

การพัฒนาวงจรแอ็คทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
โดยใช้ ยูนิฟอร์มดิสทริบิวท์ อาร์ซี ฟิลเตอร์
Development of active crossover networks
by uniformly distributed RC filter



นาย ชิตสุวรรณ แจ่มแจ้ง
นาย ไพฑูรย์ รักเหลือ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 42673
วัน, เดือน, ปี- 6 ส.ย. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนางจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค

โดยใช้ยูนิฟอร์มคิสทริบิวท์ อาร์ซี ฟิลเตอร์

Development of active crossover networks
by using uniformly distributed RC filter

นักศึกษา

นายชิตสุวรรณ แจ่มแจ้ง เลขประจำตัว 41013444

นายไพฑูรย์ รักเหลือ เลขประจำตัว 41013457

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.อุทัย ศรีธีระวิโรจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช)

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาวงจรแอคทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้ยูนิฟอร์มคิสทริบิวท์ อาร์ซี ฟิลเตอร์ Development of active crossover networks by using uniformly distributed RC filter		
นักศึกษา	นายชิตสุวรรณ	แจ่มแจ้ง	เลขประจำตัว 41013444
	นายไพฑูรย์	รักเหลือ	เลขประจำตัว 41013457
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.อุทัย	ศรีธีระวิโรจน์	
	รศ.ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช	
ปีการศึกษา	2543		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการพัฒนาวงจรแอคทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ยูนิฟอร์มคิสทริบิวท์ อาร์ซี ไลน์ (uniformly distributed rc line : URC) โดยจะมีคุณสมบัติทางเฟสระหว่างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) และวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (high pass filter) มีลักษณะคงที่ ซึ่งจะส่งผลให้มีความชัน (slop) ที่สูง นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาถึงค่าของความไว (sensitivity) ของตัวอุปกรณ์ในวงจร และค่าของเสถียรภาพของวงจร

จะเห็นว่าวงจรที่ได้นำเสนอนี้ มีพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้อยู่ 2 ตัว คือ α และ k ซึ่งค่าที่เหมาะสมจะทำให้ผลรวมทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านกับวงจรกรองความถี่สูงผ่านมีความราบเรียบ เป็นที่ยอมรับ และจากการทดลองตามรูปแบบวงจร ปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวที่เหมาะสมจะทำให้คุณสมบัติของวงจรดีกว่าวิธีของลิงควิตซ์ (Linkwitz) และการออกแบบของวงจรที่ผ่านมา

Thesis Title	Development of Active Crossover Networks by Using Uniformly Distributed RC Filter
Student	Mr.Chitsuwan Jamjank ID 41013444 Mr.Paitoon Ruglure ID 41013457
Advisor	Asst.Prof.Uthai Sritheeravirojana Assoc.Prof.Dr.Kankok Janchitrapongvej
Academic Year	2000

ABSTRACT

This thesis proposed the development of active crossover networks by Uniformly distributed RC line (URC) circuit. The methods provide high sloop with linear phase Characteristics of low pass filter and high pass filter. Herein, the stability and sensitivity due to variation of element valuer of the active RC filter.

It can see that the network which is presented has two adjusted parameters, α and k . The response is appropriated the comulative of size in low pass filter and high pass filter which are smooth. From the testing according to network system, we have already adjusted both of two parameters in the optimal points for getting the better than Linkwitz metsod and the previous network.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีทั้งด้านทฤษฎี การปฏิบัติข้อมูลต่าง และองค์ประกอบอื่นๆ อีกมากมาย พร้อมทั้งคำแนะนำ และความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ทั้งด้านเทคนิคต่าง ๆ ตลอดจนความร่วมมือของบุคคลหลาย ๆ ท่าน

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ ผศ.อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ ท่านอาจารย์ รศ.ดร.กนก เงินจระพงค์เวช ที่ได้ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชาการและความรู้ ตลอดจนช่วยให้การแนะนำ และให้คำปรึกษา ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้คำชี้แนะ และขอขอบคุณ นายสรพงษ์ แซ่เตีย ที่ช่วยสอนเทคนิคต่างๆ และการช่วยเหลือในทุกเรื่องจนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

นาย ชิตสุวรรณ แจ่มแจ้ง

นายไพฑูรย์ รักเหลือ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทนำ วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
เนื้อหาปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 1 คณิตศาสตร์ อาร์ชีไลน์ และยูนิฟอร์มคณิตศาสตร์ อาร์ชีไลน์	3
1.1 สายส่ง	3
1.2 โครงสร้างของลัมป์พารามิเตอร์	7
1.3 โครงสร้างของคณิตศาสตร์อาร์ชี	8
บทที่ 2 แนวความคิดในการสร้างวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค	12
2.1 จุดประสงค์การใช้วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค	12
2.2 ข้อแตกต่างของแอกทีฟฟิลเตอร์ และพาสซีฟฟิลเตอร์	12
2.3 การใช้แอกทีฟฟิลเตอร์มีข้อดีกว่าพาสซีฟฟิลเตอร์	13
2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	14
2.5 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	15
2.6 ความถี่คัทออฟ และลักษณะ โรลออฟ	16
2.7 ทฤษฎีของลิงค์วิธไรเลย์	16
2.8 วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คทั่วไป	18
2.9 แนวความคิดในการสร้างวงจร Active Phase Linear Crossover Network	18
2.10 ความราบเรียบทางเฟสกับรูปแบบของวงจร	20
บทที่ 3 การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ด้วยยูอาร์ซี	24
3.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของคณิตศาสตร์อาร์ชี	24
3.2 การออกแบบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ด้วย ยูอาร์ซี	29
3.3 การออกแบบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ โดยใช้โปรแกรมMATLAB	37
บทที่ 4 การสร้างวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้ยูอาร์ซี	51

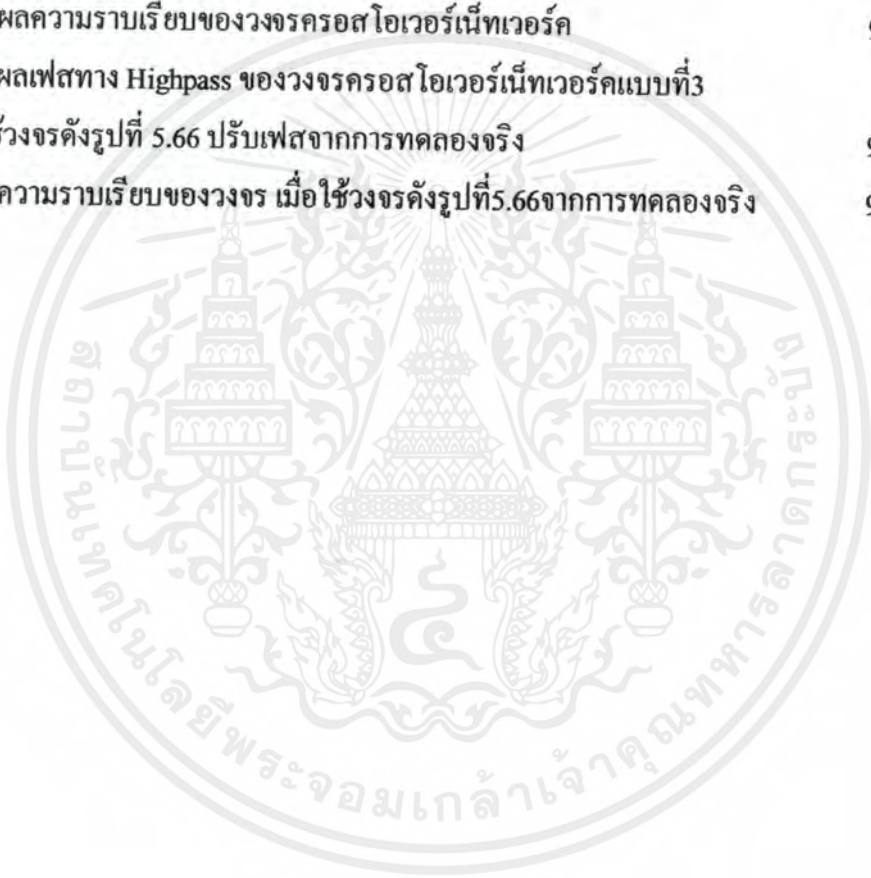
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่1	52
4.2 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่2	54
4.3 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่3	56
4.4 ส่วนประกอบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค	57
บทที่ 5 ผลการทดลอง	59
5.1 ผลการทดลองของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ยูอาร์ซีแบบที่1	59
5.2 ผลการทดลองของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ยูอาร์ซีแบบที่2	71
5.3 ผลการทดลองของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ยูอาร์ซีแบบที่3	82
บรรณานุกรม	105
ภาคผนวก ก. รายละเอียดของวงจร	106
ภาคผนวก ข. โปรแกรม	111
ภาคผนวก ค. รายละเอียดของตัวอุปกรณ์	147

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางการแปลง 2-Port พารามิเตอร์	28
5.1 แสดงผลคอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงจากการทดลองจริง	84
5.2 แสดงผลคอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงจากการทดลองจริง	86
5.3 แสดงผลคอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง	88
5.4 แสดงผลคอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง	90
5.5 แสดงผลความราบเรียบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค	93
5.6 แสดงผลเฟสทาง Highpass ของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.66 ปรับเฟสจากการทดลองจริง	97
5.7 แสดงความราบเรียบของวงจร เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.66 จากการทดลองจริง	99



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 สายส่งสัญญาณ	3
รูปที่ 1.2 ส่วนขยายของ ΔX ในสายส่ง	4
รูปที่ 1.3 แสดงอินพุท และเอาต์พุทพอร์ทของสายส่ง	6
รูปที่ 1.4 แสดง 2-Port Network Model	7
รูปที่ 1.5 แสดง โครงสร้างแบบ T-Network	8
รูปที่ 1.6 แสดง โครงสร้างของ 2 พอร์ท ดิสทริบิวต์อาร์ชี	9
รูปที่ 1.7 แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของดิสทริบิวต์อาร์ชี	10
รูปที่ 1.8 แสดง โครงสร้างและวงจรเน็ตเวิร์คส่วนย่อยของยูนิฟอร์มดิสทริบิวต์อาร์ชี	10
รูปที่ 1.9 แสดงสัญลักษณ์ของดิสทริบิวต์อาร์ชี	10
รูปที่ 2.1 Stereo 2-way System	13
รูปที่ 2.2 Single Channel 3-way System	14
รูปที่ 2.3 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรรองความถี่ต่ำ	14
รูปที่ 2.4 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรรองความถี่สูง	15
รูปที่ 2.5 แสดง Vertical Radiation	19
รูปที่ 2.6 ระบบ 2 ทาง	20
รูปที่ 2.7 ระบบ 3 ทาง	22
รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบ โครงสร้างของสายส่งและดิสทริบิวต์อาร์ชี	24
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของดิสทริบิวต์อาร์ชีเมื่อค่าความนำ g มีค่าน้อยมาก	25
รูปที่ 3.3 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า และ สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์	26
รูปที่ 3.4 วงจรรองความถี่สูงแบบแอกทีฟดิสทริบิวต์อาร์ชี	29
รูปที่ 3.5 วงจรรองความถี่ต่ำแบบแอกทีฟดิสทริบิวต์อาร์ชี	34
รูปที่ 3.6 ผลการตอบสนองทางขนาดของวงจรรองความถี่สูง	37
รูปที่ 3.7 แสดงผลการตอบสนองทางเฟสของวงจรรองความถี่สูง	38
รูปที่ 3.8 แสดงผลการตอบสนองทางกรุปดีเลย์ของวงจรรองความถี่สูง	39
รูปที่ 3.9 แสดง ในควิสท์ไดอะแกรมของวงจรรองความถี่สูง	40
รูปที่ 3.10 แสดง Sensitivity วงจรรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ K	41
รูปที่ 3.11 แสดง Sensitivity วงจรรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R1	41
รูปที่ 3.12 แสดง Sensitivity วงจรรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R2	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.13 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C1	42
รูปที่ 3.14 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C2	43
รูปที่ 3.15 ผลการตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำ	44
รูปที่ 3.16 แสดงผลการตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ	45
รูปที่ 3.17 แสดงผลการตอบสนองทางกรุปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่ต่ำ	46
รูปที่ 3.18 แสดงในควิสต์ที่ไดอะแกรมของวงจรกรองความถี่ต่ำ	47
รูปที่ 3.19 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ K	48
รูปที่ 3.20 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R1	48
รูปที่ 3.21 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R2	49
รูปที่ 3.22 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C1	49
รูปที่ 3.23 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C2	50
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรจริงของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่1	51
รูปที่ 4.2 แสดงวงจรสมมูลของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่1	52
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรจริงของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่2	53
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรสมมูลของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่2	54
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรจริงของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่3	55
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรสมมูลของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้ ยูอาร์ซี แบบที่3	56
รูปที่ 5.1 แสดงรูปวงจรวงจรของวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่1	59
รูปที่ 5.2 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมMatlab	60
รูปที่ 5.3 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมPspice	60
รูปที่ 5.4 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมMatlab	61
รูปที่ 5.5 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมPspice	61
รูปที่ 5.6 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab	62
รูปที่ 5.7 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice	62
รูปที่ 5.8 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab	63
รูปที่ 5.9 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice	63
รูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้โปรแกรมMatlab	64

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.11 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้โปรแกรมPspice	64
รูปที่ 5.12 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความถี่คัทออฟ โดยใช้โปรแกรมPspice	65
รูปที่ 5.13 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความถี่คัทออฟ และความราบเรียบของวงจร โดยใช้โปรแกรมPspice	65
รูปที่ 5.14 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 โดยใช้โปรแกรมMatlab	66
รูปที่ 5.15 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 โดยใช้โปรแกรมPspice	66
รูปที่ 5.16 แสดงวงจรที่ช่วยในการปรับความต่างเฟสของ วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1	67
รูปที่ 5.17 แสดงรูปความต่างเฟสและเฟสทางวงจรรองความถี่สูง เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรมMatlab	67
รูปที่ 5.18 แสดงรูปเฟสทางวงจรรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรมPspice	68
รูปที่ 5.19 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรมPspice	68
รูปที่ 5.20 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความราบเรียบของวงจรเมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16 โดยใช้โปรแกรมPspice	69
รูปที่ 5.21 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความถี่คัทออฟเมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16 โดยใช้โปรแกรมPspice	69
รูปที่ 5.22 แสดงผลตอบสนองทางกรุปคิเดี่ยทางวงจรรองความถี่ต่ำ	70
รูปที่ 5.23 แสดงผลตอบสนองทางกรุปคิเดี่ยทางวงจรรองความถี่สูง	70
รูปที่ 5.24 แสดงรูปวงจรของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2	71
รูปที่ 5.25 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรองความถี่สูง ของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค แบบที่ 1 โดยใช้โปรแกรมMatlab	71
รูปที่ 5.26 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมMatlab	72
รูปที่ 5.27 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมPspice	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.28 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมMatlab	73
รูปที่ 5.29 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมPspice	73
รูปที่ 5.30 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab	74
รูปที่ 5.31 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice	74
รูปที่ 5.32 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab	75
รูปที่ 5.33 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice	75
รูปที่ 5.34 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้โปรแกรมMatlab	76
รูปที่ 5.35 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้โปรแกรมPspice	76
รูปที่ 5.36 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความถี่คัทออฟ โดยใช้โปรแกรมPspice	77
รูปที่ 5.37 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความถี่คัทออฟ และความราบเรียบของวงจร โดยใช้โปรแกรมPspice	77
รูปที่ 5.38 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2 โดยใช้โปรแกรมMatlab	78
รูปที่ 5.39 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2 โดยใช้โปรแกรมPspice	78
รูปที่ 5.40 แสดงรูปเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2 เมื่อนำ inverting มาต่อ โดยใช้โปรแกรมMatlab	79
รูปที่ 5.41 แสดงรูปเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2 ทางด้านHighpass เมื่อนำ inverting มาต่อ โดยใช้โปรแกรมPspice	79
รูปที่ 5.42 แสดงรูปเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2 ทางด้านLowpass โดยใช้โปรแกรมPspice	80
รูปที่ 5.43 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2 เมื่อนำ inverting มาต่อ โดยใช้โปรแกรมPspice	80
รูปที่ 5.44 แสดงผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ทางวงจรกรองความถี่ต่ำ	81
รูปที่ 5.45 แสดงผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ทางวงจรกรองความถี่สูง	81
รูปที่ 5.46 แสดงรูปวงจรวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่3	82

