43 MHz



รูปที่ 5.2 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร

ซึ่งได้จกตัวดำเนินการเบิร+สไตน์-สแตนด์คูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองทางดีเลย์+ของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร
ซึ่งได้มาจากตัวดำเนินการเบิร+สไตน์+สแตนด์คูล์ที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB

เมื่อทำการนอ้ลโลซ+ตามถึ>ของฟงกชันกรย>ไอ>นที่>ได้ตั้ง 6 อัตราการขยาย เพื่อทำการขยายความถี่จาก $\omega = 1$ ไปสู่>ตามถึ>คลื่นพาห>ของสัญญาณสี่ $f_c = 4.43$ MHz โดยที่ $\omega = 2\pi f_c$ จากนั้นทำการพิจารณาผลตอบสนองที่ได้รูปที่ 5.1 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียรซึ่งออกแบบด>ย>วิธีการแบบเบิร+สไตน์+สแตนด์คูล์ที่มีความราบเรียบทางขนาด และมีอัตราการขยายที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB บนความถี่ 4.43 MHz รูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 แสดงผลตอบสนองทางเฟสและ ดีเลย์+ของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียรซึ่งออกแบบด>ย>วิธีการแบบเบิร+สไตน์+สแตนด์คูล์ที่อัตราการขยาย ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความเป็>นเชิงเสถียรของเฟส และดีเลย์+ที่>ได้>มา>ของ>โกล>ด>ค>งที่>ได้>แสดง>ใน>ตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ดีเลย์+ที่>ได้>มา>จาก>ตัว>ดำเนินการ>แบบ>เบิร+สไตน์+สแตนด์คูล์

Gain	Delay	Gain	Delay
+3 dB	-11.42 ns	-3 dB	13.55 ns
+2 dB	-7.813 ns	-2 dB	8.766 ns
+1 dB	-4.017 ns	-1 dB	4.255 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากตัวดำเนินการคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู

นอกจากนี้ ในวิทยานิพนธ์ยังได้นำเสนออีกวิธีการในการประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเส้นโดยใช้ตัวดำเนินการคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคูโพลีโนเมียลอันดับที่สาม ดังที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 เพื่อแก้ความผิดพลาดทางขนาดของสัญญาณที่มีความถี่ของคลื่นพาหะ > 4.43 MHz ในระบบการส่งสัญญาณโทรทัศนส์ที่อัตราการขยาย ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB เช่นเดียวกัน โดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้ทั้งหมดสามารถแสดงได้อันนี้

$$H(s)_{+3dB} = \frac{1.9685s^3 + 6.1491s^2 + 6.4027s + 2.2222}{1.3935s^3 + 4.3410s^2 + 5.0156s + 2.2222} \quad (5.7)$$

$$H(s)_{+2dB} = \frac{1.4378s^3 + 4.9870s^2 + 5.7660s + 2.2222}{1.1420s^3 + 3.9165s^2 + 4.8579s + 2.2222} \quad (5.8)$$

$$H(s)_{+1dB} = \frac{1.1809s^3 + 4.3740s^2 + 5.4000s + 2.2222}{1.0526s^3 + 3.8598s^2 + 4.9419s + 2.2222} \quad (5.9)$$

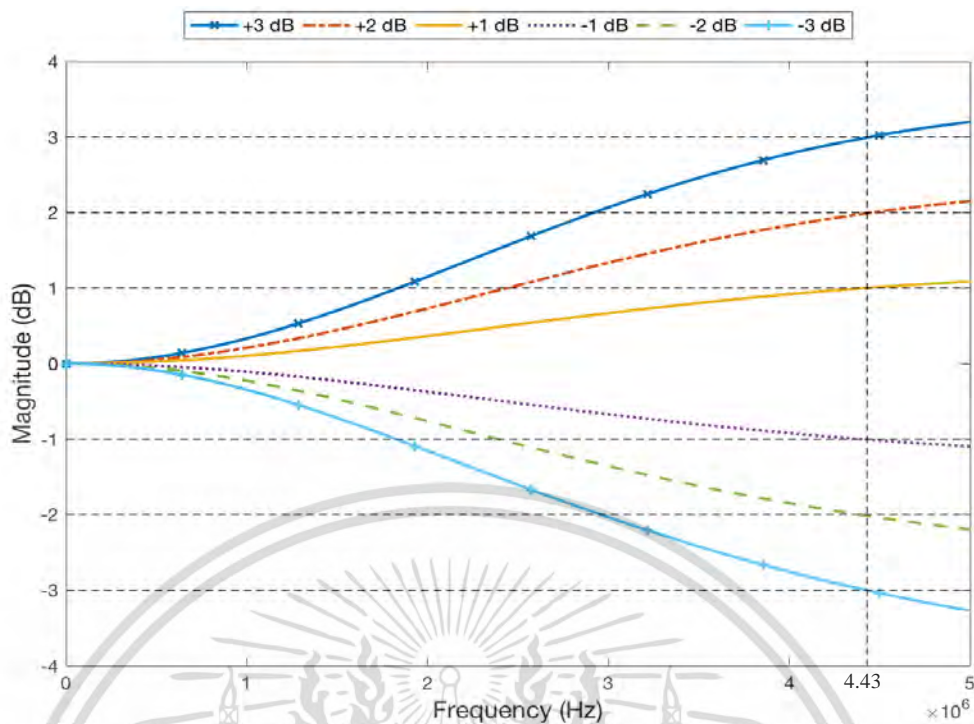
$$H(s)_{-3dB} = \frac{0.7807s^3 + 3.3191s^2 + 4.7040s + 2.2222}{1.1027s^3 + 5.0700s^2 + 6.2226s + 2.2222} \quad (5.10)$$

$$H(s)_{-2dB} = \frac{0.8381s^3 + 3.4800s^2 + 4.8167s + 2.2222}{1.0551s^3 + 4.5515s^2 + 5.7733s + 2.2222} \quad (5.11)$$

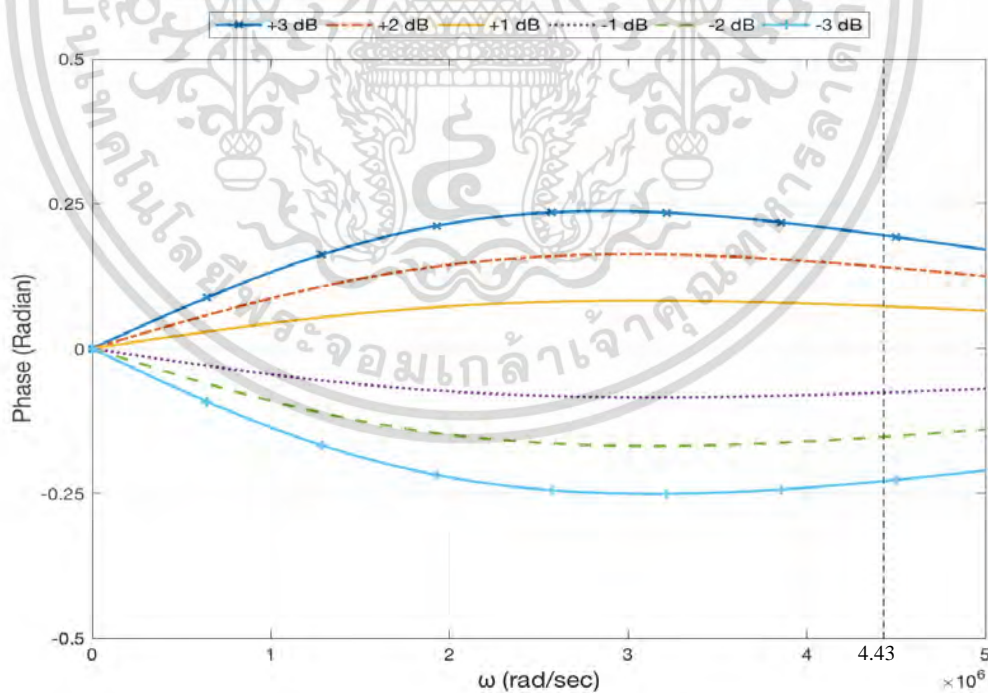
$$H(s)_{-1dB} = \frac{0.8990s^3 + 3.6467s^2 + 4.9307s + 2.2222}{1.0087s^3 + 4.1606s^2 + 5.4002s + 2.2222} \quad (5.12)$$

เช่นเดียวกับวิธีแรก ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้จากตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคูทั้งอัตราการขยายสูงที่ +3 dB, +2 dB และ +1 dB และอัตราการขยายต่ำที่ -3 dB, -2 dB และ -1 dB เมื่อนำมาทำการนอ้มัลไลซ์ตามถี่ เพื่อขยายขอบเขตของความถี่จาก $\omega = 1$ ไปสู่ความถี่ใหม่ นั่นคือความถี่คลื่นพาหะของสัญญาณในระบบส่งสัญญาณโทรทัศนส์ที่มีความถี่ $f_c = 4.43$ MHz โดยที่ $\omega = 2\pi f_c$ จากนั้นทำการพิจารณาผลตอบสนองทางขนาด ผลตอบสนองทางเฟส และผลตอบสนองทางดีเลย์ที่ได้อธิบายแสดงในรูปที่ 5.4-5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

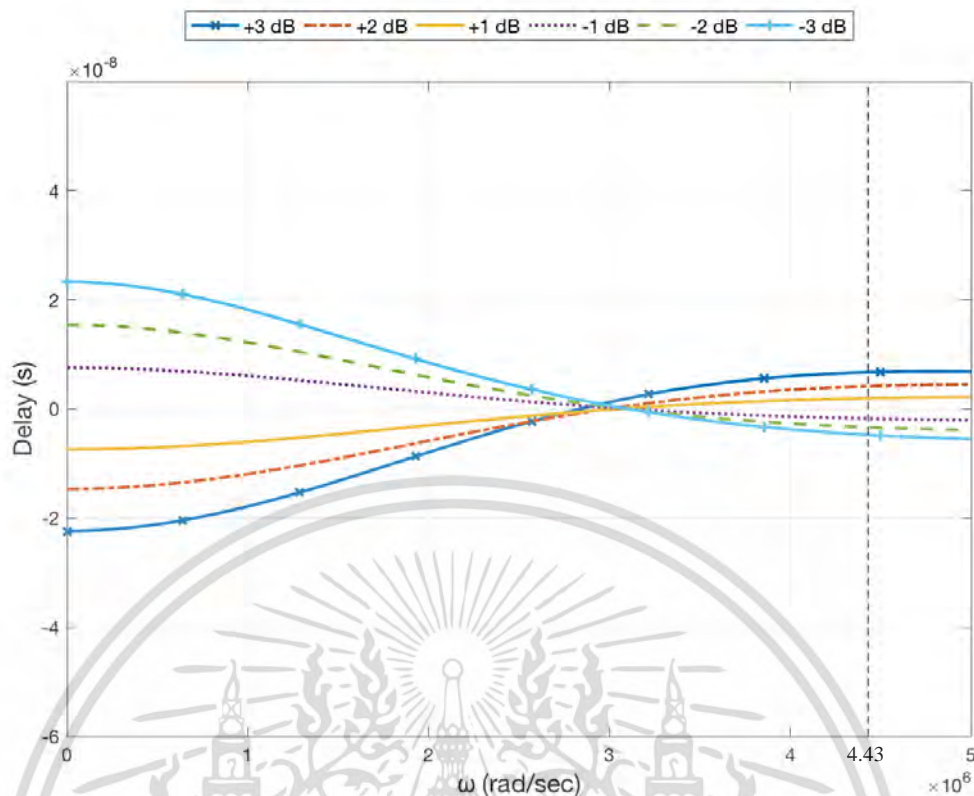


รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร
ซึ่งได้0จากตัวดำเนินการคิว-เบิร์ต+สไตน์-สแตนด์คูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB บนความถี่ 4.43 MHz



รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร
ซึ่งได้0จากตัวดำเนินการคิว-เบิร์ต+สไตน์-สแตนด์คูที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองทางดีเลย์+ของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถ>น ซึ่งได>จากตัวดำเนินการคิว-เบิ>ร+สไต>น+สแต>นคูที่ ±3 dB, ±2 dB และ ±1 dB

รูปที่ 5.4 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถ>นซึ่งออกแบบโดยวิธีการแบบคิว-เบิ>ร+สไต>น+สแต>นคูที่มีความราบเรียบทางขนาด และมีอ>ตราการขยายที่ ±3 dB, ±2 dB และ ±1 dB บนความถี่ 4.43 MHz รูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 แสดงผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์+ของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถ>นซึ่งออกแบบโดยวิธีการแบบคิว-เบิ>ร+สไต>น+สแต>นคูที่อ>ตราการขยาย ±3 dB, ±2 dB และ ±1 dB ตามลำดับ แสดงให>เห็นถึงความเป>นเชิงเสถ>นของเฟสและดีเลย์+ได>จากตัวดำเนินการแบบคิว-เบิ>ร+สไต>น+สแต>นคู

ตารางที่ 5.2 ดีเลย์+ได>จากตัวดำเนินการแบบคิว-เบิ>ร+สไต>น+สแต>นคู

Gain	Delay	Gain	Delay
+3 dB	-22.41 ns	-3 dB	23.36 ns
+2 dB	-15.46 ns	-2 dB	15.46 ns
+1 dB	-7.402 ns	-1 dB	7.587 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้>นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้>ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ>ไปใช้

5.2 การทดสอบเสถียรภาพของระบบ

5.2.1 เสถียรภาพของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากตัวดำเนินการเบิร์นสไตน์-สแตนคู

เสถียรภาพของระบบที่ได้ออกแบบนั้น สามารถหาได้จากฟังก์ชันถ้อยโอนของวงจรถับเทรทางขนาดแบบเชิงเสถียรซึ่งสามารถอธิบายได้โดยวิธีของมิไฮลอฟ (Mikhailov's Criterion) ดังสมการที่ (2.21) ดังนั้นจากสมการฟังก์ชันถ้อยโอนที่ได้จากตัวดำเนินการเบิร์นสไตน์+สแตนคูในสมการที่ (5.1-5.6) จะได้อ

$$D(s)_{+3dB} = 1.5732s^3 + 5.3134s^2 + 5.9611s + 2.2222 \quad (5.13)$$

$$D(s)_{+2dB} = 1.7652s^3 + 5.7265s^2 + 6.1831s + 2.2222 \quad (5.14)$$

$$D(s)_{+1dB} = 1.9806s^3 + 6.1764s^2 + 6.4180s + 2.2222 \quad (5.15)$$

$$D(s)_{-3dB} = 3.1390s^3 + 8.4203s^2 + 7.5053s + 2.2222 \quad (5.16)$$

$$D(s)_{-2dB} = 2.7976s^3 + 7.7841s^2 + 7.2092s + 2.2222 \quad (5.17)$$

$$D(s)_{-1dB} = 2.4934s^3 + 7.2011s^2 + 6.9301s + 2.2222 \quad (5.18)$$

แทน $s = j\omega$ จากนั้นทำการจัดแยกเทอมของจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ จะได้อ

$$D(j\omega)_{+3dB} = (2.2222 - 5.3134\omega^2) + j(5.9611\omega - 1.5732\omega^3) \quad (5.19)$$

$$D(j\omega)_{+2dB} = (2.2222 - 5.7265\omega^2) + j(6.1831\omega - 1.7652\omega^3) \quad (5.20)$$

$$D(j\omega)_{+1dB} = (2.2222 - 6.1764\omega^2) + j(6.4180\omega - 1.9806\omega^3) \quad (5.21)$$

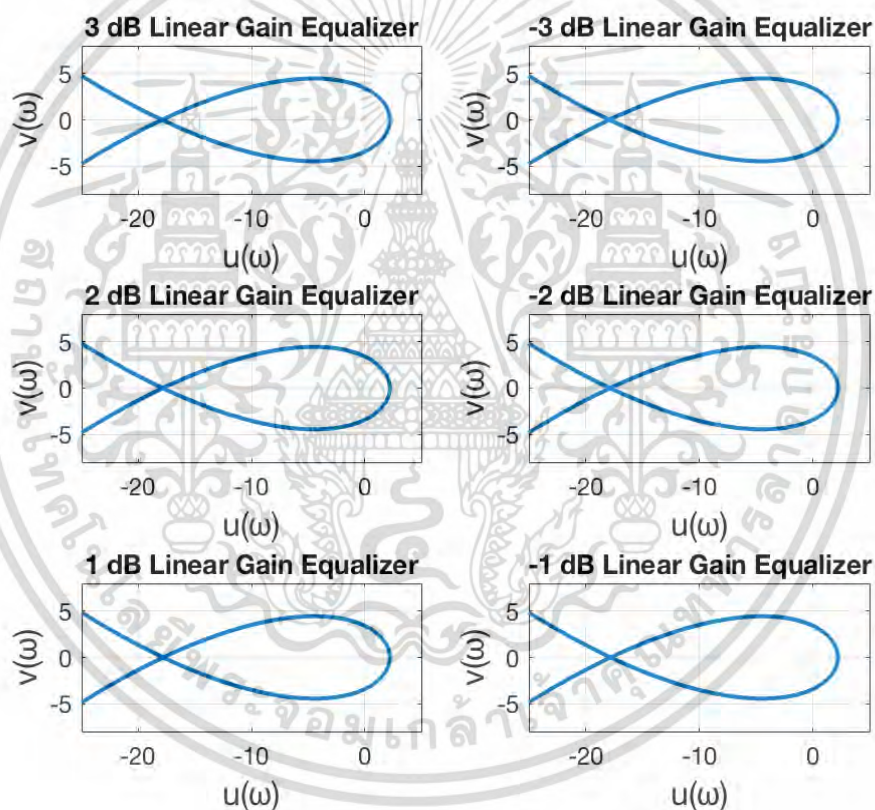
$$D(j\omega)_{-3dB} = (2.2222 - 8.4203\omega^2) + j(7.5053\omega - 3.1390\omega^3) \quad (5.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D(j\omega)_{-2dB} = (2.2222 - 7.7841\omega^2) + j(7.2092\omega - 2.7976\omega^3) \quad (5.23)$$

$$D(j\omega)_{-1dB} = (2.2222 - 7.2011\omega^2) + j(6.9301\omega - 2.4934\omega^3) \quad (5.24)$$

โพลีโดกราฟที่ได้จากฟังก์ชันถ่วงของวงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเสถียรซึ่งออกแบบโดยใช้อัตราดำเนินการแบบเบียร์+สไตน์+สแตนคู ที่อัตราขยาย ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB แสดงดังรูปที่ 5.7 ซึ่งทุกโพลีโดกราฟที่ได้มีลักษณะเป็วงโคจรรอบจุดกำเนิด (0,0) โดยเริ่มตงในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา จากคุณลักษณะนี้จึงสามารถพิสูจน์ได้ว่ ฟังก์ชันถ่วงโอดังกลรวมีเสถียรภาพตามระเบียบวิธีของมีไฮลอฟ



รูปที่ 5.7 โพลีโดกราฟของฟังก์ชันถ่วงโอดังกล่าวจากตัวดำเนินการแบบเบียร์+สไตน์+สแตนคู ที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB

5.2.1 เสถียรภาพของฟังก์ชันถ่วงโอดังกล่าวจากตัวดำเนินการคิว-เบิร์นส์ไตน์-สแตนคู

ในทางเดียวกัน เสถียรภาพของฟังก์ชันถ่วงโอดังกล่าวของวงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเสถียรที่ได้ออกจากตัวดำเนินการคิว-เบิร์นส์ไตน์+สแตนคู สามารถอธิบายได้ดวยระเบียบวิธีของมีไฮลอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Mikhailov's Criterion) ดังสมการที่ (2.21) โดยที่ $\omega > 0$ ใด ๆ หนึ่งเดียวกัน ดังนั้นจากสมการพหุนามอันดับ 3 ของ $D(s)$ ที่ $\omega = 0$ จากตัวดำเนินการคิวิ-เปิร์น + s ใด ๆ หนึ่งสมการที่ (5.7-5.12) จะได้

$$D(s)_{+3dB} = 1.3935s^3 + 4.3410s^2 + 5.0156s + 2.2222 \quad (5.25)$$

$$D(s)_{+2dB} = 1.1420s^3 + 3.9165s^2 + 4.8579s + 2.2222 \quad (5.26)$$

$$D(s)_{+1dB} = 1.0526s^3 + 3.8598s^2 + 4.9419s + 2.2222 \quad (5.27)$$

$$D(s)_{-3dB} = 1.1027s^3 + 5.0700s^2 + 6.2226s + 2.2222 \quad (5.28)$$

$$D(s)_{-2dB} = 1.0551s^3 + 4.5515s^2 + 5.7733s + 2.2222 \quad (5.29)$$

$$D(s)_{-1dB} = 1.0087s^3 + 4.1606s^2 + 5.4002s + 2.2222 \quad (5.30)$$

แทน $s = j\omega$ จากนั้นทำการจัดแยกเทอมของจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ จะได้

$$D(j\omega)_{+3dB} = (2.2222 - 4.3410\omega^2) + j(5.0156\omega - 1.3935\omega^3) \quad (5.31)$$

$$D(j\omega)_{+2dB} = (2.2222 - 3.9165\omega^2) + j(4.8579\omega - 1.1420\omega^3) \quad (5.32)$$

$$D(j\omega)_{+1dB} = (2.2222 - 3.8598\omega^2) + j(4.9419\omega - 1.0526\omega^3) \quad (5.33)$$

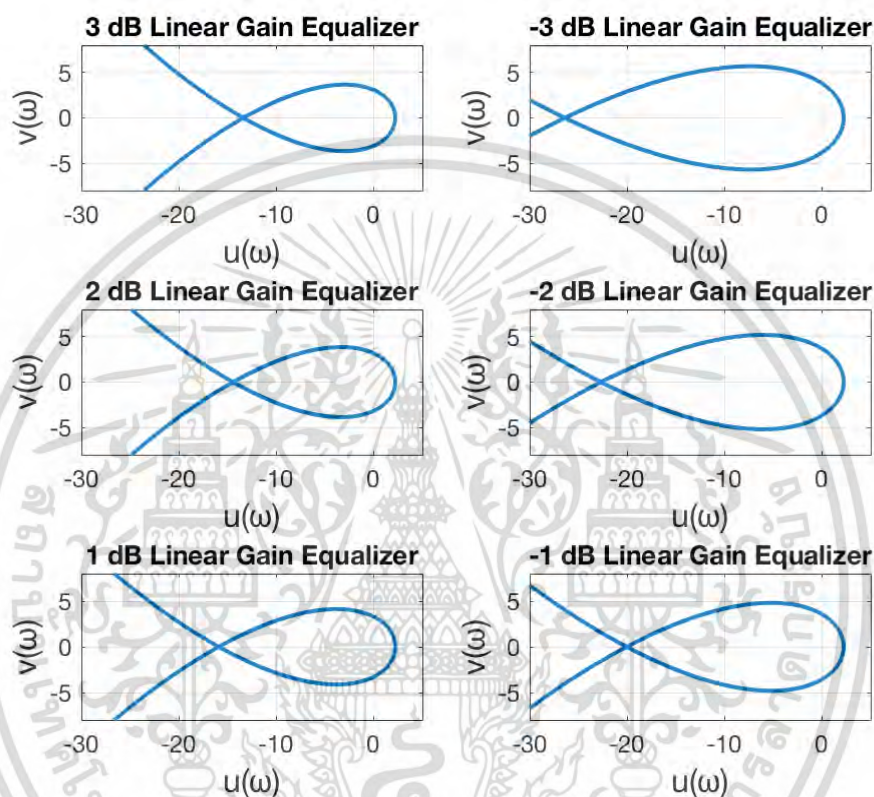
$$D(j\omega)_{-3dB} = (2.2222 - 5.0700\omega^2) + j(6.2226\omega - 1.1027\omega^3) \quad (5.34)$$

$$D(j\omega)_{-2dB} = (2.2222 - 4.5515\omega^2) + j(5.7733\omega - 1.0551\omega^3) \quad (5.35)$$

$$D(j\omega)_{-1dB} = (2.2222 - 4.1606\omega^2) + j(5.4002\omega - 1.0087\omega^3) \quad (5.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีโทกราฟที่ได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถ>ซึ่งออกแบบโดยใช้อัลดำเนินการแบบคิว-เบิร+สไตน์+สแตนคู ที่อัตราขยาย ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB แสดงดังรูปที่ 5.8 ซึ่งทุกโพลีโทกราฟที่ได้ขึ้น>มีลักษณะเดียวกัน คือมีลักษณะแปด>วงโค>รอบจุดกำเนิด (0,0) โดยเริ่มต>ในทิศทางทวนเข็มนา>ริกา จากคุณลักษณะนี้สามารถพิสูจน์ได้>ฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวมีเสถียรภาพตามระเบียบวิธีของมิโฮลอฟเซ>เดียวกัน

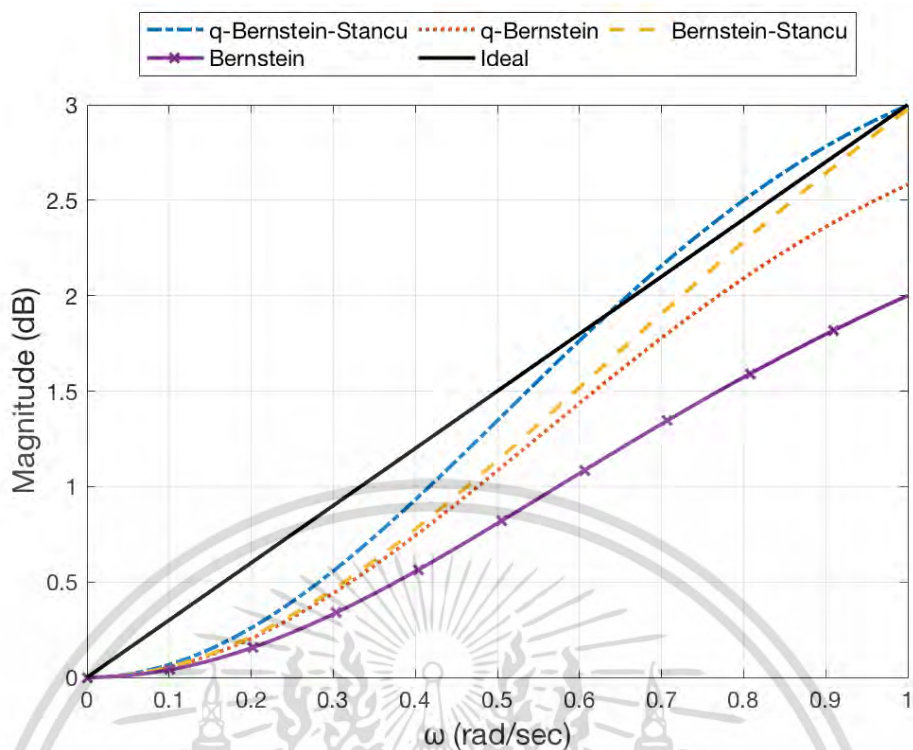


รูปที่ 5.8 โพลีโทกราฟของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได>จากตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร+สไตน์+สแตนคู ที่ ± 3 dB, ± 2 dB และ ± 1 dB

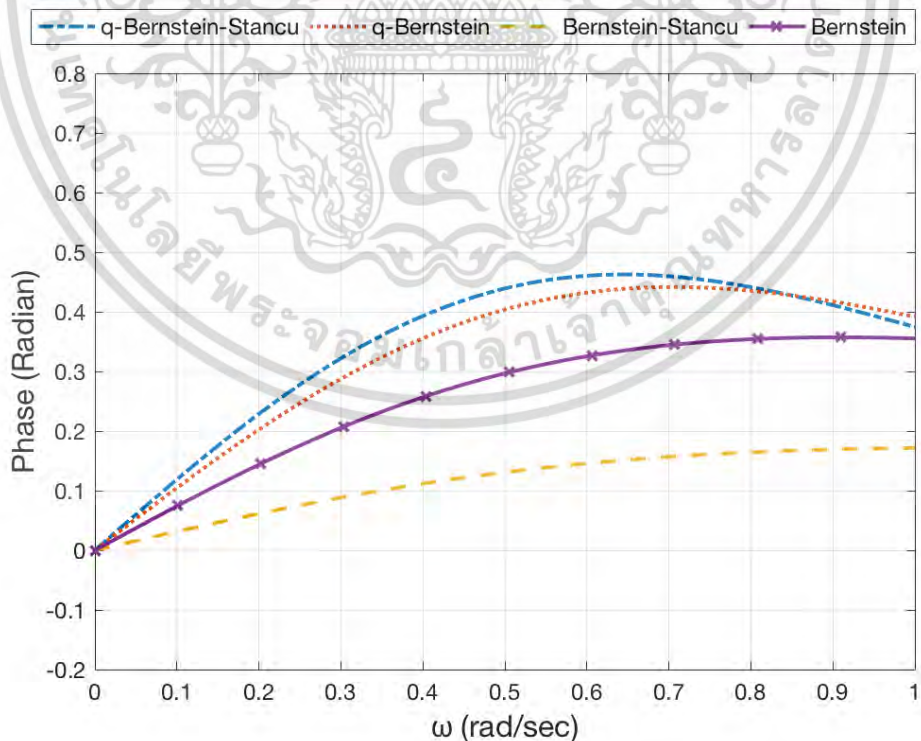
5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ในบทนี้ได>ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถ> โดยตัวดำเนินการแบบเบิร+สไตน์+4 ชนิด ประกอบด้วย คิว-เบิร+สไตน์+สแตนคู (q-Bernstein-Stancu), คิว-เบิร+สไตน์+(q-Bernstein), เบิร+สไตน์+สแตนคู (Bernstein-Stancu) และเบิร+สไตน์พื้นฐาน (Basis Bernstein) ซึ่งทั้ง 4 ตัวดำเนินการนี้มีความสัมพันธ์กันในเรื่องของพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค>ได้>ที่ได>อธิบายไว้ในบทที่ 2 ในตัวอย>งนี้ได>ทำการยกตัวอย>งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราขยายสูง +3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



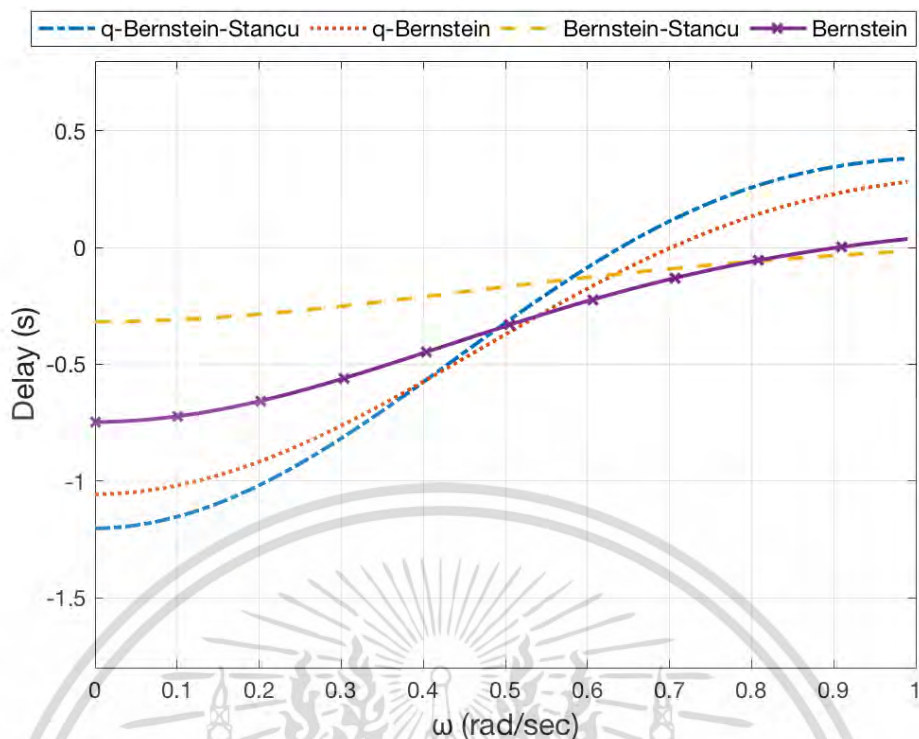
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรีบเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร ซึ่งออกแบบด้วยตัวดำเนินการแบบเบิร์ต+สเตน 4 ชนิด ที่อัตราขยาย +3 dB



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบผลตอบสนองทางเฟสของวงจรรีบเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร

ซึ่งออกแบบด้วยตัวดำเนินการแบบเบิร์ต+สเตน 4 ชนิด ที่อัตราขยาย +3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบผลตอบสนองทางดีเลย์+ขงวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสอ0น ซึ่งออกแบบด0ยตัวดำเนินการแบบเบิร+สไตน์ 4 ชนิด ที่อัตราขยาย +3 dB

สำหรับวิธีวัด>ความคลาดเคลื่อนของผลตอบสนองทางขนาดที่ได้0ผลตอบสนองทางขนาด ในอุดมคติของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสอ0น จะใช่วิธีการหาครรากที่สองของครความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error) ดังสมการที่ (5.36)

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (5.36)$$

รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองทางขนาดของวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสอ0น ที่ออกแบบด0ยตัวดำเนินการแบบเบิร+สไตน์ทั้ง 4 ชนิดที่อัตราขยายสูง +3 dB จะเห็นได0ยตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร+สไตน์+สแตนคูนั่นไผ่ผลตอบสนองทางขนาดที่ไกล0เพียงอุดมคติ และมีครความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และที่ $\omega = 1$ มีการยกระดับได0ไกล0เพียง +3 dB มากที่สุด ตามมาด0ยตัวดำเนินการแบบเบิร+สไตน์+สแตนคู คิว-เบิร+สไตน์+และเบิร+สไตน์พื้นฐาน ตามลำดับ รูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์+ขงวงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสอ0นที่ออกแบบด0ยตัวดำเนินการแบบเบิร+สไตน์ทั้ง 4 ชนิด ที่อัตราขยายสูง +3 dB ตามลำดับ แสดงให0ยเห็นว่าตัวดำเนินการแบบเบิร+สไตน์+สแตนคูมีเฟสเปเลเชิงเสอ0น และดีเลย์ไกล0เพียงครคงที่มากที่สุด การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในทุก ๆ อัตราการขยายแสดงในตารางที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดำเนินการแบบเบียร์+สแตน+4 ชนิด