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.47 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมMatlab	83
รูปที่ 5.48 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมPspice	83
รูปที่ 5.49 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงจากการทดลองจริง	84
รูปที่ 5.50 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมMatlab	85
รูปที่ 5.51 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมPspice	85
รูปที่ 5.52 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงจากการทดลองจริง	86
รูปที่ 5.53 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab	87
รูปที่ 5.54 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice	87
รูปที่ 5.55 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง	88
รูปที่ 5.56 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab	89
รูปที่ 5.57 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้โปรแกรมPspice	89
รูปที่ 5.58 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง	90
รูปที่ 5.59 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้โปรแกรมMatlab	91
รูปที่ 5.60 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้โปรแกรมPspice	91
รูปที่ 5.61 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค จากการทดลองจริง	92
รูปที่ 5.62 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค จุดคัทออฟ โดยใช้โปรแกรมPspice	92
รูปที่ 5.63 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค จุดคัทออฟ และความราบเรียบของวงจร โดยใช้โปรแกรมPspice	93
รูปที่ 5.64 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 โดยใช้โปรแกรมMatlab	94
รูปที่ 5.65 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 โดยใช้โปรแกรมPspice	94
รูปที่ 5.66 แสดงวงจรที่ช่วยในการปรับความต่างเฟสของ วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่3	95

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.67 แสดงรูปความต่างเฟสและเฟสทางวงจรรองความถี่สูง เมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรมMatlab	95
รูปที่ 5.68 แสดงรูปเฟสทางวงจรรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรมPspice	96
รูปที่ 5.69 แสดงรูปเฟสทางวงจรรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66ปรับเฟส จากการทดลองจริง	96
รูปที่ 5.70 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่3 เมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรมPspice	97
รูปที่ 5.71 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความถี่คัทออฟเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66 โดยใช้โปรแกรมPspice	98
รูปที่ 5.72 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความถี่คัทออฟเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66 จากการทดลองจริง	98
รูปที่ 5.73 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ความราบเรียบของวงจรมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66 โดยใช้โปรแกรมPspice	99
รูปที่ 5.74 เป็นความต่างเฟสของวงจรรองความถี่สูงเทียบกับอินพุท โดยใช้คิิจิตอลลออสซิล โลส โคปวัต	100
รูปที่ 5.75 เป็นความต่างเฟสของวงจรรองความถี่ต่ำเทียบกับอินพุท โดยใช้คิิจิตอลลออสซิล โลส โคปวัต	100
รูปที่ 5.76 เป็นความต่างเฟสของวงจรรองความถี่ต่ำเทียบกับวงจรรองความถี่สูง โดยใช้คิิจิตอลลออสซิล โลส โคปวัต	101
รูปที่ 5.77 เป็นความต่างเฟสของวงจรรองความถี่ต่ำเทียบกับวงจรรองความถี่สูง เมื่อปรับเฟสดังรูปที่ 5.66โดยใช้คิิจิตอลลออสซิล โลส โคปวัต	101
รูปที่ 5.78 แสดงผลตอบสนองทางกรุปี้เคิลย์ทางวงจรรองความถี่ต่ำ	102
รูปที่ 5.79 แสดงผลตอบสนองทางกรุปี้เคิลย์ทางวงจรรองความถี่สูง	102

บทนำ

ในการพัฒนางจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กนั้นต้องเข้าใจถึงการออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กก่อน ซึ่งการออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กนั้น สามารถสร้างขึ้นจาก วงจรกรองความถี่ (Active Filter) ได้หลายรูปแบบ เช่น แบบเชพบิเชฟ ,แบบบัตเตอร์เวิร์ท แบบทอมสันหรือแบบลิงค์วิธ ซึ่งวงจรกรองความถี่เหล่านี้จะให้ผลการตอบสนองต่อความถี่ที่มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป ดังเช่น วงจรกรองความถี่ แบบบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth) จะให้ผลตอบสนองทางค่านขนาดราบเรียบที่สุด แต่ในช่วงย่านความถี่ผ่านจะมีริบเปิ้ล (Ripple) ส่วนวงจรกรองความถี่แบบ เบสเซล (Bessel) จะให้ผลตอบสนองต่อกรุปดีเลย์ราบเรียบที่สุด ซึ่งข้อดีและข้อเสียของวงจรกรองความถี่เหล่านี้ จะทำให้เลือกวงจรที่เหมาะสมกับงาน ได้เพียงจุดประสงค์เดียวและยังมีรูปแบบวงจรที่คงที่ ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนรูปแบบผลตอบสนองทางขนาดได้ นอกจากนี้การปรับอันดับของ วงจรกรองความถี่ ซึ่งถ้านำมาทำเป็นวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กจะทำให้วงจรมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นซึ่งวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กต่างๆ ไปจะมีความล่าช้าระหว่างความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) กับวงจรกรองความถี่สูง (High Pass filter) ถึงแม้ปัจจุบันจะมี วงจรเฟสลิเนียร์ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ก (Phase Linear Crossover Network) ที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ แต่ไม่สามารถเพิ่มความชันในช่วงความถี่คัทออฟได้และยังทำให้ช่วงความถี่ที่ได้ไม่คงที่ ซึ่งการออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กโดยอาศัยคุณสมบัติของ ยูนิฟอร์ม คิสทรีบิวท์ ฟิลเตอร์ หรือ URC สามารถทำให้ความชันในช่วงความถี่คัทออฟมีค่ามากขึ้นได้

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อศึกษาหลักการทํางาน และแก้ไขปัญหาวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ก (Crossover Network) โดยอาศัยคุณสมบัติของ คิสทรีบิวท์ อาร์ซี ฟิลเตอร์ (Uniformly Distributed RC Filter) เพื่อให้มีคุณสมบัติคือ

1. ขนาดความชันตัดกันที่ -3 dB ทั้ง Low Pass และ High Pass รวมกันได้เป็น 0
2. มุมเฟสที่ได้ จะเป็นค่าความต่างเฟสระหว่าง Low Pass และ High Pass ให้น้อยที่สุดอย่าง มาก ไม่เกิน 90 องศา
3. ลดค่า Group Delay ค่าที่สุด

เนื้อหาปริญญาโท

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นการพัฒนางจรแอนด์ทีฟครอส โอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ยูนิฟอร์มคิสทริบิวท์ อาร์ซีฟิลเตอร์โดยการนำเอาคิสทริบิวท์อาร์ซีไลน์ที่เป็นฟิลเตอร์แบบยูนิฟอร์ม (Uniform) ซึ่งภายในประกอบด้วยความต้านทาน และตัวเก็บประจุ ต่อรวมกับออปแอมป์ มาใช้ในการออกแบบและการพัฒนางจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ซึ่งการทดลองจะใช้หลักการประมาณตัวยูนิฟอร์มคิสทริบิวท์ อาร์ซีฟิลเตอร์ ด้วยโครงสร้างแบบ ลัมป์อิเลิเมนต์อาร์ซี ต่อเข้าประมาณ 10 เซกชั่น แล้วปรับค่าพารามิเตอร์ไปเรื่อยๆจนได้ผลการทดลองที่ต้องการ ซึ่งปริญญาโทฉบับนี้มีเนื้อหาประกอบไปด้วย

บทที่ 1. เป็นการแสดงโครงสร้างของคิสทริบิวท์ อาร์ซี และการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของคิสทริบิวท์ อาร์ซีในรูปแบบต่าง ๆ

บทที่ 2. การแสดงถึงจุดประสงค์ในการสร้างวงจรถอดโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ข้อแตกต่างของแอกทีฟฟิลเตอร์ และพาสซีฟฟิลเตอร์ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน และทฤษฎีของลิ่งควีไรเลีย รวมทั้งวงจรถอดโอเวอร์เน็ตเวิร์คทั่วไป

บทที่ 3 . การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของคิสทริบิวท์ อาร์ซี การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ และการออกแบบวงจรถองความถี่แบบแอกทีฟด้วยยูอาร์ซี ในส่วนของการออกแบบนั้นจะพิจารณาถึงค่ามูฟเฟส ค่าความไวและกรุปดีเลย์ (Group delay)

บทที่ 4. การออกแบบวงจรถอดโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบต่างๆที่ได้พัฒนาขึ้นมา

บทที่ 5. การสร้างวงจรถอดโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้แอกทีฟคิสทริบิวท์ อาร์ซี

บทที่ 6. เป็นการสรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนแนวทางการพัฒนา และการวิจัยเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ส่วนภาคผนวก จะเป็นการแสดงถึงรายละเอียดต่างๆ ของวงจรและรายละเอียดของคุณสมบัติของตัวอุปกรณ์ของไอซีที่ใช้

บทที่ 1

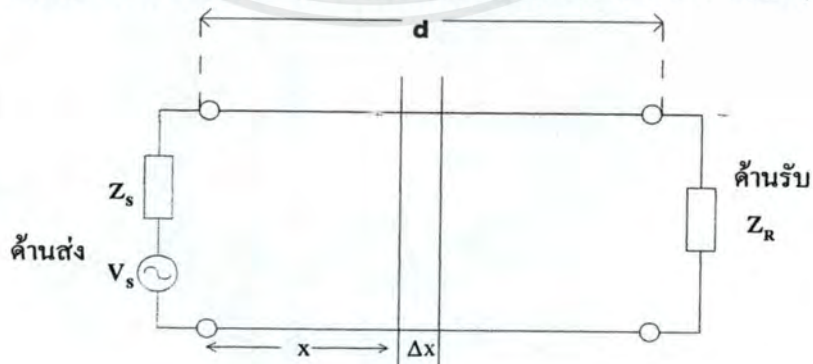
คิสรทริบิวท์อาร์ซีไลน และยูนิฟอร็มคิสรทริบิวท์อาร์ซีไลน

Distribudte RC Line & Uniform Distributed RC Line(URC)

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้มีการเสนอบางแบบวงจร ที่มีส่วนประกอบของเน็ทเวอร์คแบบคิสรทริบิวท์อาร์ซี (distributed RC) แทนการออกแบบวงจรที่ใช้ลัมค็อลิเมนต์(Lumped Element) แบบพาสซีฟ(Passive) หรือแบบแอคทีฟ(Active) ในปัจจุบันเน็ทเวอร์คแบบคิสรทริบิวท์อาร์ซี ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีแบบฟิล์มบาง(Thin Firm) ในการผลิตเป็นไอซี(Integated Circuit) ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปที่คิคว่าและมีขนาดเล็กกว่าเน็ทเวอร์คแบบลัมค็อลิเมนต์อาร์ซี ทำให้การออกแบบวงจรด้วยคิสรทริบิวท์อาร์ซีสามารถนำมาใช้งานได้ง่าย ด้วยเหตุนี้ เน็ทเวอร์คแบบคิสรทริบิวท์อาร์ซีจึงถูกสร้างขึ้นมามากมายรูปแบบ ดังเช่น การสร้างแบบฟิล์มบางแบบ Multi-layer ที่มีชั้นของตัวนำ(Conductor), ความต้านทาน(Resister) และฉนวน(dielectrics) ประกอบคิควเข้าคิควด้วยกันโดยจะมีจุดต่อคิควข้างของชั้นความต้านทานและตัวนำ สำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของคิสรทริบิวท์อาร์ซีใช้หลักการคิควกันกับสายส่ง

1.1 สายส่ง(Transmission Line)

การส่งพลังงานไฟฟ้าจะใช้สายส่ง(TransmissionLine) โดยที่สายส่งนั้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็จะทำงานเหมือนกับว่ามีอินค็กแดนซ์, คาปาซิแดนซ์, รีซิสแดนซ์และคอนค็กแดนซ์ กระจายอยู่ในสายส่งที่มีค่าพารามิเตอร์ l , c , r , g ซึ่งไม่มีค่าความสัมพันธ์กับระยะทางจากคิควส่งที่เรียกว่าสายส่งสัญญาณจากคิควส่ง ไปยังคิควรับ l ที่ห่างจากคิควส่งเป็นระยะ x มีขนาดคิควๆ เป็น Δx



รูปที่ 1.1 สายส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

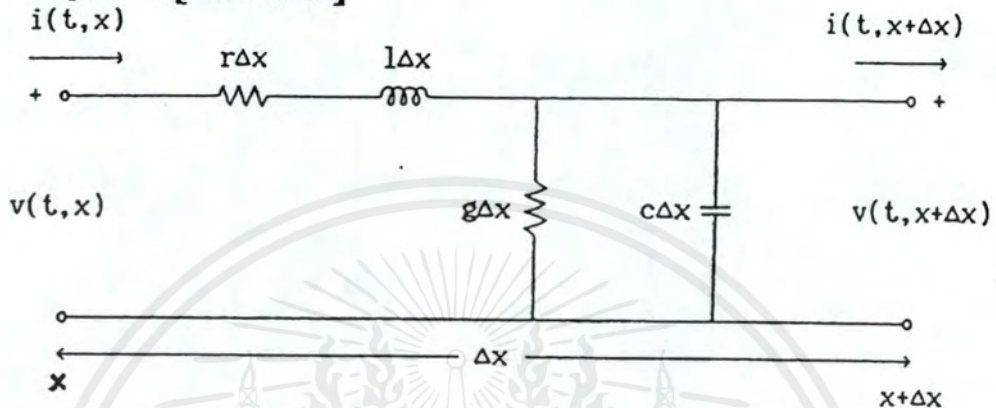
เมื่อขยาย Δx ออกไปจะได้วงจรเสมือนตามรูปที่ 1.2 ซึ่ง $v(t,x)$, $i(t,x)$ จะเป็นศักดาและกระแสที่จุด x ตามลำดับ โดยมีค่า คิสหรีบิวท์อาร์ซี พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

r : Resistance [ohm/meter]

l : Inductance [henries/meter]

g : Conductance [mhos/meter]

c : Capacitance [farads/meter]



รูปที่ 1.2 ส่วนขยายของ Δx ในสายส่ง

จากรูปที่ 1.2 โดยใช้กฎแรงดันและกระแสของ Kirchhoff's สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$v(t, x + \Delta x) - v(t, x) \approx -\Delta x \left(l \frac{\partial i(t, x)}{\partial t} + r i(t, x) \right) \quad (1.1)$$

$$i(t, x + \Delta x) - i(t, x) \approx \Delta x \left(c \frac{\partial v(t, x + \Delta x)}{\partial t} + g v(t, x + \Delta x) \right) \quad (1.2)$$

จากสมการ(1.1),(1.2)เมื่อกำหนดให้ลิมิตของ Δx เข้าใกล้ศูนย์ จะได้สมการ Partial Differential คือ

$$\frac{\partial v(t, x)}{\partial x} = -l \frac{\partial i(t, x)}{\partial t} - r i(t, x) \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial i(t, x)}{\partial x} = -c \frac{\partial v(t, x)}{\partial t} - g v(t, x) \quad (1.4)$$