<i>Gain</i>	<i>Operators</i>	<i>Mean Squared Error</i>	$\omega = 1$
+3 dB	q-Bernstein-Stancu Polynomials	1.9512	2.9936 dB
	q- Bernstein Polynomials	3.0072	2.5865 dB
	Bernstein-Stancu Polynomials	2.8965	2.9759 dB
	Bernstein Polynomials	6.6734	2.0139 dB
+2 dB	q-Bernstein-Stancu Polynomials	1.4257	1.9991 dB
	q- Bernstein Polynomials	2.0535	1.6921 dB
	Bernstein-Stancu Polynomials	1.8334	1.9984 dB
	Bernstein Polynomials	4.5840	1.3186 dB
+1 dB	q-Bernstein-Stancu Polynomials	0.7141	1.0021 dB
	q- Bernstein Polynomials	1.0077	0.8396 dB
	Bernstein-Stancu Polynomials	0.8926	0.9955 dB
	Bernstein Polynomials	2.3650	0.6472 dB
-3 dB	q-Bernstein-Stancu Polynomials	1.8663	-3.0023 dB
	q- Bernstein Polynomials	3.7843	-2.3110 dB
	Bernstein-Stancu Polynomials	2.1891	-2.9966 dB
	Bernstein Polynomials	7.1818	-1.9800 dB
-2 dB	q-Bernstein-Stancu Polynomials	1.2851	-2.0147 dB
	q- Bernstein Polynomials	2.1636	-1.6080 dB
	Bernstein-Stancu Polynomials	1.5637	-1.9879 dB
	Bernstein Polynomials	4.5932	-1.3464 dB
-1 dB	q-Bernstein-Stancu Polynomials	0.6795	-1.0041 dB
	q- Bernstein Polynomials	1.1501	-0.7998 dB
	Bernstein-Stancu Polynomials	0.8025	-1.0030 dB
	Bernstein Polynomials	2.2030	-0.6866 dB

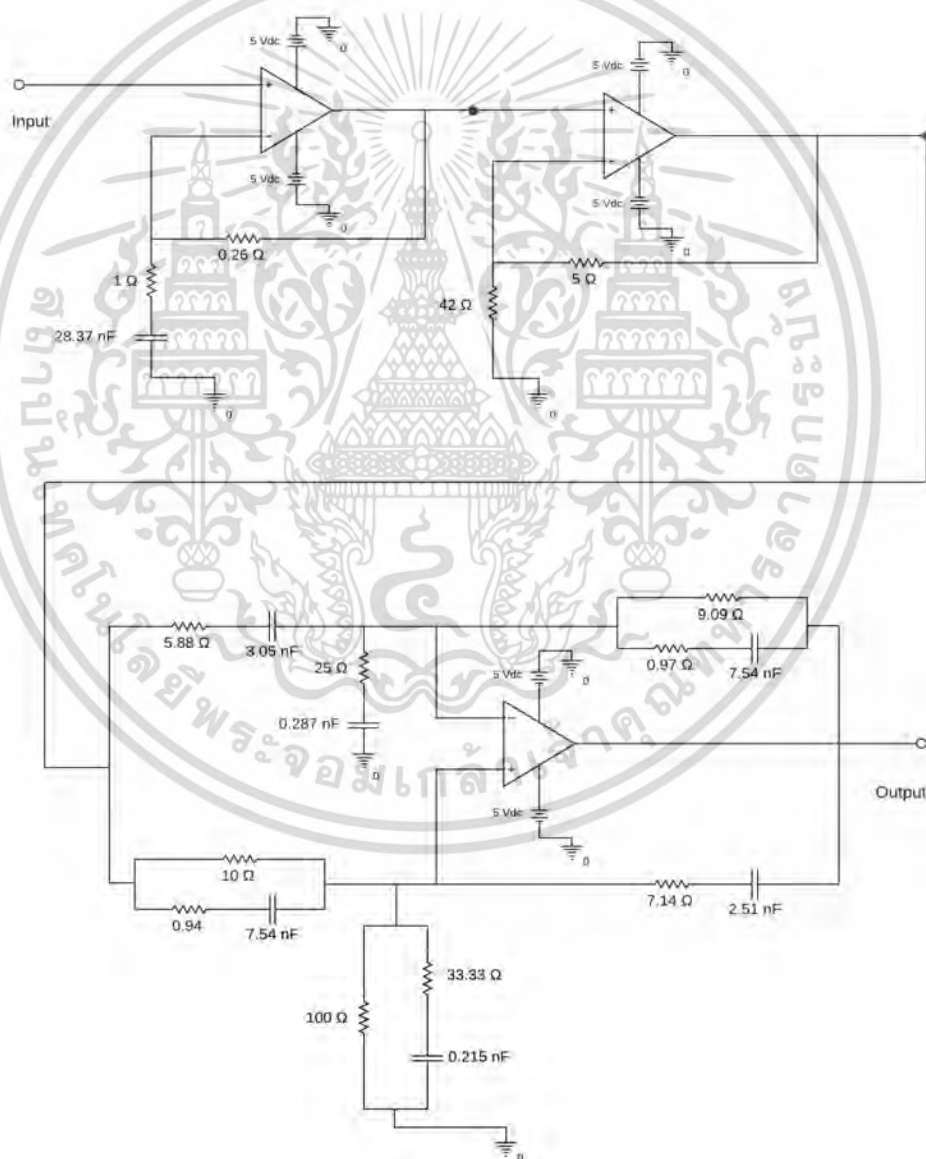
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การสร้างวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบความชันเป็นเชิงเส้น

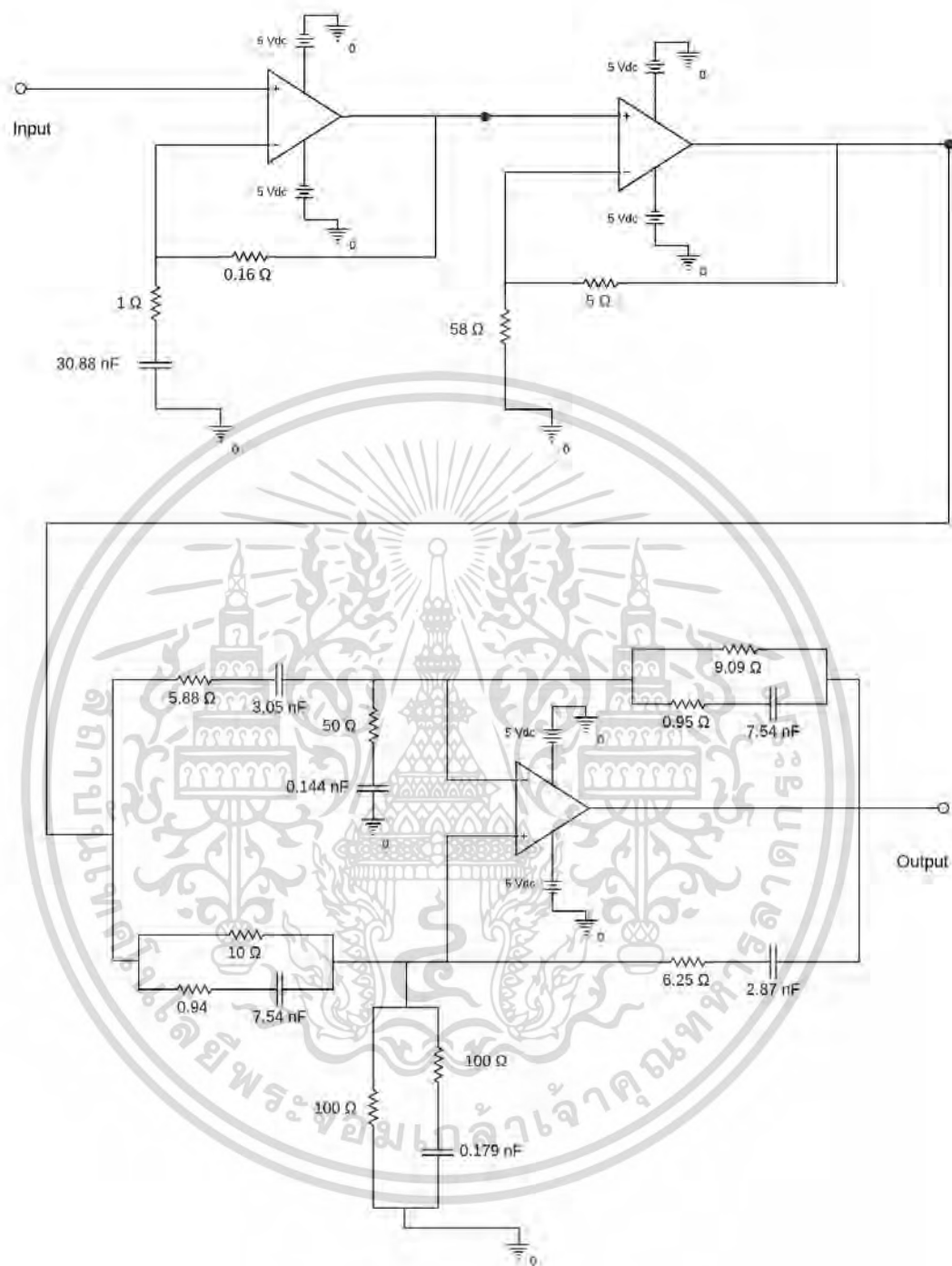
5.4.1 การสร้างวงจรจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากวิธีการเบรินสไตน์-สแตนคู

สมการพหุคูณกรยโอนอันดับที่ 3 ของวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้จากตัวดำเนินการเบริน+สแตนคูโพลีโนเมียลในสมการที่ 5.1-5.6 สามารถนำมาสร้างวงจร Active Filter โดยการนำวงจร RC ของพหุคูณกรยโอนอันดับที่ 1 มาต่อรวมกับวงจร RC ของพหุคูณกรยโอนอันดับที่ 2 แบบคาสเคด เมื่อนำมาใช้ที่ความถี่ 4.43 MHz จะต่อการทำงานปรับเท่าอิมพีแดนซ์+ ตามสมการที่ (2.41-2.43) ซึ่งจะได้องจรรวมสำหรับวงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้นที่อัตราขยาย +3 dB, +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB แสดงดังรูปที่ 5.12-5.17 ตามลำดับ



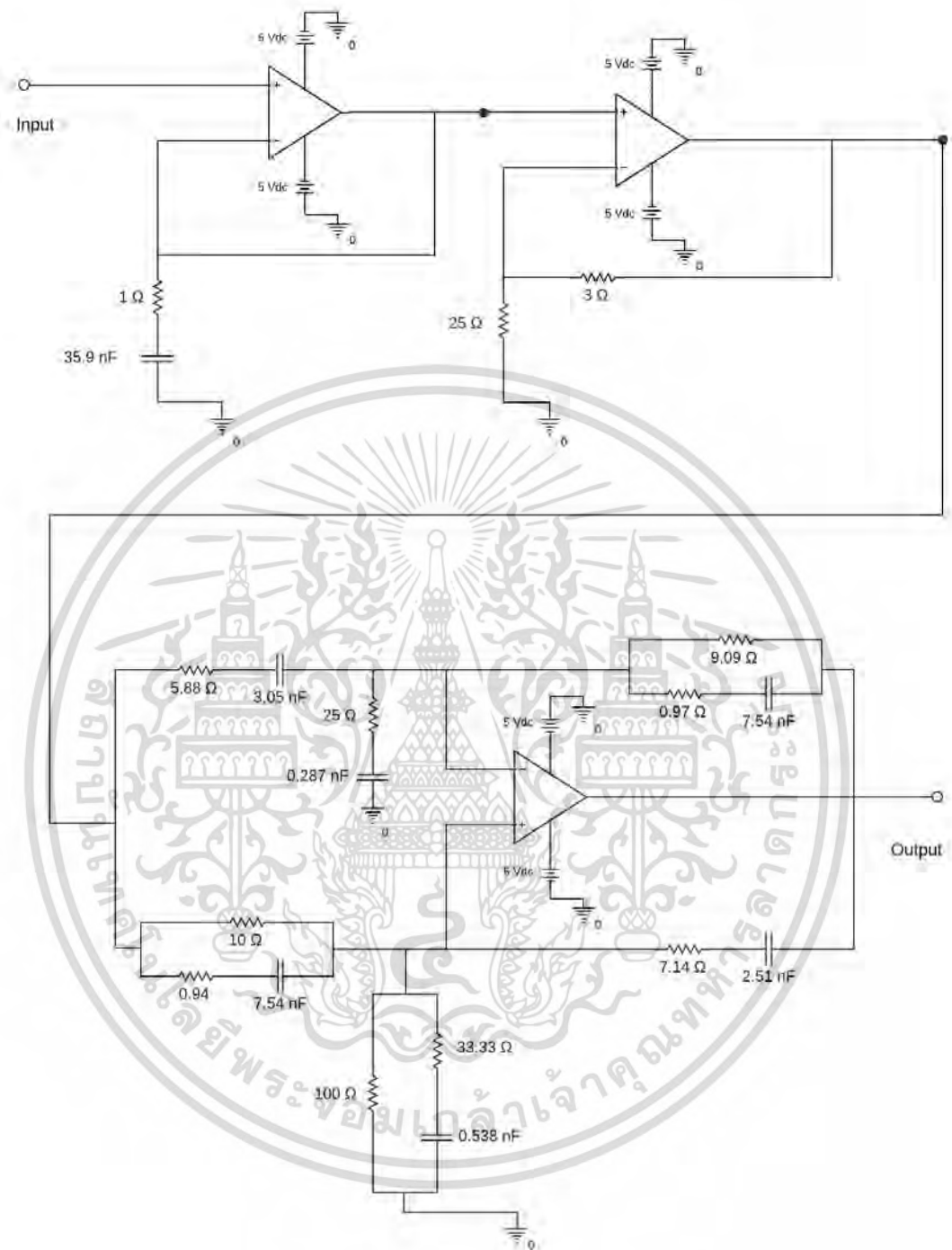
รูปที่ 5.12 วงจรปรับเท่าทางขนาดแบบเชิงเส้นที่ได้จากตัวดำเนินการเบริน+สแตนคู