จาก $v(t,x)$ และ $i(t,x)$ ทำการ Take Lapace Transform จะได้

$$V(s, x) = L[v(t, x)] = \int_0^{\infty} v(t, x) e^{-st} dt \quad (1.5)$$

$$I(s, x) = L[i(t, x)] = \int_0^{\infty} i(t, x) e^{-st} dt$$

เมื่อหาอนุพันธ์สมการ(1.5)เทียบกับ x เมื่อ r, l, c และ g เป็นค่าคงที่ซึ่งจะได้สมการของสายส่งแบบ ยูนิฟอร์ม ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการอนุพันธ์อันดับสองได้ดังนี้

$$V(s, x) = A_1 \cosh \Gamma x + A_2 \sinh \Gamma x \quad (1.6)$$

$$I(s, x) = B_1 \cosh \Gamma x + B_2 \sinh \Gamma x \quad (1.7)$$

เมื่อ Γ เป็นสภาวะการแพร่กระจายของคลื่น (Propagation Function) โดยมีค่าดังนี้

$$\Gamma \sqrt{(ls + r)(cs + g)} \quad (1.8)$$

สำหรับเทอม A_1, A_2, B_1, B_2 เป็นค่าคงที่ และสามารถกำหนดได้คือ สำหรับสายส่งที่มีความยาวเท่ากับ d ซึ่งเป็นเน็ตเวิร์ก 2 พอร์ท โดยทางอินพุตเป็น $V(s,0), I(s,0)$ และทางเอาต์พุตเป็น $V(s,d), I(s,d)$ จากสมการที่(1.6),(1.7) ที่ $x=0$ จะได้

$$A_1 = V(s,0) \quad (1.9)$$

$$B_1 = I(s,0) \quad (1.10)$$

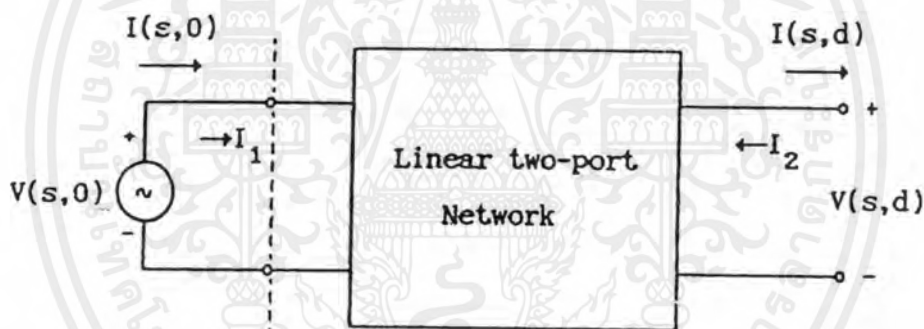
$$A_2 - \sqrt{\frac{ls+r}{cs+g}} I(s,0) = -Z_0 I(s,0) \quad (1.11)$$

$$B_2 = -\sqrt{\frac{cs+g}{ls+r}}V(s,0) = -\frac{V(s,0)}{Z_0} \quad (1.12)$$

เมื่อ Z_0 เป็นคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ ของยูนิฟอร์มไลน์

$$Z_0 = \sqrt{\frac{ls+r}{cs+g}} \quad (1.13)$$

ฉะนั้นอินพุต และเอาต์พุตพอร์ทของสายส่งที่ได้จากสมการ(1.6) ถึงสมการ (1.13) สามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงอินพุต และเอาต์พุตพอร์ทของสายส่ง

สำหรับเน็ตเวิร์กในรูปที่ 1.3 สามารถเขียนเป็นพารามิเตอร์ ABCD ในรูปของเมตริกซ์ (Matrix) ได้ดังสมการ (1.14)

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix} \quad (1.14)$$

ซึ่งสามารถแปลงค่าพารามิเตอร์ของเมตริกซ์เป็น Inverse Transmission Matrix จะได้สมการของยูนิฟอร์มไลน์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{pmatrix} V(s,d) \\ -I(s,d) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \Gamma d & Z_0 \sinh \Gamma d \\ \frac{\sinh \Gamma d}{Z_0} & \cosh \Gamma d \end{pmatrix} \quad (1.15)$$

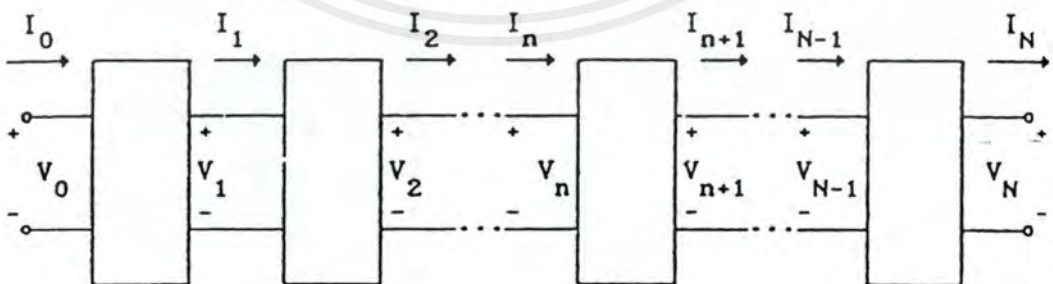
ในทำนองเดียวกัน ในการแปลงค่าพารามิเตอร์ของเมตริกซ์เป็นพารามิเตอร์ของ Open Circuit Impedance และพารามิเตอร์ของ Short Circuit Admittance จะได้ดังนี้

$$[Z] = Z_0 \begin{pmatrix} \coth \Gamma d & \operatorname{csc} h \Gamma d \\ \operatorname{csc} h \Gamma d & \coth \Gamma d \end{pmatrix} \quad (1.16)$$

$$[Y] = \frac{1}{Z_0} \begin{pmatrix} \coth \Gamma d & -\operatorname{csc} h \Gamma d \\ -\operatorname{csc} h \Gamma d & \coth \Gamma d \end{pmatrix} \quad (1.17)$$

1.2 โครงสร้างของลัมต์พารามิเตอร์

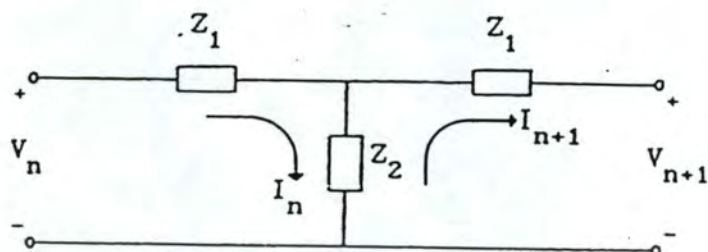
การประมาณโครงสร้างแบบลัมต์เทียบกับโครงสร้างแบบคิสทรีวิทท์จะดิวใช้เนทเวอร์ทแบบ 2 พอร์ต ที่เหมือนกันจำนวนหลายชุดประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 1.4 โดยที่แต่ละชุดจะต้องมีขนาดเล็กและจำนวนมากเมื่อเทียบกับ 1 หน่วยความยาว จำนวนชุดของลัมต์ที่เพียงพอที่จะแสดงคุณสมบัติของคิสทรีวิทท์เนทเวอร์ทขึ้นกับความเที่ยงตรงที่เราต้องการ และช่วงความถี่ที่ใช้ในเทอมเวลาคงที่ของสาย ถ้าเป็นไปได้เราจะต้องใช้จำนวนชุดของลัมต์ ให้มีจำนวนเข้าใกล้อนันต์จึงจะได้โครงสร้างแบบคิสทรีวิทท์



รูปที่ 1.4 แสดง 2-Port Network Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายส่งแบบยูนิฟอร์มที่มีความยาวจำกัด สามารถประมาณโดยใช้โครงสร้างของลัมด์แบบ 2 พอร์ตที่จำนวนหลาย ๆ ชุด ดังรูปที่ 1.4 ในส่วนหนึ่งของสายโดยมีโครงสร้างแบบ T ซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างแบบ T-Network

จากรูปที่ 1.5 จะได้สมการ Inverse Transmission Matrix ของเน็ตเวอร์ทแบบ 2 พอร์ตคือ

$$\begin{pmatrix} V_N \\ -I_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \coth N\zeta & Z_2 \sinh \zeta \\ \frac{\sinh N\zeta}{Z_2 \sinh N\zeta} & \cosh N\zeta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_o \\ I_o \end{pmatrix} \quad (1.18)$$

จากสมการ (1.18) ถ้าแปลงเมทริกซ์เป็นพารามิเตอร์ของ Short Circuit Admittance ซึ่งจะได้

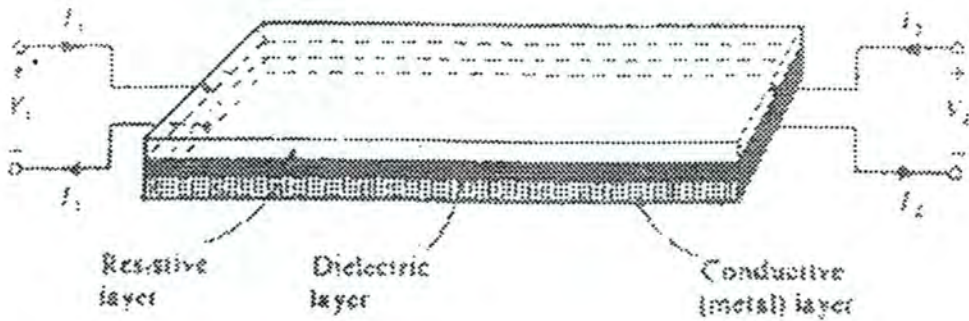
$$[Y] = \frac{1}{Z_1 \sinh \zeta} \begin{pmatrix} \coth N\zeta & -\csc hN\zeta \\ -\csc hN\zeta & \coth N\zeta \end{pmatrix} \quad (1.19)$$

จากสมการ (1.19) ที่ได้จะเห็นว่าเหมือนกับสมการ(1.17) ของเน็ตเวอร์ทแบบคิสทริบิวท์โดยที่เป็นคุณลักษณะของอิมพีแดนซ์ของสาย

1.3 โครงสร้างของคิสทริบิวท์อาร์ชี

เน็ตเวอร์ทแบบคิสทริบิวท์อาร์ชีสามารถทำให้อยู่ภายใน ไอซีโดยมี 2 พอร์ต และมีโครงสร้างดังรูปที่ 1.6 ซึ่งประกอบกันขึ้นจากส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ ส่วนบนสุดจะทำเป็นชั้นของ ความต้านทาน (Resistive Layer), รองมาเป็นชั้นของฉนวน(Dielectric Layer) และชั้นของตัวนำ (Conductive Layer) ความหนาของแต่ละชั้นประมาณ 10^{-5} นิ้ว จึงทำให้วงจรมีขนาดเล็กมากโดยมีโครงสร้าง 2 อย่าง คือ โครงสร้าง Thin-Film และ โครงสร้าง Monolithic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



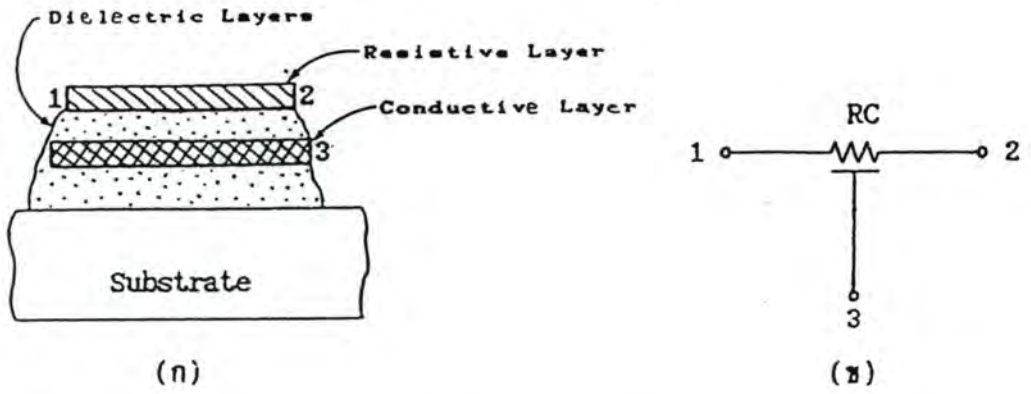
รูปที่ 1.6 แสดง โครงสร้างของ 2 พอร์ต คิสทรีบิวต์อาร์ซี

โครงสร้าง Thin-Film ประกอบด้วยชั้นวัสดุหลายอย่าง ซึ่งวางอยู่บนตัวกลางที่เหมาะสม (Substrate) ตัวอย่างเช่น แผ่นบางๆ ของสารฉนวนออกไซด์ Titanate ด้วยแผ่นของ Nichrome Resistive Film ซึ่งวางไว้ด้านบนและแผ่น Conductive Copper-Film ที่วางไว้ด้านล่างหุ้มห่อด้วยสารฉนวน และอยู่บน Passive Substrate ด้วยวิธี Vaporization หรือ Electrochemical Technique

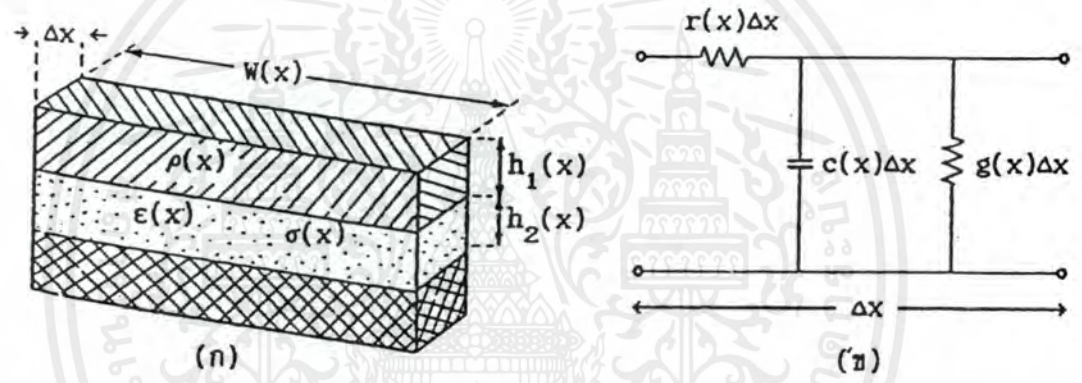
โครงสร้าง Monolithic ประกอบด้วยชั้นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ถูกทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ เช่น Distributed Capacitance ได้มาจากการป้อนกระแสไบอัสกลับข้าง (Reverse Bias) ของรอยต่อภายใน P-N จังก์ชัน

Microcircuit จะถูกนำมาใช้สำหรับ คิสทรีบิวต์อาร์ซีแอคทีฟเน็ตเวิร์ก (Distributed RC Active Network) การทำงานทางไฟฟ้าจากโครงสร้างขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัสดุ และรูปทรงเรขาคณิต วิธีการที่จะใช้การผลิตขึ้นอยู่กับข้อกำหนดและขนาดของโครงสร้างคุณลักษณะทางการทำงาน ตัวอย่าง โครงสร้างของวงจร ยูนิฟอร์มคิสทรีบิวต์อาร์ซี (Uniformly Distributed RC) ซึ่งอยู่ภายในไอซีแสดงดังรูปที่ 1.7(ก) และที่สำคัญลักษณะของวงจรแสดงดังรูปที่ 1.7(ข)

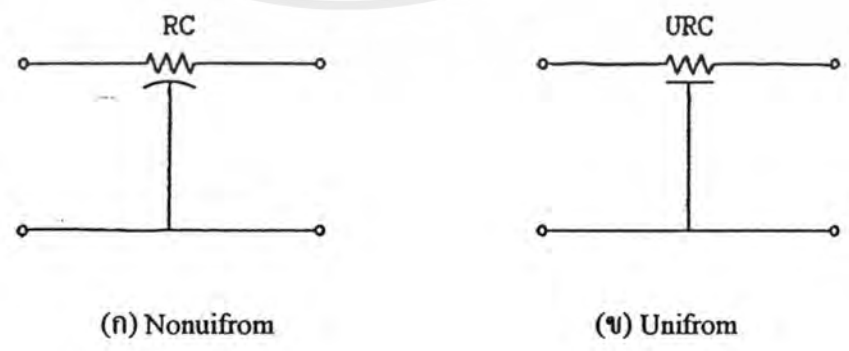
และเน็ตเวิร์กแบบ 2 พอร์ตของคิสทรีบิวต์อาร์ซี โดยมีลักษณะเหมือนกับรูปที่ 1.8 (ข) ถ้าพิจารณาพารามิเตอร์ r, c และ g เราจะได้ว่าขณะมีการสูญเสียของการรั่วไหล (leakage) ของความนำ $g(x)$ ในฉนวน มีค่าน้อยเป็นที่ยอมรับได้ เมื่อค่าความนำมีค่าน้อยกว่าค่าคาปาซิแตนซ์มากๆ จะสามารถตัดค่า g ทิ้งได้ คือให้ค่า g มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะได้เน็ตเวิร์กแบบคิสทรีบิวต์อาร์ซี ถ้า r และ c ไม่แปรเปลี่ยนตามความยาวของ x จะเป็นแบบยูนิฟอร์มคิสทรีบิวต์อาร์ซี ในกรณีเดียวกันถ้า r และ c เปลี่ยนแปลงตามความยาวของ x จะเป็นนอนยูนิฟอร์มคิสทรีบิวต์อาร์ซี แสดงในรูปที่ 1.9(ก) ในขณะที่เส้นโค้งบ่งบอกถึงนอนยูนิฟอร์ม ถ้าเส้นได้ R เป็นเส้นตรงจะเป็นเน็ตเวิร์ก แบบยูนิฟอร์มคิสทรีบิวต์อาร์ซีไลน์ ดังแสดงในรูปที่ 1.9 (ข)



รูปที่ 1.7 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของยูนิฟอร์มคิสทรีบิวท์อาร์ซี



รูปที่ 1.8 แสดงโครงสร้างและวงจรมิติเวอร์คของส่วนย่อย ของคิสทรีบิวท์อาร์ซี



รูปที่ 1.9 แสดงสัญลักษณ์ของคิสทรีบิวท์อาร์ซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงงานนี้เป็นการใช้ ยูนิฟอร์มคิสทริบิวท์อาร์ซี ในการออกแบบวงจร จึงขอก้าวถึงเน็ทเวอร์ทแบบยูนิฟอร์มคิสทริบิวท์อาร์ซีเท่านั้น ซึ่งค่า r และ c ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าของ x ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงแรงดัน และกระแสจะเหมือนกันกับสมการ (1.15) ของยูนิฟอร์มไลน์ โคนให้อินคัตแดนซ์ (i) และคอนคัตแดนซ์ (g) มีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับสายที่มีช่วงความยาว d จะได้ผลรวมของความต้านทานทั้งหมด R เท่ากับ rd และผลรวมของค่าประจุทั้งหมด C เท่ากับ cd ฉะนั้นสมการ (1.16) และ (1.17) ค่ายูนิฟอร์มคิสทริบิวท์อาร์ซี สามารถเขียนพารามิเตอร์อยู่ในรูปความต้านทาน (Impedance Parameter) และพารามิเตอร์ความนำ (Admittance Parameter) ได้คือ

$$[Z] = \sqrt{\frac{R}{SC}} \begin{pmatrix} \coth h \sqrt{SRC} & \csc h \sqrt{SRC} \\ \csc h \sqrt{SRC} & \coth h \sqrt{SRC} \end{pmatrix} \quad (1.20)$$

และ

$$[Y] = \sqrt{\frac{S}{RC}} \begin{pmatrix} \coth h \sqrt{SRC} & -\csc h \sqrt{SRC} \\ -\csc h \sqrt{SRC} & \coth h \sqrt{SRC} \end{pmatrix} \quad (1.21)$$

แนวความคิดในการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์ค

2.1 จุดประสงค์ในการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์ค

ในระบบเครื่องเสียงนั้น วิธีการที่จะนำเอาสัญญาณที่ผ่านการขยายจากแอมพลิฟายเออร์ซึ่งเป็นสัญญาณขนาดใหญ่ออกไปใช้นั้นต้องมีอุปกรณ์รองรับสัญญาณนั้น ซึ่งอุปกรณ์นั้นคือลำโพง แต่เรามักจะพบปัญหาตรงที่ ไม่สามารถออกแบบให้ลำโพงตัวเดียวนั้นสามารถตอบสนองความถี่ตลอดย่านความถี่เสียง เนื่องจากลำโพงโดยทั่วไปจะมีการตอบสนองความถี่จำกัดอยู่ในช่วงย่านหนึ่งย่านใดเท่านั้น เมื่อพ้นไปจากย่านความถี่นั้นแล้วการตอบสนองความถี่ก็จะถูกลดทอนลง และอาจเกิดการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ เราจึงจำเป็นต้องนำเอาลำโพงหลายๆ ตัวเข้ามาต่อร่วมกันเพื่อที่จะสามารถถ่ายทอดสัญญาณที่จะผ่านเข้ามาได้อย่างถูกต้องครบถ้วน แต่ในการนำเอาลำโพงหลายๆ ตัวมาต่อร่วมกันนั้น ไม่สามารถที่จะทำได้โดยตรง จึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดแบ่งความถี่ให้กับลำโพงตามคุณลักษณะเฉพาะของลำโพงแต่ละตัว โดยตัวที่ทำหน้าที่แบ่งความถี่นี้มีชื่อว่า วงจรออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์ค

วงจรออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์คนี้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

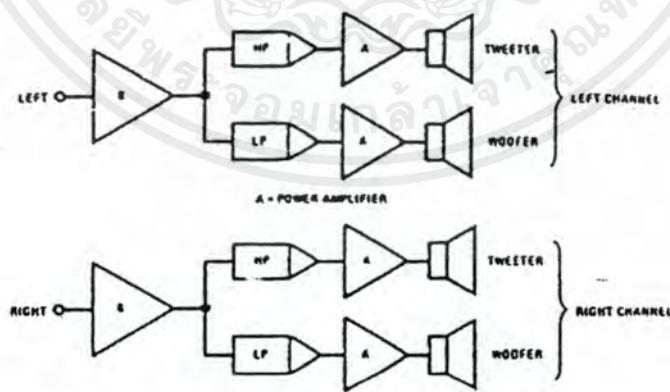
1. วงจรพาสซีฟออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์ค หรือ ไฮ-เลเวลออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์ค
2. วงจรแอคทีฟออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์ค หรือ โล-เลเวลออสซิลเลเตอร์เน็ทเวอร์ค

2.2 ข้อแตกต่างของแอคทีฟฟิลเตอร์ และพาสซีฟฟิลเตอร์

เหตุที่มีการนำเอาแอคทีฟฟิลเตอร์ มาใช้แทนพาสซีฟฟิลเตอร์ในวงจรนั้น เนื่องจากการใช้แอคทีฟฟิลเตอร์โดยการนำเอาออปแอมป์มาใช้ในช่วงความถี่เสียง (Audio Frequency) จะมีผลดีกว่าพาสซีฟฟิลเตอร์ โดยในวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์สามารถตัดลวดตัวนำอันเป็นสาเหตุให้วงจรมีขนาดใหญ่ มีราคาแพง เมื่อเทียบกับวงจรพาสซีฟฟิลเตอร์ ในวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์จะใช้เพียง R,C ในวงจร อีกทั้งการใช้ ขดลวดตัวนำจะทำให้ต้องใช้กำลัง (Power) เป็นอันมากเองจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnatic Field) ที่เกิดขึ้นในตัวลวดตัวนำนั้นๆ

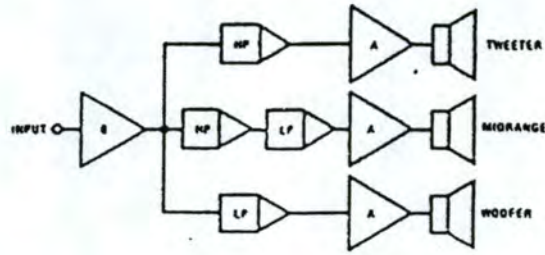
2.3 การใช้แอกทีฟฟิลเตอร์ มีข้อดีกว่าพาสซีฟฟิลเตอร์ที่มองเห็นชัดเจนดังนี้

1. การปรับค่าความถี่และอัตราขยาย (Gain) ในวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ มีความคล่องตัวกว่าในวงจรพาสซีฟฟิลเตอร์ โดยเฉพาะออปแอมป์ของวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์มีสัญญาณลดทอนต่ำ
2. วงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ไม่มีปัญหาเรื่อง Loading ของวงจรขยายอินพุตเนื่องจากความต้านทานด้าน Input Resistance สูงและความต้านทานด้าน Output Resistance ต่ำของตัวออปแอมป์เอง
3. ราคาของแอกทีฟฟิลเตอร์ถูกกว่าพาสซีฟฟิลเตอร์สาเหตุจากราคาของออปแอมป์ในปัจจุบันมีราคาถูกประกอบกับสามารถลดค่าขดลวดตัวนำในวงจร ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีในวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์
4. สาเหตุอันเกิดมาจากรูปแบบของวงจร ที่ต้องใช้พาสซีฟเน็ตเวิร์กที่กั้นอยู่ระหว่างแอมป์ปพลิเคชันกับลำโพง ทำให้ความต้านทานภายในของวงจรพาสซีฟ เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นการลดทอนสัญญาณ (Power Loss) ในตัวความต้านทาน ทำให้กำลังที่จะขับออกทางลำโพงลดกำลังต่ำกว่าที่ควร ถึงแม้ว่าการใช้วงจรพาสซีฟฟิลเตอร์สามารถทำให้ตัดความถี่ช่วงไหนก็ได้โดยไม่ยาก แต่เมื่อประกอบขึ้นแล้วการเปลี่ยนช่วงความถี่ตัด เพื่อให้เหมาะสมกับลำโพง หรือห้องฟังเสียง กระทำได้ยากเนื่องจากต้องเปลี่ยนค่าขดลวดตัวนำ จึงเป็นเรื่องยากที่จะทำวงจรให้ได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงๆ อีกทั้งต้องลงทุนสูง ข้อบกพร่องดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ง่ายและดีกว่า เมื่อต้องใช้วงจรประเภทแอกทีฟฟิลเตอร์



รูปที่ 2.1 Stereo 2-way System

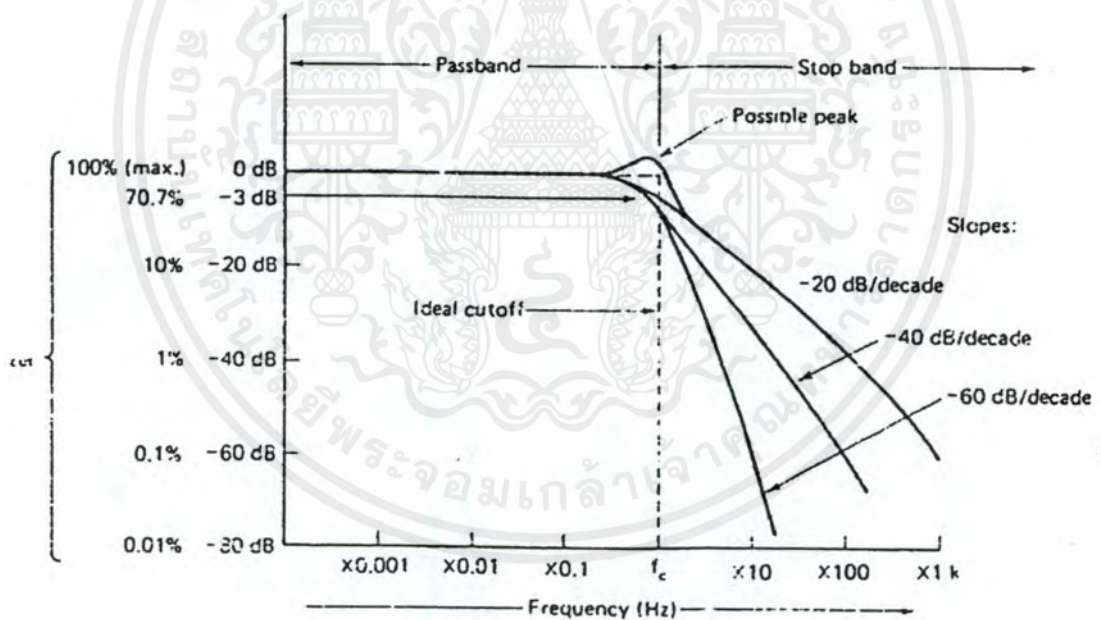
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Single Channel 3-way System

2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน คือ วงจรที่ทำหน้าที่กรองเอาความถี่ต่ำกว่าที่กำหนดให้ผ่านไป ส่วนความถี่สูงกว่าจะถูกตัดออกไป



รูปที่ 2.3 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

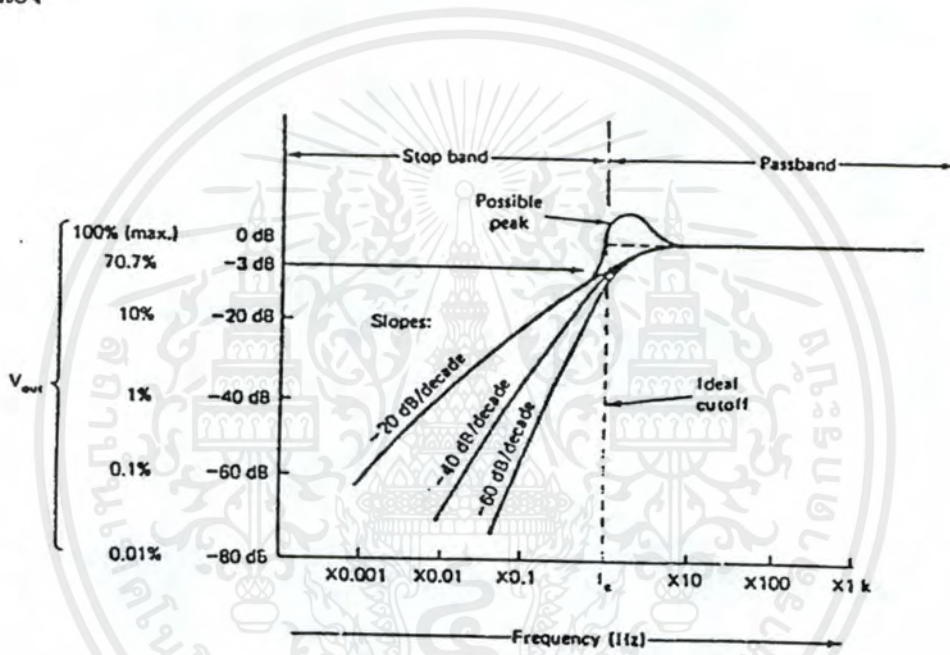
ในทางอุดมคติ จากรูปสัญญาณที่เข้ามามีความถี่ต่ำก็จะสามารถที่จะผ่านได้ เมื่อความถี่สูงขึ้นจนถึงค่าๆ หนึ่งก็จะไม่สามารถผ่านไปได้และจะถูกตัดทิ้งไปหมด เราเรียกจุดๆนี้ว่า ความถี่คัทออฟ หรือเขียนย่อได้ว่า f_c แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่าลักษณะของความถี่ที่จะตัดออกไปนี้จะไม่เป็นเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่น แค่จะค่อยๆ ถูกลดทอนอัตราการขยายลงเรื่อยๆ ลักษณะของรูปที่ได้ก็จะมีความชันที่ค่อยๆ ลดลง จุดความถี่คutoff ของกราฟที่ได้ ก็คือจุดที่ขนาด V_{out} เท่ากับ 0.707 ของขนาดแรงดันสูงสุด เราเรียกช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า f_c ว่าช่วงพาสแบนด์ (Pass Band) และเรียกช่วงของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า f_c ว่าช่วงสตอปแบนด์ (Stop Band)

2.5 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

วงจรกรองความถี่สูงผ่าน คือ วงจรที่ทำหน้าที่กรองความถี่สูงที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่าจะถูกกำจัดออกไป ซึ่งเราจะพบว่าจะมีการทำงานที่ตรงข้ามกันกับวงจรกรองความถี่ต่ำนั่นเอง



รูปที่ 2.4 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง

จากรูปในทางอุดมคติจะเห็นว่า ความถี่ที่ต่ำกว่าที่กำหนดจะไม่ปรากฏออกมาวงจรจะให้สัญญาณเอาต์พุตที่คutoff ความถี่ที่เข้ามามีค่าเท่ากับ หรือมากกว่าความถี่ที่กำหนดเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจะเห็นว่าไม่เป็นเช่นนั้น กล่าวคือสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่กำหนดก็จะมีปรากฏออกมาด้วยแต่จะมีอัตราขยายที่น้อยกว่า โดยอัตราขยายจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อสัญญาณมีความถี่เข้าใกล้ความถี่ที่กำหนด จุดที่สัญญาณมีขนาดเท่ากับ 0.707 ของขนาดแรงดันสูงสุด คือ ความถี่คutoff หรือ f_c หรือจุดที่อัตราขยายเท่ากับ -3dB (ถ้าให้อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 0dB)