ชนิดอัตราขยายสูงที่ +3 dB เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



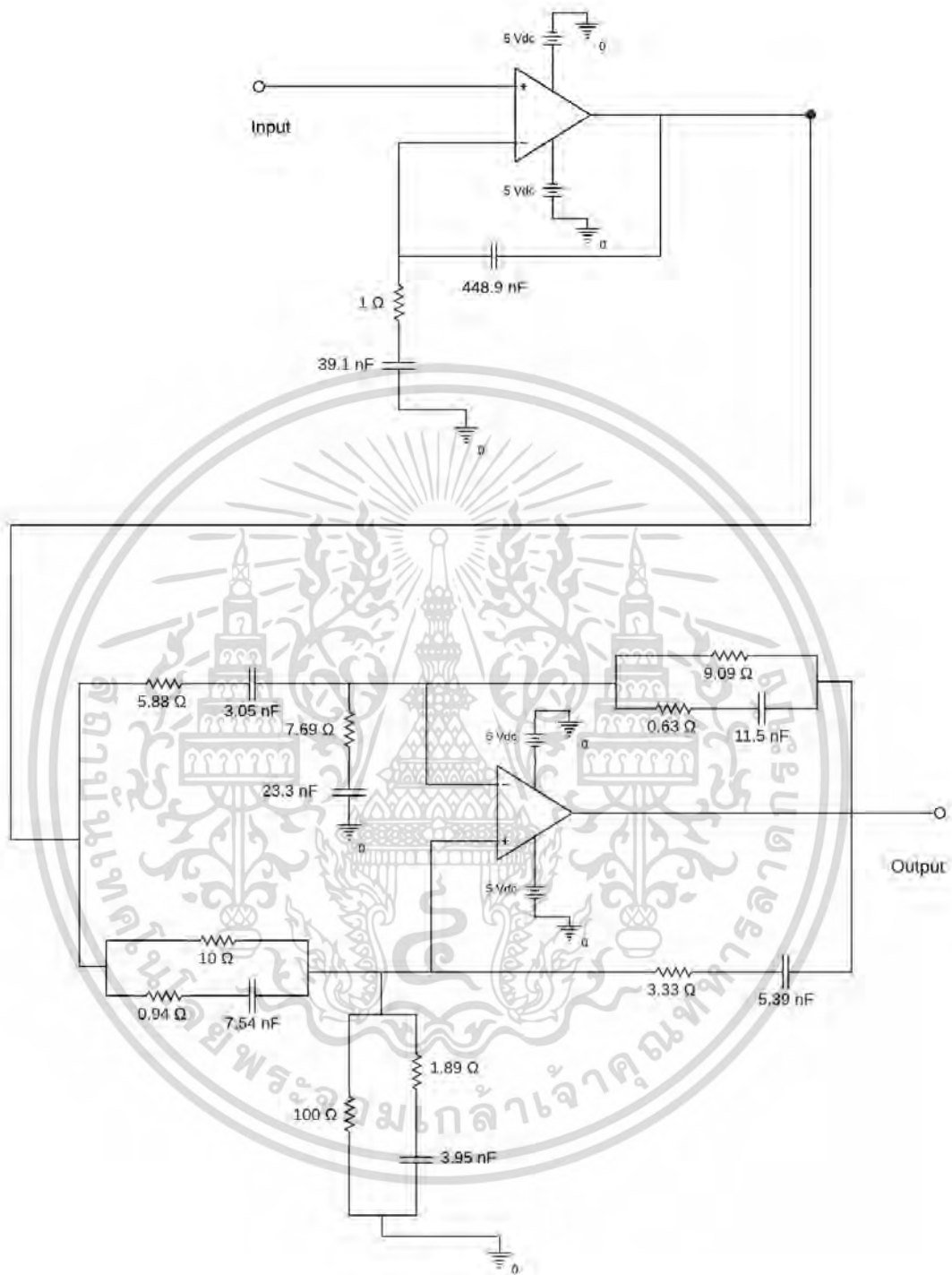
รูปที่ 5.13 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถ>0<จากตัวดำเนินการเบิร+สไตน-สแตนคู
ชนิดอ>ตราการขยายสูงที่ +2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



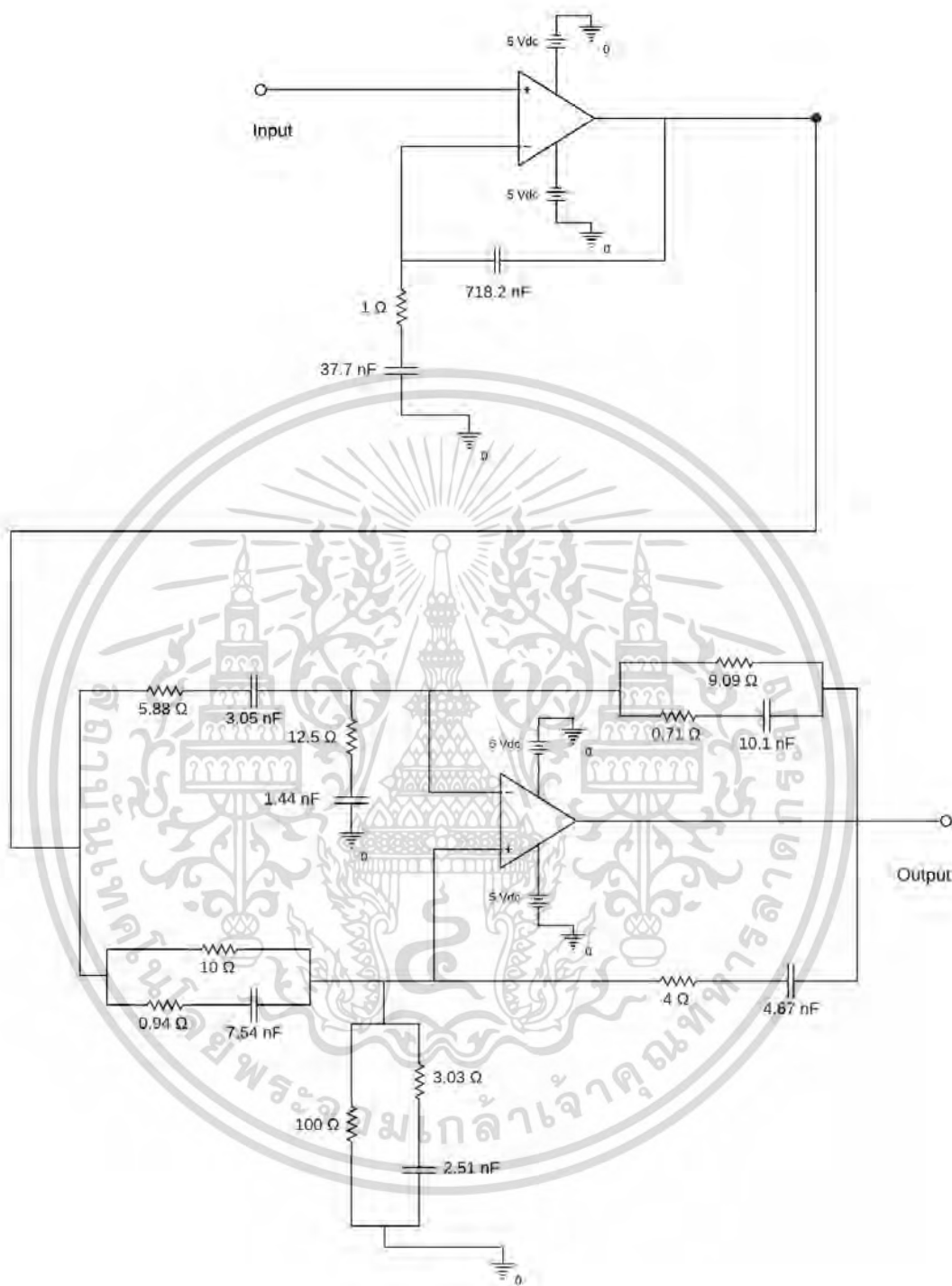
รูปที่ 5.14 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเส0ไ>0จกตัวดำเนินการเบิร+สไตน-สแตนคู
ชนิดอ>ตราการขยายสูงที่ +1 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



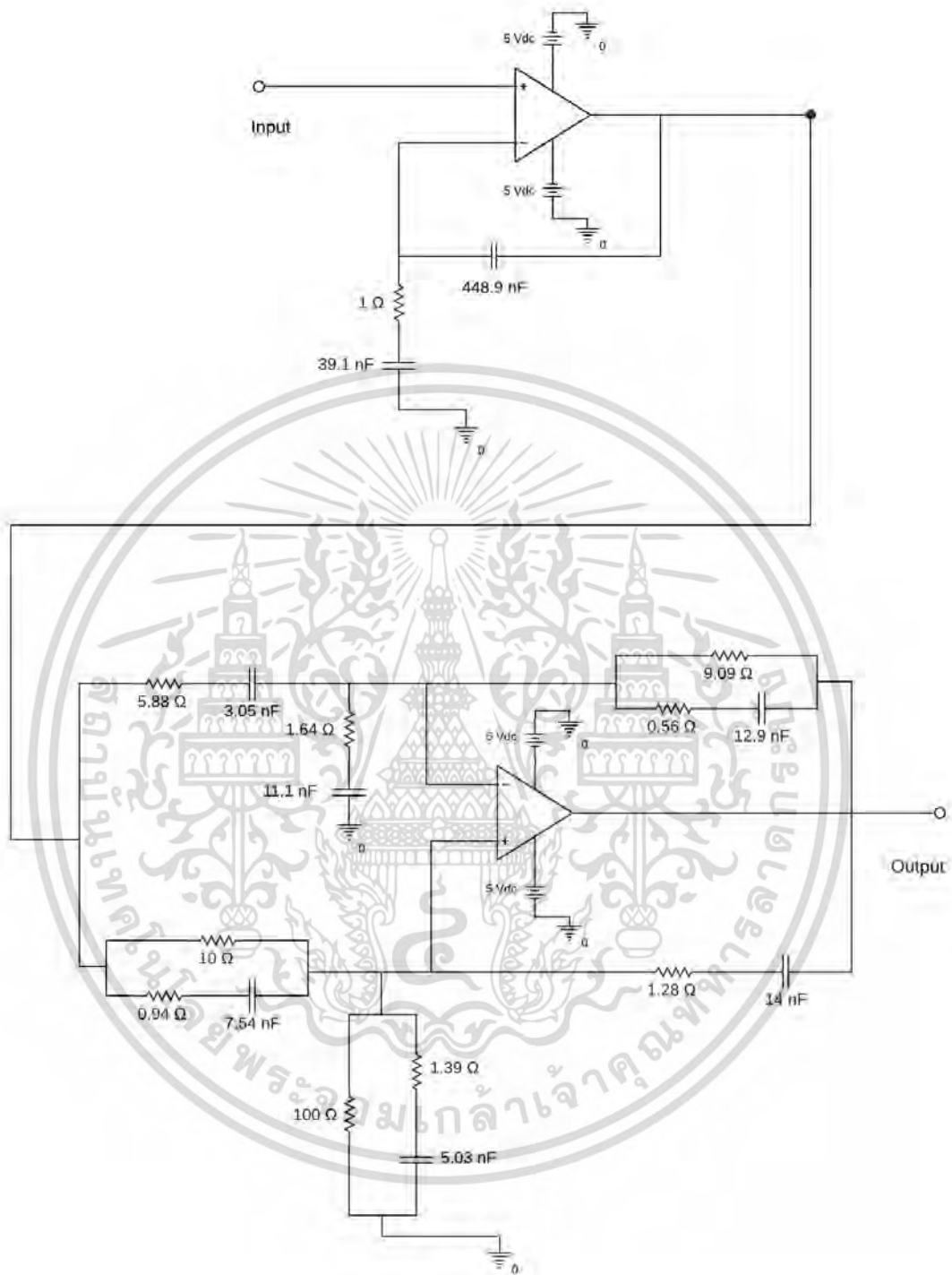
รูปที่ 5.15 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเส0ไ>0จกตัวดำเนินการเบิร+สไตน-สแตนคู
ชนิดอ>ตราการขยายต่ำที่ -3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสอ<0<จากตัวดำเนินการเบิร+<สไตน<สแตน<ค<ชนิดอ<ตราการขยายต่ำที่ -2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