2.6 ความถี่คัทออฟ และลักษณะโรลออฟ (Roll Off)

ความถี่คัทออฟ คือ จุดหรือความถี่ที่ขนาดของเอาต์พุตจากวงจรความถี่ลดลง 0.707 เท่า หรือ -3dB ของขนาดสูงสุด (f_{CH} และ f_{CL}) เช่นบอกถึงความถี่คัทออฟของ LPF อยู่ที่ 500 Hz คิดเป็นอัตราส่วนของเอาต์พุตต่ออินพุตที่ -3dB แต่อินพุตคิดเป็น 0 dB ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 500 Hz จะมีอัตราส่วนเอาต์พุต กับแรงดันอินพุต -3 dB หรือขนาดแรงดันอินพุตจะมีขนาด 0.707 เท่าของแรงดันอินพุตในช่วงความถี่ที่ผ่านได้สูงสุด

โรลออฟ หรือฟอลออฟ (Roll Off หรือ Fall Off) คือลักษณะการลดลงของการตอบสนองความถี่ต่ำ จากจุดคัทออฟลงมาว่ามีความชันมากน้อยเพียงใด มักบอกเป็นหน่วย dB/Octave หมายความว่า เอาต์พุตของวงจรรองความถี่ จะลดลงเท่าใด (dB) เช่น การตอบสนองของ HPF มีอัตราการโรลออฟ -6 dB/Octave หมายความว่า ณ ความถี่ต่ำกว่าจุดคัทออฟ $f_{\text{CL}}/2$ จะมีเอาต์พุต -9dB และต่ำกว่า 4 เท่า จะมีเอาต์พุต -15dB เป็นต้น ขนาดของการโรลออฟจะสัมพันธ์กับอันดับ

อันดับจะมีความสัมพันธ์ กับค่าโรลออฟที่ -6dB/Octave ต่ออันดับหนึ่ง ฉะนั้นวงจรรองความถี่อันดับ 2 จะมีโรลออฟ -12dB/Octave และวงจรความถี่อันดับ 3 จะมีโรลออฟ -18dB/Octave จะเห็นได้ว่า ค่าโรลออฟมีค่าเป็นจำนวนเท่ากับอันดับ ดังนั้นจำนวนอันดับจะบอกได้ว่าวงจรความถี่นั้นๆ จะสามารถตัดความถี่ที่ไม่ต้องการทิ้งได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งการสร้างแอกทิฟฟิลเตอร์ อันดับสูงๆจะทำให้ยากกว่าวงจรรองความถี่อันดับต่ำๆ

2.7 ทฤษฎีของลิ่งควีร์ไรเลย์

หลักการของลิ่งควีร์ไรเลย์ ก็คือ วงจรรองความถี่ที่มีเฟสคงที่ และอัตราความชันย่านคัทออฟสูงด้วยวงจรหน่วงเวลา (Time delay)

วงจรครอสโอเวอร์เน็ทเวอร์คที่มีคุณภาพนั้น จะต้องประกอบไปด้วย

1. ขนาด (Magnitude) ในการรวมกันของโลพาส (Low pass Filter : LPE) และ ไฮพาส (High Pass Filter : HPF) ต้องรวมเรียงดังสมการ $M(\omega) = |H_L(j\omega) + H_H(j\omega)| = 1$ เพื่อที่จะควบคุมเสียงที่เอาต์พุตให้คงที่
2. อัตราการคัทออฟ (Cut-off Rate) จะต้องชันมากพอ ทั้งในวงจรโลพาส และไฮพาสฟิลเตอร์ $H_L(j\omega), H_H(j\omega)$ ในย่าน Stop band
3. การตอบสนองของขั้วที่ยอมรับได้ ในการรวมเอาต์พุตทั้งสอง ปกติต้องทำให้เกิดการอินเฟส (Inphase) กัน ทั้งโลพาส และ ไฮพาส $\phi_L(\omega) + \phi_H(\omega)$
4. การตอบสนองเฟส (Phase response) ในการรวมเอาต์พุตทั้งสอง หากค่าเฟสรวมที่ต้องการ $\phi_r(\omega) = \arg H_L(j\omega) + H_H(j\omega)$ และลักษณะที่เราต้องการมากที่สุดจะต้องให้เฟสเป็นแนวตรง (Phase linearity) $\phi_r(\omega) = \tau\omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าของ T จะเทียบเท่ากับค่าของความล่าช้าของเวลาในการเชื่อมวงจร

คอกจากนั้นเราจะใช้ค่า $H_L (S)$ และ $H_H (S)$ แสดงค่าของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงจร
 โลพาส และ ไฮพาสฟิลเตอร์ ตามลำดับ ส่วนในรูปแบบของความถี่ $S = \sigma + j\omega$ ซึ่ง $\omega = 2\pi f$
 เป็นความถี่เชิงเรเดียน (Radian) ส่วนในรูปแบบของ โพลาร์ (Polar Form) เราจะเขียนเป็นสมการของ

$$H(j\omega) = M(\omega)e^{j\phi(\omega)} \quad (2.1)$$

ซึ่งค่า $M(\omega)$ เป็นขนาด และ $\phi(\omega)$ เป็นเฟสของ $H(j\omega)$ ซึ่งตัวห้อย L หรือ H จะ
 แสดงถึงโลพาส และ ไฮพาสฟังก์ชัน ตามลำดับ ส่วนตัวห้อย S จะแสดงถึงการเชื่อมซิสเต็ม
 ฟังก์ชัน (System Function)

ความต้องการในขนาดที่ราบเรียบเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งจะกำหนดโดยความรู้ลึกที่สามารถรับรู้
 ได้จากการ ได้ยินเสียงของหูมนุษย์ ทั้งนี้เป็นความต้องการขั้นพื้นฐานเลยในการทำวงจรครอสโอ
 เวอร์เน็ตเวิร์คที่จะให้ได้คุณภาพที่ดี ในการออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค เป็นสิ่งจำเป็นที่
 จะต้องมีอัตราความชันคัทออฟดีพอ การตอบสนองต่อขั้ว (Pole Response) การตอบสนองต่อ
 เฟส อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้นยังมีข้อเสียอยู่ ในการพิจารณาประโยชน์ของเฟสลิเนียร์

หลักการขั้นพื้นฐานจะตอบสนองต่อเครื่องดนตรีต่างๆ นั้นยังไม่กระจ่างดีพอ แต่ถึงเหล่านี
 นี้เหมาะที่กล่าวถึง ัญญาณที่เป็นชนิด (All Pass Phase Characteristic) ด้วยครอสโอเวอร์ธรรมดา
 ได้เป็นสิ่งที่มิประโยชน์มากในการรับรู้โครงสร้างของวงจรครอสโอเวอร์ชนิดใหม่ๆ โดยเฉพาะ
 อย่างยิ่งวงจรครอสโอเวอร์ที่สามารถสร้างขึ้นได้จริงในห้องทดลอง ที่มีลำโพงมาตรฐานอยู่ ซึ่งพบ
 ว่าวงจรครอสโอเวอร์จะต้องพิถีพิถันในความราบเรียบทางขนาด และอัตราการคัทออฟ การตอบ
 สอนของเฟส และการปรับปรุงให้ดีขึ้นในด้านการตอบสนองของขั้ว เป็นจุดมุ่งหมายที่ว่าทำไม
 ต้องมีการนำเสนอดระกฏวงจรครอสโอเวอร์ที่มีเฟสคงที่ ความชันสูงด้วยความล่าช้าทางเวลานี้ ถึง
 แรกที่สำรวจเกี่ยวกับวงจรครอสโอเวอร์ธรรมดา พบว่าวงจรเหล่านี้ต้องการอัตราการคัทออฟที่มี
 ความชันสูง การตอบสนองต่อขั้วดีเยี่ยม และการตอบสนองต่อเฟสเพียงพอที่จะยอมรับได้ และเรา
 จะไม่พิจารณาถึงวงจรอันดับสองชนิดบัตเตอร์เวิร์ททั้งโลพาสและไฮพาสฟิลเตอร์ (Second Order
 Low และ High Pass Butterworth Filter) ซึ่งไม่พบขนาดที่ราบเรียบตามความต้องการ

2.8 วงจรครอสโอเวอร์ธรรมดาทั่วไป

วงจรครอสโอเวอร์เบื้องต้นที่เป็นวงจรอันดับหนึ่งทั้งโลพาส และไฮพาสฟิลเตอร์ ประกอบด้วยความถี่ เรเดียน ω_0 กล่าวคือ

$$H_L = \frac{\omega_0}{\omega_0 + S} = \frac{1}{1 + S_n} \quad (2.2)$$

$$H_S = H_L \pm H_H = \frac{1 \pm S_n}{1 + S_n} \quad (2.4)$$

$$H_H = \frac{S}{\omega_0 + S} = \frac{S_n}{1 + S_n} \quad (2.3)$$

แบบเฟสที่ไม่ตรงกัน แบบอันดับหนึ่งธรรมดา โลพาส และ ไฮพาส จะอินเฟสกันทุกๆที่ (ซึ่งจะลดทอนขั้วให้เข้าใกล้) และจะได้รับความชัน 20dB/decade (6dB/octave) ซึ่งไม่เพียงพอในการเบี่ยงเบนของตัวจับความถี่สูง ภายใต้ความถี่ครอสโอเวอร์ เรพถือขนาด $M_H(\omega_n)$ และ $M_L(\omega_n)$ $\phi_H(\omega_n)$ และ $\phi_L(\omega_n)$ ของ H_L และ H_H ซึ่งแสดงในสมการในรูปแบบของความถี่เรเดียน $\omega_n = \omega/\omega_0$.

2.9 แนวความคิดในการสร้างวงจร Active Phase Linear Crossover Network

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรแอคทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ซึ่งมักเกิดขึ้นกับวงจร 2 ทาง หรือ 3 ทาง ซึ่งประกอบด้วยวงจร LPF , HPF ,BPF นั้นเกิดขึ้นจากความล่าช้าทางเวลาของวงจร โดยที่วงจร LPF ทำให้สัญญาณช้าลง ส่วน HPF จะทำให้สัญญาณเร็วขึ้น อันจะเป็นผลให้เกิดปัญหากับวงจรแอคทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คที่จุดตัดคือ

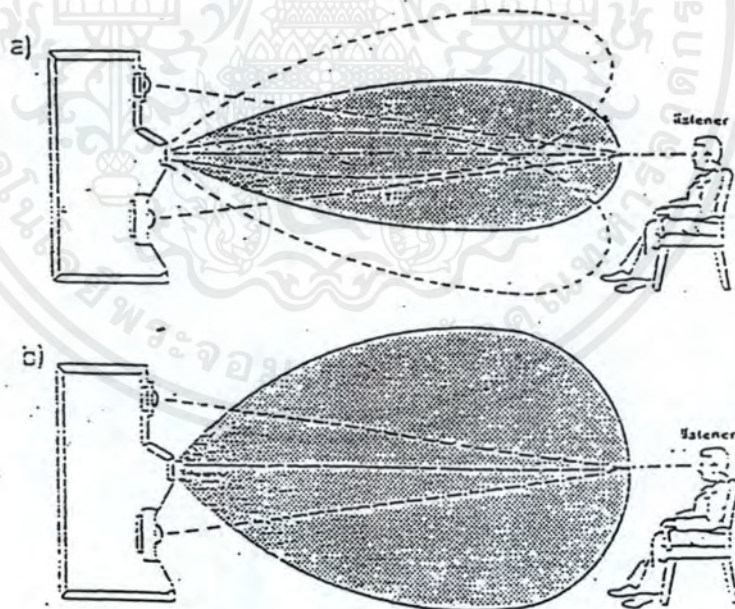
1. ทำให้สัญญาณจากสองส่วนลดสัญญาณจากอีกส่วนหนึ่งออก
2. ความแตกต่างของเฟสระหว่างสัญญาณทั้งสอง มีผลกับประสิทธิภาพของการกระจายของสัญญาณ (Radiation) ของระบบ
3. รูปแบบของการกระจายคลื่น (Radiation Pattern) จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่

ในบทความของสแตนลีย์ พี ลิพชิทซ์ และ จอห์นแวนเดอร์คอย (Stanley Lipshiz and John Van Derlooy) เสนอแนวทางเพื่อแก้ปัญหากับข้อบกพร่องดังกล่าว โดยใช้วงจรที่เรียกว่า เฟสลิเนียร์ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค (Phase Linear Crossover Network)

การทำให้เฟสลิเนียร์ โดยใช้วงจร LPF ที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งสามารถทำความถี่สูงในขณะเดียวกัน ด้วยวิธีเพิ่มวงจรหน่วงเวลา และนำมาลบกันเข้าช่วย ถึงแม้วงจรหน่วง จะไม่สามารถทำความถี่ได้คงที่ตลอดย่านความถี่อย่างแน่แท้ แต่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ช้ามาก ผลที่ได้จะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของเฟส ระหว่างเอาต์พุตของสัญญาณทั้งสอง โดยเฉพาะในย่านความถี่ที่จุดตัด (Crossover Point)

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ของลำโพงตามระบบครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คเดิม ซึ่งมีรูปแบบค่อนข้างแคบตลอดพื้นที่ ตามทิศทางของลำโพง โดยที่การกระจายรูปแบบจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ อันเป็นเหตุให้โลบ (lobe) เสงขึ้นหรือลดลง แต่ในกรณีวงจรเฟสลิเนียร์ จะมีผลให้โลบขยายกว้างขึ้นกว่าเดิม พุ่งไปข้างหน้าตลอดย่านความถี่ เมื่อผู้ฟังอยู่กลางของแนวนอน ตามรูป a) แบบทั่วไป และ b) เป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของเฟสลิเนียร์ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค



รูปที่ 2.5 แสดง Vertical Radiation

a) Conventional network

b) Phase linear network

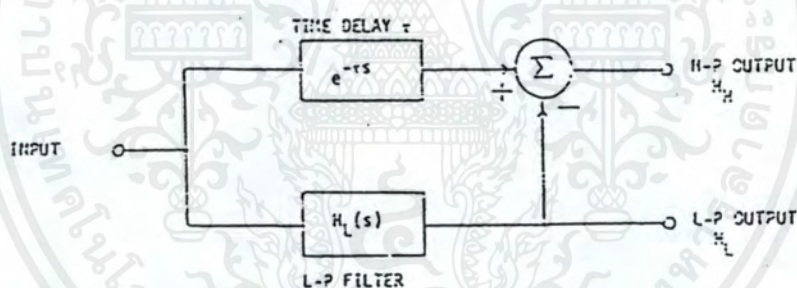
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแนวความคิดในการสร้างวงจรเฟสลิเนียร์ดังกล่าวแล้ว ยังพบว่าปัญหาส่วนที่ต้องนำมาแก้ไข 2 ประการคือ

1. ยังมีการเลื่อนเฟสเหลืออยู่ แต่ไม่มีปัญหาในด้านสัญญาณที่ลดทอนลงตลอดย่าน
2. การเลื่อนเฟสเกิดจากตัววงจรเองมากกว่าเกิดจากวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบถึง 2 เท่า ดังนั้นจึงทำให้มองเห็นว่า วงจรกรองความถี่ต่ำต้องเลือกใช้ในอันดับคู่ เช่น 2, 4, 6,... โดยนัยนี้จึงเลือกอันดับที่ 4 เป็นวงจรกรองความถี่ ซึ่งเป็นวงจรที่ไม่ยุ่งยากมากนัก โดยใช้วงจรอันดับที่ 2 มาทำการต่อแคสเคดเข้า ทำเป็นวงจรกรองความถี่ 4 เพื่อให้ได้วงจรที่มีเฟสเดียวกัน ตามแนวคิดดังกล่าว จึงได้ผลเป็นวงจรที่มีเฟสเดียว มีความถี่ครอสโอเวอร์เน็ทเวอร์คที่จุด -6dB ไม่มีการเลื่อนเฟสของช่วงสัญญาณ ตามภาพรูปที่ 2.6

2.10 ความราบเรียบทางเฟส (Phase Linearity) กับรูปแบบของวงจร

หลักการของระบบ 2 ทาง



รูปที่ 2.6 ระบบ 2 ทาง

ตามรูป 2.6 วงจรหน่วงเวลา (Time Delay Circuit) เป็นวงจรที่สำคัญที่จะช่วยให้มีความราบเรียบทางเฟส เมื่อนำสัญญาณทั้งสองมารวมกันเป็นลักษณะวงจรถบ จะเป็นทำให้ได้ความถี่ 2 ทาง ตามต้องการ คือสัญญาณความถี่ต่ำ และสัญญาณความถี่สูง โดยที่วงจร LPF ในอันดับที่ 4 รับสัญญาณเข้า ผ่านสัญญาณความถี่ต่ำออกทางเอ๊าท์พุท ขณะที่สัญญาณเข้าอีกด้านหนึ่งผ่านวงจรหน่วงเวลา ที่ออกแบบวงจรให้มีเฟสเดียวกันกับวงจร LPF และทำงานเป็นวงจรกรองความถี่ผ่านตลอด เมื่อสัญญาณผ่านวงจรหน่วงเวลาสัญญาณรวมกันจะเหลือสัญญาณเป็นสัญญาณผ่านวงจรหน่วงเวลา สัญญาณรวมกันจะเหลือสัญญาณเป็นสัญญาณของ HPF ซึ่งมีเฟสเดียวกันกับวงจร LPF เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถที่จะเขียนให้ออกมาอยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

จาก

$$H_L(S) + H_H(S) = 1 \quad (2.5)$$

$$H_H(S) = 1 - H_L(S) \quad (2.6)$$

วงจรรองความถี่ต่ำผ่านจะมีความชันสูง ซึ่งเราทราบว่าวงจรรองความถี่ต่ำจะมีผลทำให้เกิดสัญญาณเกิดความล่าช้า เราจึงทำการชดเชยสัญญาณ เพื่อที่จะทำให้ผลรวมของวงจรมีค่าเท่ากัน การชดเชยความล่าช้าของสัญญาณทำได้โดยใช้วงจรหน่วงเวลา หรือ วงจรรองความถี่ผ่านทั้งหมดค่า

$$H_H(S) = e^{-s\tau} - H_L(S) \quad (2.7)$$

ของความล่าช้า ของเวลาที่เราทำการชดเชย กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $e^{-s\tau}$ แทนลงในสมการ

เราจะได้วงจรรองความถี่สูงผ่าน โดยการลบวงจรรองความถี่ต่ำผ่านออกจากค่าความล่าช้าของเวลา ทำให้ได้ขนาดที่สมบูรณ์และเป็นเชิงเส้น

ค่าความล่าช้าทางเวลา τ ควรจะกำหนดให้เท่ากับ 0 Hz ค่าของเฟสและกรุปดีเลย์ของวงจรรองความถี่ผ่าน คือ

$$\tau = -\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\phi_L(\omega)}{\omega} = -d \frac{\phi_L(0)}{\omega} \quad (2.8)$$

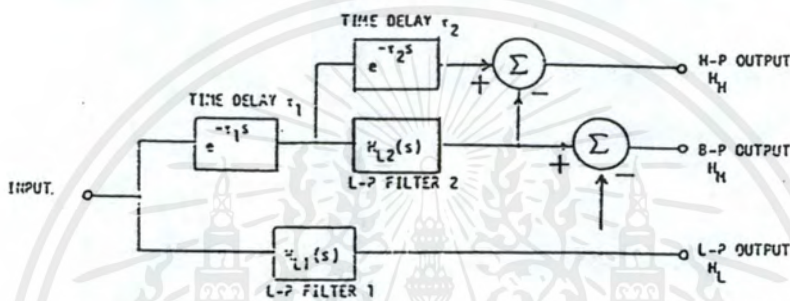
ที่ ความล่าช้าทางเฟส (Phase Delay) $\tau_p(\omega)$ และกรุปดีเลย์ $\tau_g(\omega)$ หาได้จาก

$$\tau_p(\omega) = -\frac{\phi(\omega)}{\omega} \quad (2.9)$$

$$\tau_g(\omega) = \frac{-d\phi(\omega)}{d\omega} \quad (2.10)$$

หลักการของระบบ 3 ทาง

ในวงจร 3 ทาง ตามรูปที่ 2.7 ทำการออกแบบโดยวางส่วน LPF เข้าที่ตรงกลางเพื่อต้องการให้ได้สัญญาณเสียงกลาง หรือ BPF วงจรนี้ต้องชดเชย โดยวงจรหน่วงเวลา ส่วนที่ 2 ดังนั้นในวงจร 3 ทาง Z เป็นตัวทำให้ล่าช้าทางเวลาของ BPF มีความล่าช้าขึ้น ในขณะที่ Z เป็นตัวทำให้ความล่าช้าทางเวลาของสัญญาณลักษณะ LPF ในช่วงความถี่กลาง



รูปที่ 2.7 ระบบ 3 ทาง

จากรูป เราทำการเพิ่มวงจร LPF เข้ามาอีก 1 ตัวเพื่อสร้างวงจรแบนด์พาส

$$\text{Lowpass} = H_L(S) = H_{L1}(S) \quad (2.11)$$

$$\text{Bandpass} = H_B(S) = e^{-r_1 s} * H_{L2}(S) - H_{L1}(S) \quad (2.12)$$

$$\text{Highpass} = H_H(S) = e^{-r_2 s} * [-H_{L2}(S)] \quad (2.13)$$

หลักการโดยทั่วไปก็จะเหมือนกับของระบบ 2 ทาง โดยที่จะต้องกำหนดให้ความถี่ของ $H(S)$ มากกว่าของ $H(S)$ เราจะได้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่คutoff เท่ากับความถี่ของวงจร $H(S)$ และจะได้วงจรกรองความถี่สูงผ่านที่มีความถี่คutoff เท่ากับความถี่ของวงจร $H(S)$ และจะได้วงจรกรองความถี่ผ่านเป็นช่วงที่มีความถี่คutoff เท่ากับความถี่ของวงจร $H(S) - H(S)$



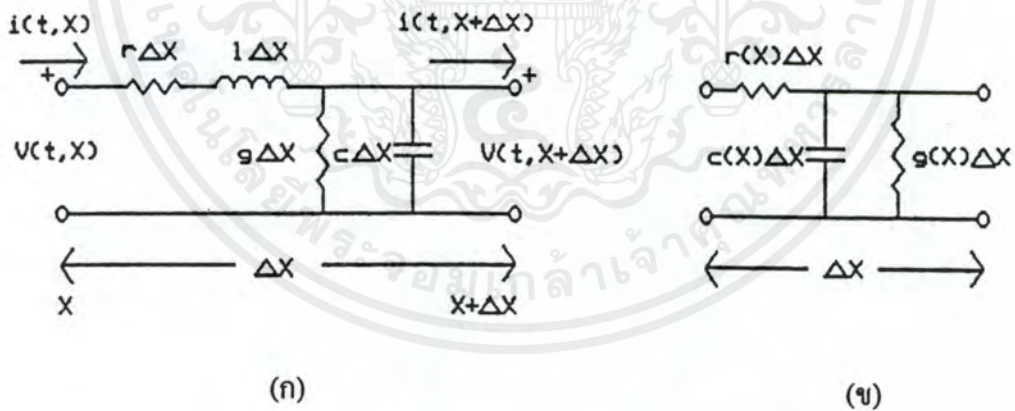
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ด้วย ยูอาร์ซี

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางโครงสร้างต่างๆ และการออกแบบของวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ด้วยยูอาร์ซีซึ่งการวิเคราะห์ด้วยค่าพารามิเตอร์นั้นจะทำให้เกิดความเข้าใจในการออกแบบวงจร จะนำไปซึ่งการทดสอบและการประยุกต์ใช้งานของครอสโอเวอร์เน็ทเวอร์ค เพื่อแก้ปัญหาความล่าช้าทางเวลา หรือกรุปดีเลย์ของครอสโอเวอร์เน็ทเวอร์ค โดยทั่วไป ความไม่คงที่ทางความถี่ของวงจรลิเนียร์เฟสครอสโอเวอร์เน็ทเวอร์ค ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของปริณูณานิพนธ์ฉบับนี้ โดยในการวิเคราะห์ค่าคิสมทรีบิวท์อาร์ซี นั้น ใจหลักการเดียวกันกับการวิเคราะห์สายส่ง

ส่วนการออกแบบนั้น จะเสนอการใช้งานของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งจะใช้ตัวยูนิฟอร์มคิสมทรีบิวท์อาร์ซีต่อร่วมกับออปแอมป์

3.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของคิสมทรีบิวท์อาร์ซี

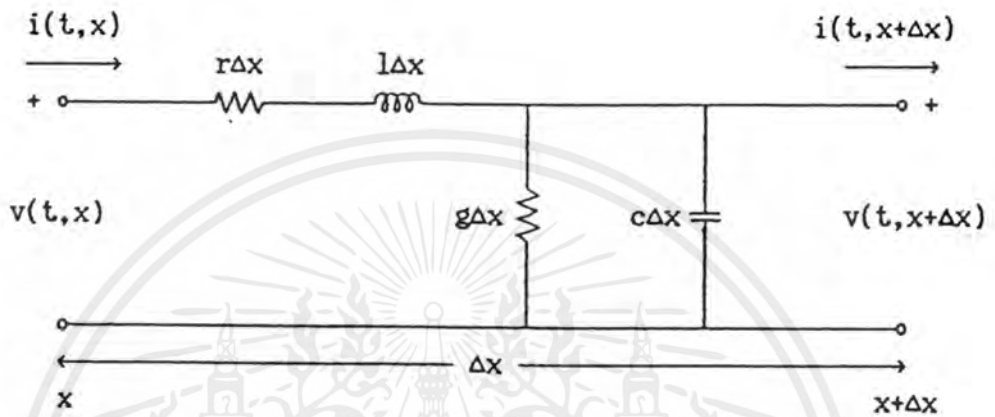


รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบ โครงสร้างของสายส่งและคิสมทรีบิวท์อาร์ซี

จากรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็น โครงสร้างของสายส่ง ที่มีค่าพารามิเตอร์อินดักแตนซ์ L , คาปาซิแตนซ์ C , รีซิสเตอร์ R และคอนดักแตนซ์ g กระจายอยู่ตลอดความยาวสาย ถ้าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่มีความสัมพันธ์ กับความยาวของสายจะเรียกสายส่งนี้ว่า สายส่งแบบยูนิฟอร์ม (Uniformly Transmission Line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

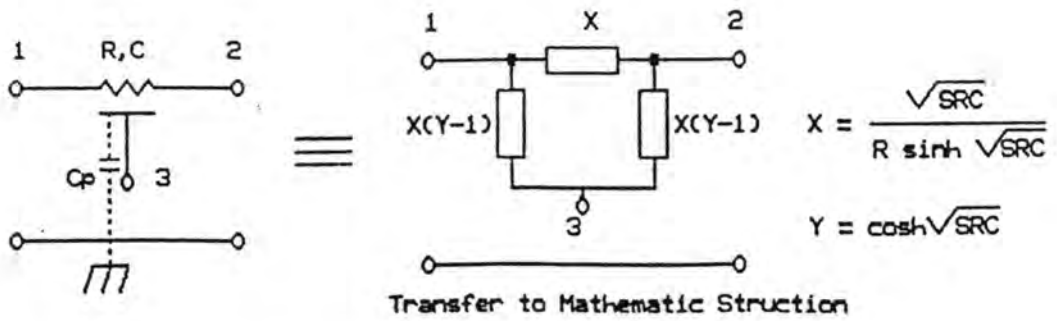
ในการทำงานเดียวกันจากรูปที่ 3.1(ข) ซึ่งเป็น โครงสร้างเน็ตเวิร์คแบบ 2 พอร์ตของคิสทรีบิวท์ อารีซี โดยจะมีลักษณะ โครงสร้างเหมือนกับ โครงสร้างของสายส่ง รูปที่ 3.1(ก) ขณะที่ค่าความนำ g นั้นมีค่าน้อยมากๆ จนสามารถตัดทิ้งได้จนค่า g เป็นศูนย์ ก็จะได้เน็ตเวิร์คแบบคิสทรีบิวท์ อารีซี ดัง รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของคิสทรีบิวท์ อารีซีเมื่อค่าความนำ g มีค่าน้อยมาก

ถ้าค่าของรีซิสแตนซ์ r และคาปาซิแตนซ์ c ไม่เปลี่ยนไปตามความยาวของ x จะเป็นแบบยูนิฟอร์มคิสทรีบิวท์ อารีซี เช่นเดียวกับสายส่ง แต่ถ้าเปลี่ยนตามความยาวของ x ก็จะเป็นแบบนอนยูนิฟอร์มคิสทรีบิวท์ อารีซี

สำหรับการวิเคราะห์เน็ตเวิร์คแบบคิสทรีบิวท์ อารีซี นั้นจะใช้ตัวยูนิฟอร์มแบบคิสทรีบิวท์ อารีซีแบบ 3 พอร์ต มาทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ จากรูปที่ 3.3(ก) จะแสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า และเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ จะทำการแปลงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ รูปที่ 3.3(ข)



(ก) สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า

(ข) สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์

รูปที่ 3.3 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า และ สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์

3.1.1 การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์

โดยอาศัยหลักการ Floating Matrix เพื่อทำการหาค่าแอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์ของยูนิฟอร์ม คิสรวิบิวอาร์ซี ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ เปลี่ยนสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ ดังรูป 3.3(ข)

จากเน็ทเวอร์คของวงจรคิสรวิบิวอาร์ซีโดยใช้ Floating Matrix ทำการหาค่าแอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์ จะได้ -

$$\begin{bmatrix} I1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XY & -X & -X(Y-1) \\ -X & XY & -X(Y-1) \\ -X(Y-1) & -X(Y-1) & 2X(Y-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} I1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = X \begin{bmatrix} Y & -1 & -(Y-1) \\ -1 & Y & -(Y-1) \\ -(Y-1) & -(Y-1) & 2(Y-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

เมื่อแทนค่า

$$X = \frac{\sqrt{SRC}}{R \sinh \sqrt{SRC}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \cosh \sqrt{SRC}$$

(หมายเหตุ ค่า x และ y ที่ถูกกำหนดนี้มาจากการวิเคราะห์ทางโครงสร้างแบบถ้ำคือลิเมนต์ เช่นเดียวกับสายส่ง) ดังนั้นจะได้แอดมิตแดนซ์พารามิเตอร์ของเน็ตเวอร์คแบบยูนิฟอร์มคิสทรีบิวท์อาร์ชี คือ

$$[Y_{ij}] = \frac{\sqrt{SRC}}{R \sinh \sqrt{SRC}} \begin{bmatrix} \cos \sqrt{SRC} & -1 & 1 - \cosh \sqrt{SRC} \\ -1 & \cosh \sqrt{SRC} & 1 - \cosh \sqrt{SRC} \\ 1 - \cosh \sqrt{SRC} & 1 - \cosh \sqrt{SRC} & 2(\cosh \sqrt{SRC} - 1) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

เมื่อ R และ C นั้นเป็นค่าผลรวมของรีซีสแตนซ์ และคาปาซิแตนซ์ขอร์ดวูนิฟอร์มคิสทรีบิวท์อาร์ชี ตามลำดับ และ S เป็นตัวแปรเชิงความถี่ซ้อน (Complex-Frequency Variable) เนื่องจากการแปลงสัญญาณในรูปที่ 3.3(ก) ไปเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปที่ 3.3 (ข) จะทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และการออกแบบ เพื่อที่จะเอาตัวอาร์ชีไปใช้งาน ได้สะดวกมากขึ้น