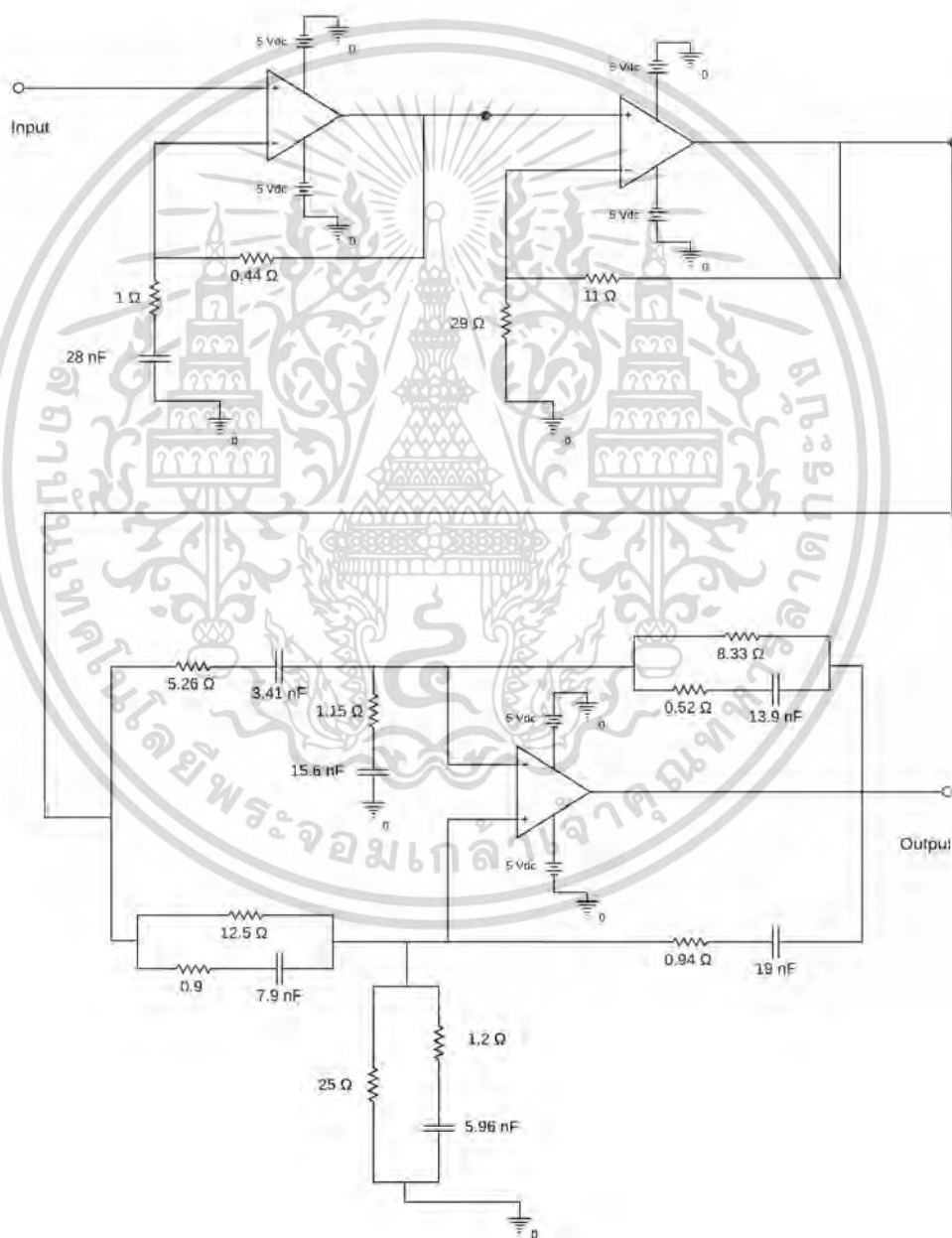


รูปที่ 5.17 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเส0ไ้0จากตัวดำเนินการเบิร+สไตน์สแตนคู
ชนิดอัตรการขยายต่ำที่ -1 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

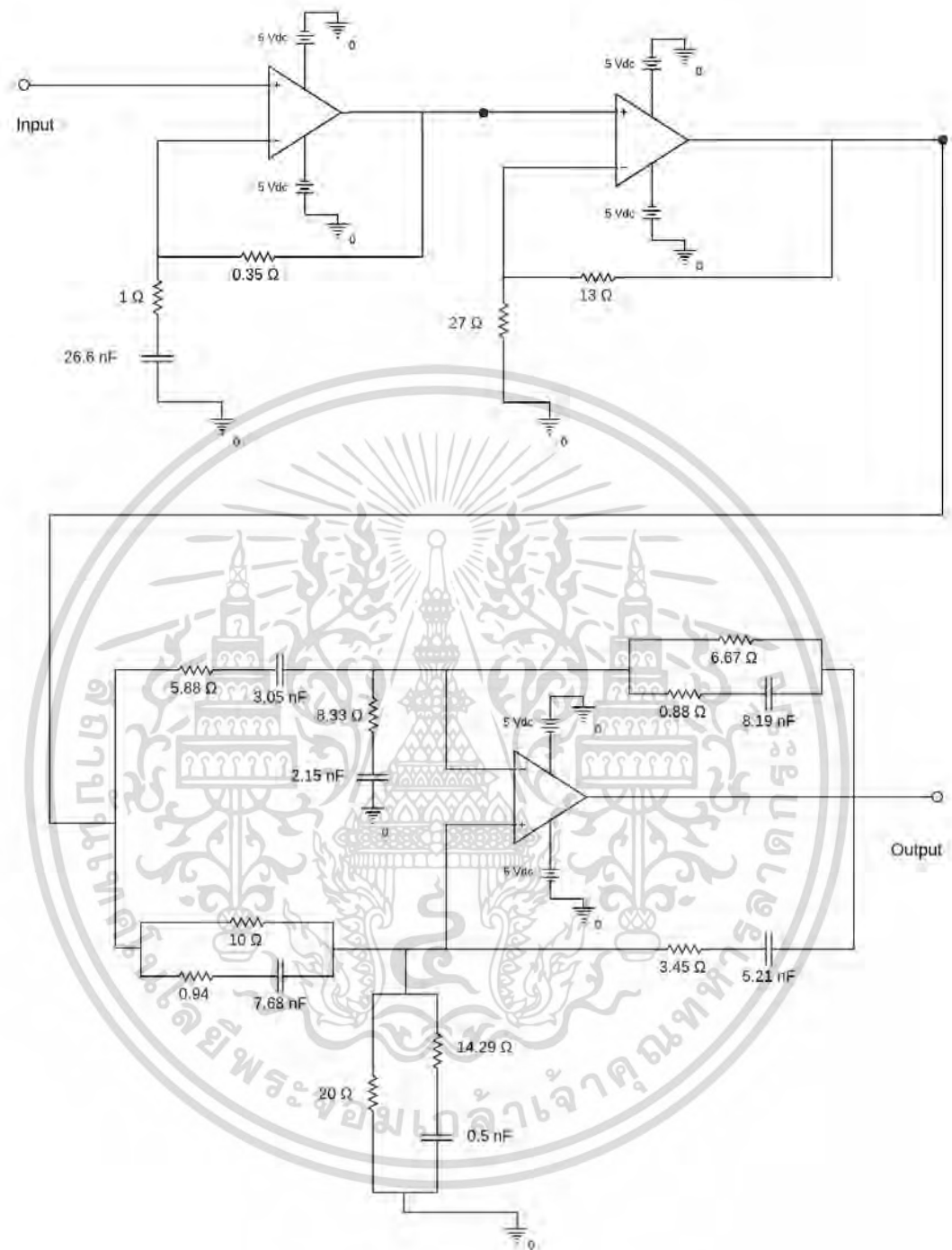
5.4.2 การสร้างวงจรจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากวิธีการคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู

สมการพหุคูณกรวยโอนอันดับที่ 3 ของวงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเสถที่ไดจากตัวดำเนินการคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคูโพลีโนเมียลในสมการที่ 5.7-5.12 สามารถนำมาสร้างวงจร Active Filter โดยการนำวงจร RC ของพหุคูณกรวยโอนอันดับที่ 1 มาต่อรวมกับวงจร RC ของพหุคูณกรวยโอนอันดับที่ 2 แบบคาสเคด เมื่อนำมาใช้งานบนความถี่ 4.43 MHz จะต้องทำการปรับค>อิมพีแดนซ์+ตามสมการที่ (2.41-2.43) ซึ่งจะได>จรรวมสำหรับวงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเสถที่อัตราขยาย +3 dB, +2 dB, +1 dB, -3 dB, -2 dB และ -1 dB แสดงดังรูปที่ 5.18-5.23 ตามลำดับ



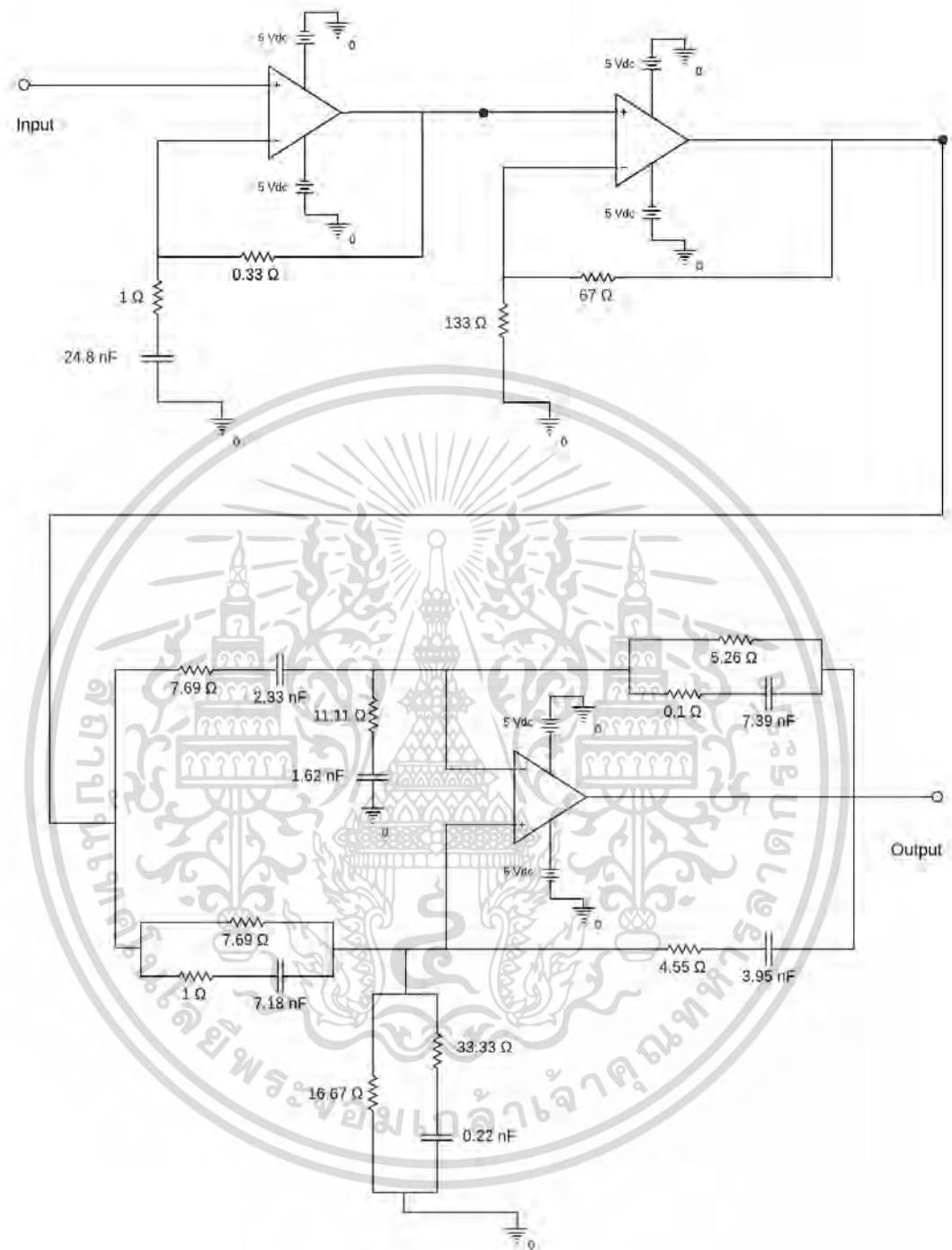
รูปที่ 5.18 วงจรปรับเทรทางขนาดแบบเชิงเสถที่ไดจากตัวดำเนินการคิว-เบิร์นสไตน์-สแตนคู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



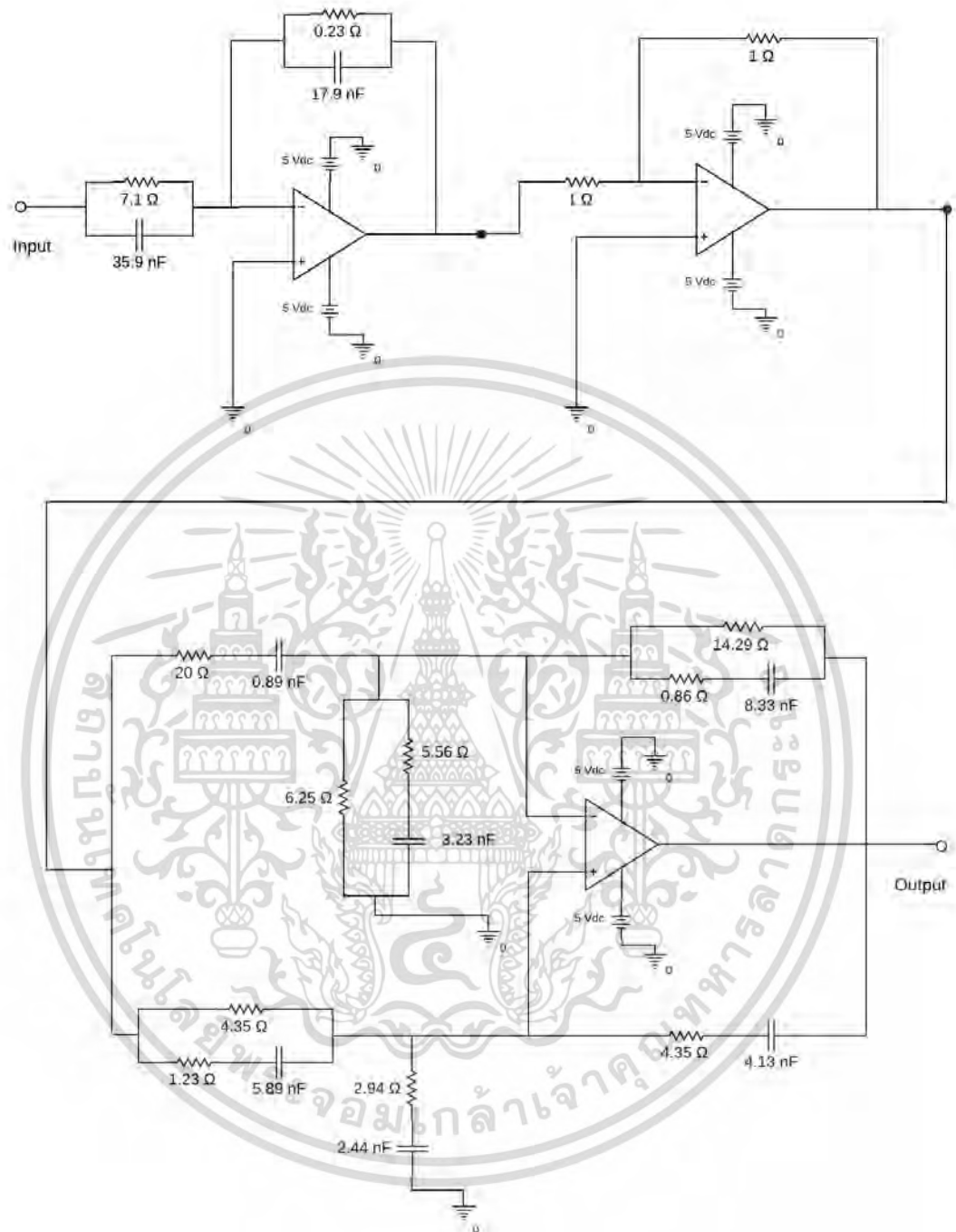
รูปที่ 5.19 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเส0<0จากตัวดำเนินการคิว-เบิร+สไตน์สแตนคู
ชนิดอัตรการขยายสูงที่ +2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



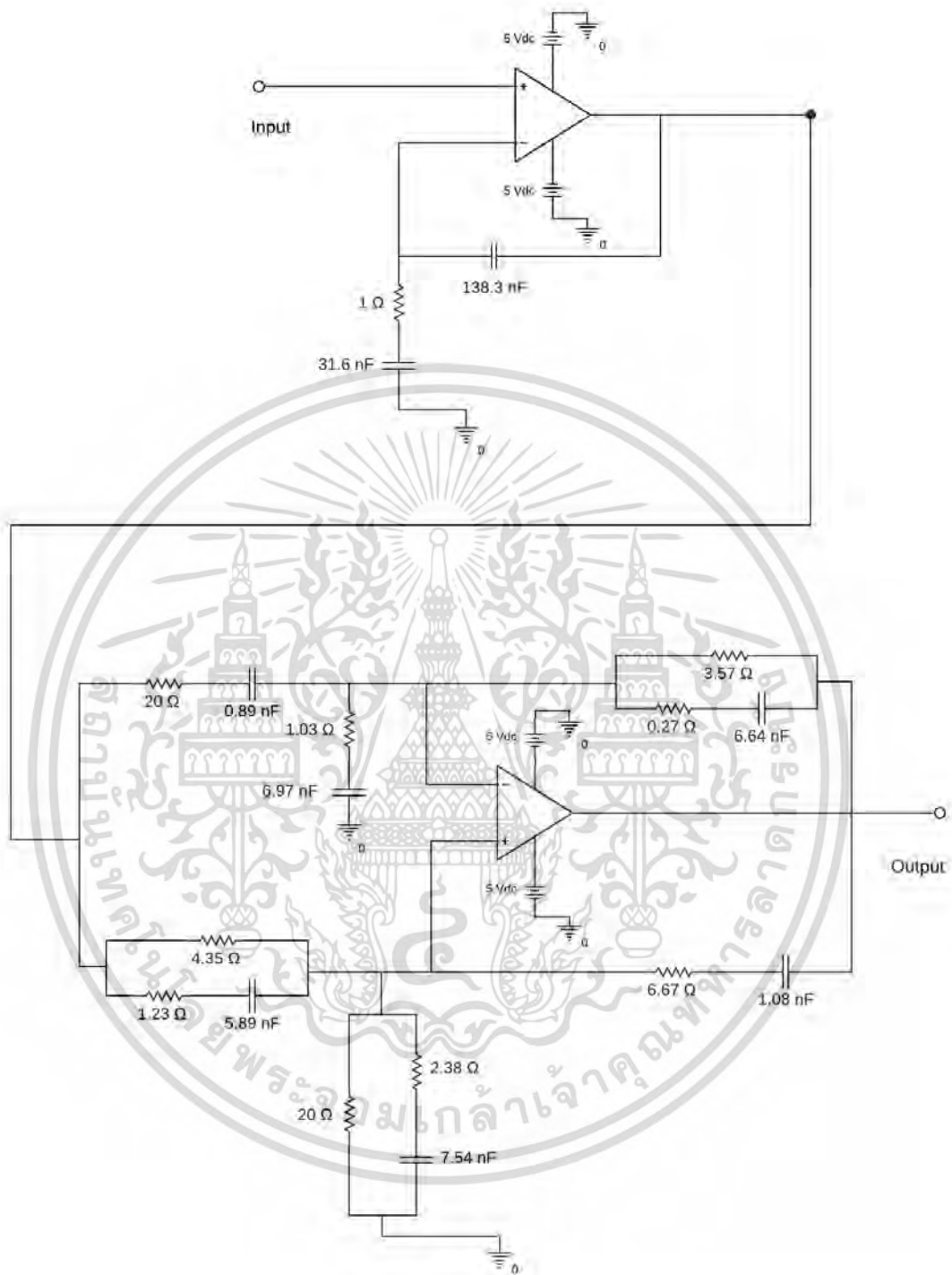
รูปที่ 5.20 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถ0<0จากตัวดำเนินการคิว-เปอร์+สไตน์สแตนคู
ชนิดอัตรากาขยายสูงที่ +1 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