ในทำนองเดียวกัน เมื่อใช้หลักการเบื้องต้นดังกล่าวมาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เน็ตเวอร์คของยูนิฟอร์ม คิสทรีบิวท์อาร์ชีแบบ 2 พอร์ท ซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบวงจรคอนตอป

จากรูปเมื่อแปลงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเป็นสัญลักษณ์พีชคณิตเพื่อการวิเคราะห์แล้วอาศัยหลักการดังกล่าวจะได้

$$\begin{bmatrix} I1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XY & -X \\ -X & XY \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$= X \begin{bmatrix} Y & -1 \\ -1 & Y \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

เมื่อแทนค่าของ

$$X = \frac{\sqrt{SRC}}{(S \sinh \sqrt{SRC})} \begin{bmatrix} \cosh \sqrt{SRC} & -1 \\ -1 & \cosh \sqrt{SRC} \end{bmatrix}$$

และ

$$Y = \cosh \sqrt{SRC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้แอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์

$$[Y] = \frac{\sqrt{SRC}}{R \sinh \sqrt{SRC}} \begin{bmatrix} \cosh \sqrt{SRC} & -1 \\ -1 & \cosh \sqrt{SRC} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

ส่วนการหาพารามิเตอร์แบบอื่นของเน็ตเวิร์คสามารถใช้ตารางที่ 3.1 ช่วยในการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ตารางที่ 3.1 ตารางการแปลง 2-Port พารามิเตอร์

8 UNIFORMLY DISTRIBUTED SYSTEMS AND PASSIVE INTEGRATED CIRCUITS

Table 1-1 CONVERSION OF TWO-PORT MATRIX PARAMETERS*

	$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{A} & \mathcal{B} \\ \mathcal{C} & \mathcal{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{y_{11}}{\Delta_p} & -\frac{y_{12}}{\Delta_p} \\ -\frac{y_{21}}{\Delta_p} & \frac{y_{22}}{\Delta_p} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{A}{C} & \frac{\Delta_s}{C} \\ \frac{1}{C} & \frac{D}{C} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mathcal{A} & \mathcal{B} \\ \mathcal{C} & \mathcal{D} \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{z_{11}}{\Delta_s} & -\frac{z_{12}}{\Delta_s} \\ -\frac{z_{21}}{\Delta_s} & \frac{z_{22}}{\Delta_s} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{D}{B} & -\frac{\Delta_s}{B} \\ -\frac{1}{B} & \frac{A}{B} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mathcal{A} & \mathcal{B} \\ \mathcal{C} & \mathcal{D} \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{z_{11}}{z_{21}} & \frac{\Delta_p}{z_{21}} \\ \frac{1}{z_{21}} & \frac{z_{12}}{z_{21}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\frac{y_{11}}{y_{21}} & -\frac{1}{y_{21}} \\ -\frac{\Delta_s}{y_{21}} & -\frac{y_{12}}{y_{21}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mathcal{A} & \mathcal{B} \\ \mathcal{C} & \mathcal{D} \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} \mathcal{A} & \mathcal{B} \\ \mathcal{C} & \mathcal{D} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{z_{11}}{z_{21}} & \frac{\Delta_p}{z_{21}} \\ \frac{1}{z_{21}} & \frac{z_{12}}{z_{21}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\frac{y_{11}}{y_{21}} & -\frac{1}{y_{21}} \\ -\frac{\Delta_p}{y_{21}} & -\frac{y_{12}}{y_{21}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{D}{\Delta_s} & \frac{B}{\Delta_s} \\ -\frac{C}{\Delta_s} & \frac{A}{\Delta_s} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mathcal{A} & \mathcal{B} \\ \mathcal{C} & \mathcal{D} \end{bmatrix}$

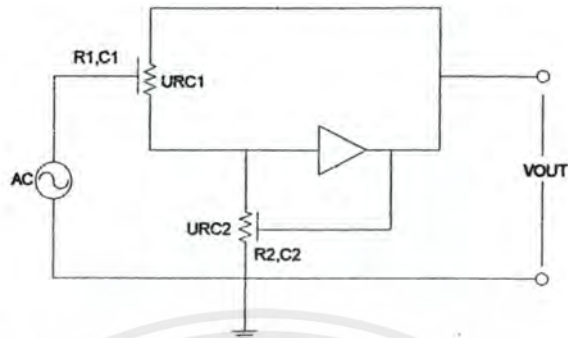
* All matrices appearing in the same row in the table are equivalent; for example, $z_{11} = A/C$. Δ is the matrix determinant; for example, $\Delta_s = z_{11}z_{22} - z_{12}z_{21}$. For a reciprocal network, $z_{12} = z_{21}$, and so forth. For a symmetrical network, $z_{11} = z_{22}$, and so forth.

ส่วนของการออกแบบวงจรความถี่ต่ำและความถี่สูง นั้นจะมีค่าความไว (Sensitivity) ค่ามุมเฟส (Phase) และกรุปดีเลย์ (Group Delay) ของแต่ละวงจร ซึ่งจะทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของวงจรที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ด้วย ยูอาร์ซี(URC)

3.2.1 การออกแบบวงจรกรองความถี่สูงด้วยยูอาร์ซี



รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่สูงแบบแอกทีฟดิสทริบิวต์อาร์ซี

จากวงจรสามารถเขียนสมการเป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$\frac{VO}{VI} = \frac{\alpha K (\cosh p - 1)}{\alpha \cosh p + \cosh p - K(\alpha - 1 + \cosh p)} \quad (3.7)$$

จากสมการที่ 3.7 ถ้ากำหนดให้ $R_2=R_1=R$, $C_2=C_1=C$ และค่า P มีค่าเป็นดังสมการ

$$\cosh p = \cosh(t + jt) \quad (3.8)$$

$$\cosh p = \cosh t \cos t + j \sinh t \sin t \quad (3.9)$$

$$p = \sqrt{j\omega RC}, t = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}}, p_1 = p_2 = p, \frac{R_2}{R_1} = \frac{C_2}{C_1} = \alpha \quad (3.10)$$

จากสมการข้างบนจะได้ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันใหม่เป็น

$$\frac{Vo}{Vi} = \frac{\{\alpha K (\cosh t \cos t - 1)\} + j\{\alpha K \sinh t \sin t\}}{\{(\alpha + 1 - K)(\cosh t \cos t) - K\alpha + K\} + j\{(\alpha + 1 - K) \sinh t \sin t\}} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.11 จะหาผลตอบสนองทางเฟสโดยให้

$$\frac{V_o}{V_i} = T(p) \quad (3.12)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}(T(p))}{\text{Re}(T(p))} \right) \quad (3.13)$$

โดยที่ $\text{Re}(T(p))$ เป็นเลขจำนวนจริงของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

$\text{Im}(T(p))$ เป็นเลขจำนวนจินตภาพของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

ดังนั้นหาค่าผลตอบสนองทางเฟสจากสมการที่ 3.11 จะได้สมการเป็น

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\{(\alpha + 1 - K)(\cosh t \cos t) - K\alpha + K\} \{ \alpha K \sinh t \sin t \}}{\{ \alpha K (\cosh t \cos t - 1) \} \{ (\alpha + 1 - K) \sinh t \sin t \}} \right) \quad (3.14)$$

$$\left(\frac{\{ \alpha K (\cosh t \cos t - 1) \} \{ (\alpha + 1 - K)(\cosh t \cos t) - K\alpha + K \}}{\{ \alpha K \sinh t \sin t \} \{ (\alpha + 1 - K) \sinh t \sin t \}} \right)$$

จากสมการที่ 3.14 เราสามารถที่จะมาหากรูปีติเลขของวงจร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\tau(g) = \frac{d\alpha(\omega)}{d\omega} \quad (3.15)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ สมการกรูปีติเลข คือ โดยการนำค่าผลตอบสนองทางเฟสมาคิด โดยการทำอนุพันธ์สมการเฟสโดยเทียบกับความถี่ โดยกรูปีติเลขเป็นการดูผลความหน่วงของวงจรว่าที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นมีการล่าช้าไปเป็นเวลาเท่าไร

การหาสมการกรูปีติเลขสามารถแบ่งเป็นแต่ละสมการเพื่อที่จะได้เข้าใจสมการได้มากขึ้น

โดยกำหนดให้

$$ah = \frac{1}{1 + \left(\frac{\left((\{\alpha + 1 - k \cosh t \cos t\} - K\alpha + K) \{\alpha K \sinh t \sin t\} \right)}{-(\alpha K [\cosh t \cos t - 1] \sinh t \sin t [\alpha + 1 - K])} \right)^2}$$

$$bh = \left\{ \begin{aligned} & \left((\alpha K [\cosh t \cos t - 1] \{\alpha + 1 - k \cosh t \cos t\} - K\alpha + K) \right) \\ & + (\alpha K \sinh t \sin t \sinh t \sin t [\alpha + 1 - K]) \\ & \left((\alpha K + \alpha^2 K - \alpha^2 K^2) (RC/4t) (\sinh t \cos t + \sin t \cosh t) \right) \end{aligned} \right\}$$

$$ch = \left\{ \begin{aligned} & \left((\{\alpha + 1 - k \cosh t \cos t\} - K\alpha + K) \{\alpha K \sinh t \sin t\} \right) \\ & - (\alpha K [\cosh t \cos t - 1] \sinh t \sin t [\alpha + 1 - K]) \\ & \left(\frac{(\alpha^2 K + \alpha K - \alpha K^2) (\cosh t \sinh t \cos^2 t - \cosh^2 t \cos t \sin t) (RC)}{2t} \right) \\ & \left(\frac{(2\alpha K^2 - \alpha K - \alpha^2 K) (\sinh^2 t \sin t \cos t + \sin^2 t \sinh t \cosh t) (RC)}{2t} \right) \\ & \left(\frac{(\alpha^2 K + \alpha K - \alpha K^2) (RC) (\sinh^2 t \sin t \cos t + \sin^2 t \sinh t \cosh t)}{2t} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$dh = \left((\alpha K [\cosh t \cos t - 1] \{\alpha + 1 - k \cosh t \cos t\} - K\alpha + K) + (\alpha K \sinh t \sin t \sinh t \sin t [\alpha + 1 - K]) \right)^2$$

ดังนั้นจะได้รูปดิฟเฟอเรนเชียลคือ

$$\tau(g) = ah \left(\frac{bh - ch}{dh} \right) \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้สมการกรุปิเคิลดังสมการที่ 3.16 ดังนั้นจึงมาหาความเสถียรภาพของวงจรมันก็คือวิธีการทำในควิสิท์โคอะแกรม (Nyquist Diagram) โดยการที่จะดูว่าวงจรไหนจะเสถียรภาพนั้น จะพิจารณาที่รากของตัวส่วน (Denominator) ของ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน เมื่อนำไปพล็อตกราฟจะต้องอยู่ในครึ่งซ้ายของ S-Plane โดยระบบจะเสถียรภาพเมื่อจุดศูนย์กลาง ในรากของตัวส่วน (Denominator) ถูกปิดล้อมด้วยเส้นทางในควิสิท์ โดยการหาในควิสิท์จะได้จากสมการ โดยกำหนดเป็น

$$D(p) = Re + jIm \quad (3.17)$$

เมื่อ $D(p)$ เป็นรากของตัวส่วน (Denominator) เพราะฉะนั้นจะได้สมการที่จะไปหาในควิสิท์คือ

$$D(p) = [(\alpha + 1 - k)(\cosh t \cos t) - K\alpha + K] + j[(\alpha + 1 - K)\sinh t \sin t] \quad (3.18)$$

ตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรมันจะมีผลการตอบสนองต่อความถี่ในช่วงต่าง ๆ คือค่าอาจจะเปลี่ยนไปตามความถี่ที่เลื่อนไปซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเรียกว่า ค่าความไวของอุปกรณ์ (Sensitivity) ดังนั้นเมื่อในวงจรมีอุปกรณ์ที่มีค่าความไวสูงก็จะทำให้มีความคลาดเคลื่อนของวงจรมันเปอร์เซ็นต์สูง ฉะนั้นวงจรมันที่ดีจึงจะต้องมีค่าความไวของตัวอุปกรณ์ที่ต่ำ ดังนั้นจึงสามารถหาสมการของ Sensitivity ได้จากสูตร

$$S_{X_i}^{T(p)} = X_i \left(\frac{N'(S)}{N(S)} - \frac{D'(S)}{D(S)} \right) \quad (3.19)$$

เมื่อ $N(S)$ เป็น โพลี โนเมียลตัวเศษของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

$D(S)$ เป็น โพลี โนเมียลตัวส่วนของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

X_i แทนค่าของอติเม้นแต่ละตัวของวงจรมัน

$$N'(S) = \frac{dN(S)}{dX_i}, D'(S) = \frac{dD(S)}{dX_i}$$

ดังนั้นจะหาค่า Sensitivity ของแต่ละตัวได้ดังสมการดังต่อไปนี้

Sensitivity of K

$$S_K^{T(p)} = 1 - \frac{K(1 - \alpha - \cosh p)}{\alpha(\cosh p - K) + (\cosh p - k \cosh p + k)} \quad (3.20)$$

Sensitivity of R1

$$S_{R1}^{T(p)} = \frac{\left(\frac{\sinh p [p \sinh p + (\cosh p - 1)] - (\cosh p - 1)(p \cosh p + 2 \sinh p)}{2 \sinh p (\cosh p - 1)} \right)}{\left(\frac{\alpha(\sinh p [p \sinh p + \cosh p - K] - [\cosh p - K][p \cosh p + 2 \sinh p])}{2 \sinh p (\alpha[\cosh p - K] + [\cosh p - K \cosh p + K])} \right)} \quad (3.21)$$

Sensitivity of R2

$$S_{R2}^{T(p)} = \frac{\left(\frac{(\sinh p [p \sinh p (1 - K)] + [\cosh p - K \cosh p + K])}{-([\cosh p - K \cosh p + K][p \cosh p + 2 \sinh p])} \right)}{2 \sinh p (\alpha[\cosh p - K] + [\cosh p - K \cosh p + K])} \quad (3.22)$$

Sensitivity of C1

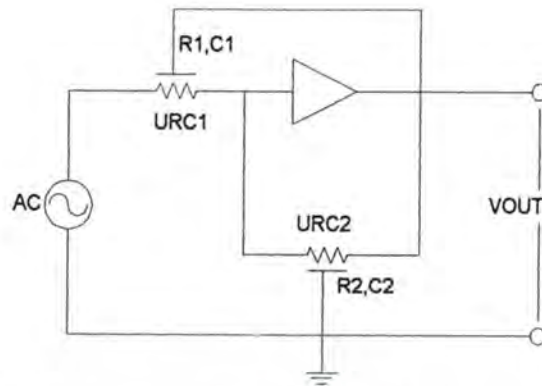
$$S_{C1}^{T(p)} = \frac{\left(\frac{\sinh p [p \sinh p + (\cosh p - 1)] - p \cosh p (\cosh p - 1)}{2 \sinh p (\cosh p - 1)} \right)}{\left(\frac{\alpha(\sinh p [p \sinh p + \cosh p - K] - [\cosh p - K][p \cosh p])}{2 \sinh p (\alpha[\cosh p - K] + [\cosh p - K \cosh p + K])} \right)} \quad (3.23)$$

Sensitivity of C2

$$S_{C2}^{T(p)} = \frac{\left(\frac{(\sinh p [p \sinh p (1 - K)] + [\cosh p - K \cosh p + K])}{-([\cosh p - K \cosh p + K][p \cosh p])} \right)}{2 \sinh p (\alpha[\cosh p - K] + [\cosh p - K \cosh p + K])} \quad (3.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำด้วยยูอาร์ซี



รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบแอกทีฟดิสทริบิวต์อาร์ซี

$$\frac{V_O}{V_I} = \frac{\alpha K}{\alpha \cosh p + \cosh p - K\alpha \cosh p + K} \quad (3.25)$$