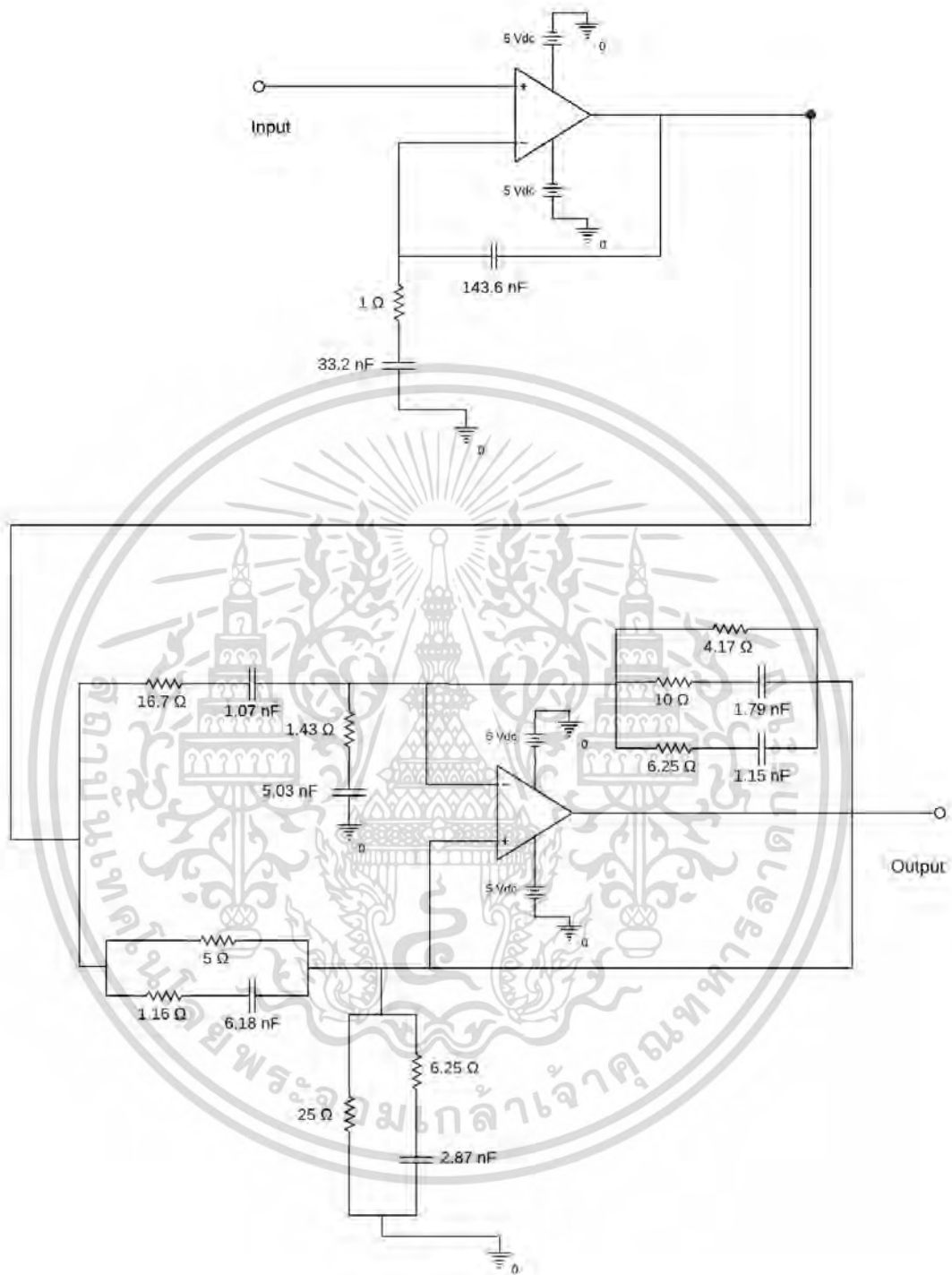
รูปที่ 5.21 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสอ<๒0จกตัวดำเนินการคว-เปิร+ส<ไตน<ส<แตน<ค<ุ
ชนิดอ<ตรา<การ<ขยาย<ต่ำ<ที่ -3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเส0ไ้0จกตัวดำเนินการคว-เปิร+สไตน์สแตนคู
ชนิดอัตรการขยายต่ำที่ -2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 วงจรปรับเท>ทางขนาดแบบเชิงเสถียร 0 โดจกตัวดำเนินการควิ-เปริ+สไตน์สแตนคู
ชนิดอัตราขยายต่ำที่ -1 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย

6.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบความชันเชิงเสถียรสองวิธีการ ไดโอด-วิธีการประมาณพหุนามและโหนดโดยใช้ตัวดำเนินการแบบเบิร์ตสไตน์สแตนด์คอร์ดที่สาม ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้คือ α และวิธีการประมาณพหุนามชั้นถ้อยโหนดโดยใช้ตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตสไตน์สแตนด์คอร์ดที่สามรวมกับสมการแปลงแบบโมเบียส ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้คือ α , q และ c เพื่อออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบความชันเป็นสองช่วงซึ่งมีอัตราขยายสูงที่ +3 dB +2 dB และ +1 dB และอัตราขยายต่ำที่ -3 dB -2 dB และ -1 dB ในการแก้ความผิดพลาดทางขนาดของสัญญาณในระบบสื่อสารโทรคมนาคมที่มีความถี่ของคลื่นพาหะ 4.43 MHz การแสดงผลตอบสนองทางขนาด ผลตอบสนองทางเฟส หรือผลตอบสนองทางดีเลย์ใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ในการแสดงผลและวิเคราะห์ผลตอบสนองดังกล่าวพบว่าการใช้ตัวดำเนินการที่มีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้หลายค่าในการออกแบบ จะช่วยให้การปรับแต่งผลตอบสนองต่าง ๆ สามารถทำได้ง่ายหลายหลายและยืดหยุ่นมากกว่า แต่ทำให้การดำเนินงานหรือกระบวนการมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากตัวดำเนินการแบบคิว-เบิร์ตสไตน์สแตนด์คอร์ดรวมกับสมการแปลงแบบโมเบียสให้ผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงกับอุดมคติมากกว่า ในขณะที่ผลตอบสนองทางเฟสและดีเลย์ที่ได้จากตัวดำเนินการแบบเบิร์ตสไตน์สแตนด์คอร์ดให้ค่าความเบี่ยงเบนของเฟส และดีเลย์ที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากตัวดำเนินการทั้งสองชนิดที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าตัวดำเนินการอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ นอกจากนี้พหุนามชั้นถ้อยโหนดที่ได้นำมาสรุปลงจะช่วยให้การแก้ความผิดพลาดของสัญญาณในระบบสื่อสารโทรคมนาคมที่มีความถี่ของคลื่นพาหะ 4.43 MHz

6.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ผลการวิจัยที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้ในการออกแบบวงจรปรับเทจทางขนาดแบบความชันเชิงเสถียรที่อัตราขยาย +3 dB +2 dB +1 dB -3 dB -2 dB และ -1 dB เพื่อแก้ความผิดพลาดทางขนาดของสัญญาณในระบบสื่อสารโทรคมนาคมเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางขนาดของสัญญาณสี่ในระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่ของคลื่นพาหะ 4.43 MHz ยังคงเป็Q เพียงแนวคิดที่ได้ 2 ลัทธิจากการจำลองผ=ดซอฟต์แวร์*ท=นั้น ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำการออกแบบนี้ มาประยุกต์ใช้ 2 งานกับอุปกรณ์*จึงได้ 2 และยังสามารถนำมาปรับใช้ 2 ในการแก้ไขความผิดเพี้ยนทางขนาด ของสัญญาณอื่น ๆ เช่น สัญญาณเสียง หรือสัญญาณวิดีโอ เป็Q 2 นอกจากนี้ยังสามารถใช้ 2Q แนวทางในการนำตัวดำเนินการแบบใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้ 2 ในลักษณะเดียวกัน เช่น Bernstein-Stancu-Schurer Polynomials และ (p, q)-Bernstein-Stancu Polynomials เป็Q 2 อีกทั้งยังสามารถนำทฤษฎี Modulus of Continuity มาประยุกต์ใช้ 2 ในการลดความคลาดเคลื่อนจากการ ประมาณฟังก์ชัน เพื่อช=ลดกระบวนการการสุ=ภาคที่เหมาะสมของพารามิเตอร์หรือลดขอบเขต ของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้ 2 น้อยลง ทำให้ 2 กรสุ=เป็Q 2 ไปเลย=มีประสิทธิภาพและมีรูปแบบที่ชัดเจน มากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Schaumann, and M. E. Van : **Design of Analog Filters**, Oxford University, Press, Inc., New York, 2011.
- [2] M. Berggren, C. Schüldt, F. Lindström and I. Claesson, “**An Improved Adaptive Gain Equalizer for Noise Reduction with Low Speech Distortion**”, Journal of Audio, Speech, and Music Processing, 7, 2011.
- [3] V. Chutchavong, O.Sangaroon and K. Janchitrapongvej : **Linear-Phase Bernstein Filter for Equalized the Distorted Chrominance**, LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2013.
- [4] J. H. Clark, “**A New Video Differential Phase and Gain Equalizer**”, Journal of Electrical Engineering, vol. 76, issue 12, pp. 1075-1075, 1957.
- [5] K. Janchitrapongvej, C. Cumpim and P. Rattanathanawan, “**Chrominance Gain Slope Equalizer Based on Bernstein Polynomials**”, Proceedings of 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, pp. 1-4, 2013.
- [6] G. G. Lorents : **Bernstein Polynomials**, University of Toronto Press, Canada, 1953.
- [7] D. Baez-Lopez, “**The Bernstein Filter A New Class of Linear Phase Filter Approximation**”, Proceedings of 34th Midwest Symposium, pp. 704-707, 1991.
- [8] G. Nowak, “**Approximation Properties for Generalized q-Bernstein Polynomials**”, Math. Anal., pp. 1-10, 2009.
- [9] D. D. Stancu, “**Approximation of Function by A New Class of Linear Polynomials Operators**”, Rev. Roumaine Math. Pure Appl., vol. XIII, no. 8, pp. 1173-1194, 1968.
- [10] G. M. Phillips, “**Bernstein Polynomials Based on the q-Integers**”, Ann. Numer. Math.4, pp. 511-518, 1997.
- [11] L. H. Keel and S. P. Bhattacharyya, “**A Generalization of Mikhailov's Criterion with Applications**”, Proceedings of the American Control Conference (ACC), pp. 4311-4315, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] I. Saleh, M. M. Hasan and M. M. Darwish, “**The Mikhailov Stability Criterion Revised**”, Journal of Engineering Sciences, Assiut University, vol. 38, no. 1, pp. 195-207, 2010.
- [13] W. Y. Yang and S. C. Lee : **Circuit Systems with MATLAB and PSpice**, John Wiley & Sons (Asia), Singapore, 2007.
- [14] W. K. Chen : **Passive and Active Filters Theory and Implementations**, John Wiley & Sons, Canada 1986.
- [15] M. E. Van Valkenburg : **Analog Filter Design**, Holt, Rinehart and Winston, Inc., The United States of America, 1982.
- [16] Kendall Su : **Analog Filters**, Kluwer Academic Publishers, The United States of America, 2002.
- [17] V. Chutchavong, P. Tharaphimaan, T. Anuwongpinit, B. Purahong and K. Janchitrapongvej, “**Low Pass Filters Based on Bernstein-Balazs Operators**”, Proceedings of 3rd International Conference on Communication and Information Processing, Japan, pp. 268-272, 2017.
- [18] I. Kanjanasurat, V. Chutchavong, C. Benjankaprasert and K. Janchitrapongvej, “**Gain Equalizer by Four Parameters Logistic Bézier Bernstein Polynomial**”, Proceedings of International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Korea, pp. 330-333, 2017.
- [19] D.P. Mandic, “**The Use of Mobius Transformations in Neural Networks and Signal Processing**”, Proceedings of the 2000 IEEE Signal Processing Society Workshop, pp. 185-194, 2000.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] V. Chutchavong, T. Dokyam, C. Benjangkaprasert and K. Janchitrapongvej, “A New Method for Design of the Linear Gain Equalizer Based on Stancu’s including Bernstein Polynomial”, Proceedings of 3rd International Conference on Communication and Information Processing, pp. 278-282, 24-26 November 2017.
- [2] V. Chutchavong, T. Dokyam, K. Janchitrapongvej and C. Benjangkaprasert, “On Approximation of Linear Gain Equalizer by q -Bernstein-Stancu Operators and Möbius Transformation”, Proceedings of 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 18-21 July 2018.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายธีรยุทธ ดอกแย้ม
วัน เดือน ปี เกิด	17 สิงหาคม 2536 ที่ปทุมธานี
ที่อยู่	49 หมู่ที่ 1 ซอยปลายบัวพัฒนา ถนนทางหลวงหมายเลข 345 ตำบลบางคูวัด อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12000
ประวัติการศึกษา	2559 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า.จ.คุณทหารลาดกระบัง (เกียรตินิยมอันดับ1)
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ 2) ภาษาคอมพิวเตอร์Y 3) ระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟ
ประสบการณ์การทำงาน	2561 - ปัจจุบัน Software Engineer บริษัท AMR Asia Co.,LTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้