จากสมการที่ 3.25 ถ้ากำหนดให้ ค่า P มีค่าเป็นดังสมการ 3.8 ถึง 3.10 จะทำให้ได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\alpha K}{\{(\alpha + 1 - \alpha k)(\cosh t \cos t) + K\alpha - K\} + j[(\alpha + 1 - K\alpha) \sinh t \sin t]} \quad (3.26)$$

จากสมการที่ 3.26 จะหาผลตอบสนองทางเฟสโดยใช้สมการที่ 3.12 และ 3.13 จะได้

$$\phi = -\tan^{-1} \left\{ \frac{(\sinh t \sin t)(\alpha + 1 - K\alpha)}{(\cosh t \cos t)(1 + \alpha - K\alpha) + K\alpha - K} \right\} \quad (3.27)$$

จากสมการที่ 3.27 เราสามารถที่จะมาหากรูปีดิเลย์ โดยใช้สมการ 3.15

การหาสมการกรูปีดิเลย์สามารถแบ่งเป็นแต่ละสมการ โดยกำหนดให้

$$al = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{\sinh t \sin t [\alpha + 1 - K\alpha]}{\cosh t \cos t [\alpha + 1 - K\alpha] + K\alpha - K} \right)^2 \right)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$bl = [\cosh t \cos t [\alpha + 1 - K\alpha] + K\alpha - K] \left[\frac{RC}{4t} \right] [\sinh t \cos t + \sin t \cosh t] [\alpha + 1 - K\alpha]$$

$$cl = \sinh t \sin t [\alpha + 1 - K\alpha]^2 \left[\frac{RC}{4t} \right] [\cos t \sinh t - \cosh t \sin t]$$

$$dl = \cosh t \cos t [\alpha + 1 - K\alpha] + K\alpha - K$$

ดังนั้นจะได้รูปคือ

$$\tau(g) = (-1)al \left(\frac{bl - cl}{dl} \right) \quad (3.28)$$

จากสมการที่ 3.17 เป็นวิธีการหาในควิสต์หรือหาค่าเสถียรภาพของระบบดังนั้นจะได้สมการที่จะนำไปหาในควิสต์ของวงจรรองความถี่ต่ำคือ

$$D(p) = [(\alpha + 1 - K\alpha)(\cosh t \cos t) + K\alpha - K] + j[(\alpha + 1 - K\alpha)\sinh t \sin t] \quad (3.29)$$

จากสมการที่ 3.19 นำมาหาค่า Sensitivity ของวงจรรองความถี่ต่ำได้คือ

Sensitivity of K

$$S_K^{T(p)} = 1 - \left(\frac{\alpha[\cosh p + 1] + 1}{\alpha[\cosh p + 1] - K[\alpha(\cosh p - 1) + 1]} \right) \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensitivity of R1

$$S_{R1}^{T(p)} = \frac{\left(\frac{\sinh p - [p \cosh p + 2 \sinh p]}{2 \sinh p} \right)}{\left(\frac{\{\sinh p[(p-K) \sinh p + (\cosh p - K \cosh p + K)]\}}{\alpha - \{(\cosh p - K \cosh p + K)(p \cosh p + 2 \sinh p)\}} \right)} \quad (3.31)$$

$$\alpha \frac{2 \sinh p \{\cosh p(\alpha + 1) - K[\alpha(\cosh p - 1) + p]\}}{\alpha - \{(\cosh p - K \cosh p + K)(p \cosh p + 2 \sinh p)\}}$$

Sensitivity of R2

$$S_{R2}^{T(p)} = - \frac{(\sinh p[p + (\cosh p - K)] - (\cosh p - 1)[p \cosh p + 2 \sinh p])}{2 \sinh p(\cosh p[\alpha + 1] - K[(\cosh p - 1)\alpha + 1])} \quad (3.32)$$

Sensitivity of C1

$$S_{C1}^{T(p)} = \frac{\left(\frac{\sinh p - p \cosh p}{2 \sinh p} \right)}{\left(\frac{\{\sinh p[p(1-K) \sinh p + (\cosh p - K \cosh p + K)]\}}{\alpha - \{(\cosh p - K \cosh p + K)p \cosh p\}} \right)} \quad (3.33)$$

$$\alpha \frac{2 \sinh p \{\cosh p(\alpha + 1) - K[\alpha(\cosh p - 1) + 1]\}}{\alpha - \{(\cosh p - K \cosh p + K)p \cosh p\}}$$

Sensitivity of C2

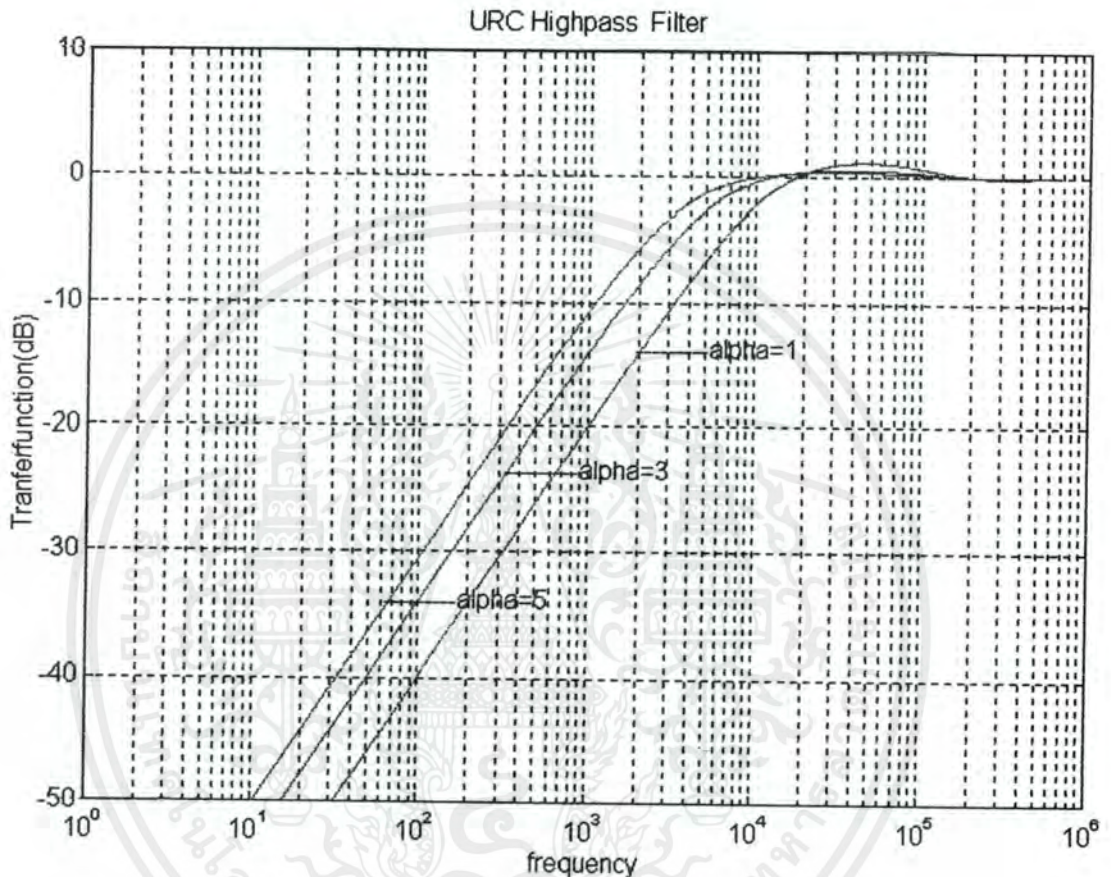
$$S_{C2}^{T(p)} = - \frac{(\sinh p[p \sinh p + (\cosh p - K)] - p(\cosh p - K) \cosh p)}{2 \sinh p(\cosh p[\alpha + 1] - K[(\cosh p - 1)\alpha + 1])} \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ด้วย ยูอาร์ซี โดยใช้โปรแกรมMATLAB

3.3.1 ผลการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงด้วยยูอาร์ซี

จากสมการที่ 3.7 เป็นสมการการหาทรานเชอร์ฟังก์ชันสามารถออกแบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB จะ ได้ผลการออกแบบดังรูป

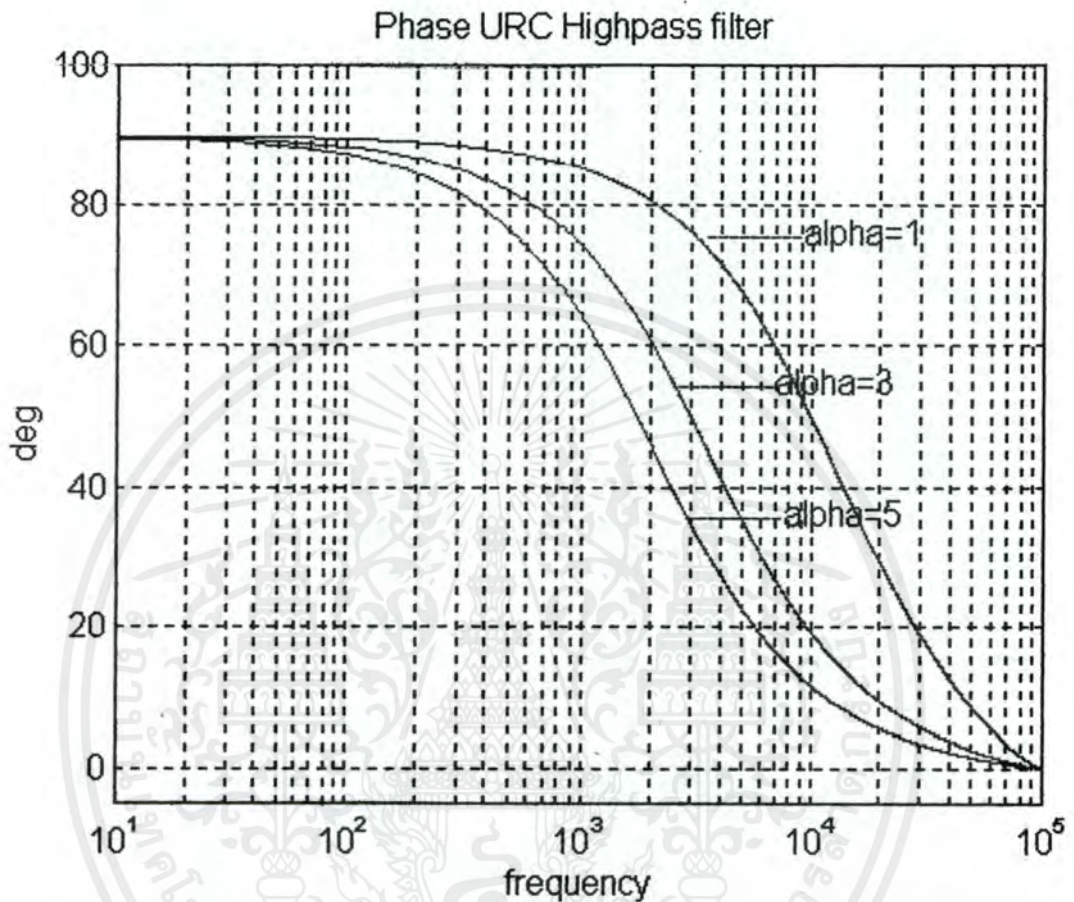


รูปที่ 3.6 ผลการตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง

จากรูปที่ 3.6 เป็นผลตอบสนองทางขนาด (Transferfunction) ต่อ ความถี่ โดยเรากำหนดให้ค่า K ที่ป้อนมีค่าเท่ากับ 1 และกำหนดค่า $\alpha = 1, 3, 5$ ตามลำดับจะเห็นว่าถ้าเราปรับค่าของ α มีค่าน้อยจะทำให้เกิดริปลิ้นขึ้นดังจะเห็นในรูปภาพ เมื่อ $\alpha = 1$ จะทำให้เกิดริปลิ้นขึ้นการเกิดริปลิ้นนี้จะไม่เป็นผลดี คือ เมื่อนำไปต่อเป็นวงจร Cross Over Network จะมีผลเมื่อต่อการรวมกันกับวงจรกรองความถี่ต่ำแล้วจะให้ผลตอบสนองรวมของวงจร Cross Over Network ไม่ราบเรียบเท่าที่ควร ดังนั้นถ้าต้องการวงจร Cross Over Network ที่ดีต้องกำหนดค่า α ให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.14 เป็นสมการการหาผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง สามารถออกแบบ โดยใช้โปรแกรมMATLAB จะ ได้ผลการออกแบบดังรูป

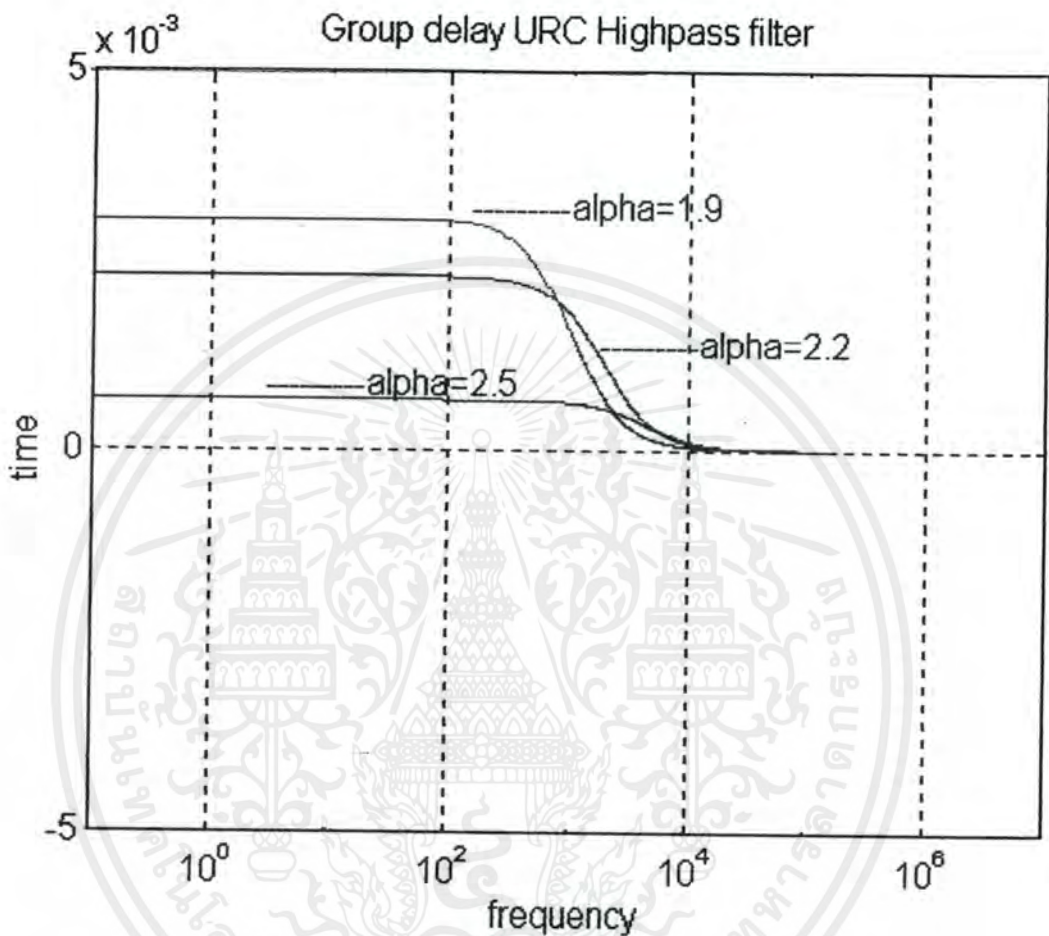


รูปที่ 3.7 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง

รูปที่ 3.7 เป็นผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยให้ $K=1$ และมีค่า α เท่ากับ 1,3,5 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าผลตอบสนองทางเฟสที่ได้นั้นที่ความถี่ต่ำ ๆ นั้น จะมีผลตอบสนองที่มุม 90 องศา และลดลงมาเรื่อย ๆ จนมีมุมเท่ากับศูนย์ที่ความถี่สูงขึ้นไปและจะเห็นได้ว่าถ้าเราปรับค่า α ให้มีค่าที่สูงขึ้นจะทำให้ผลตอบสนองทางเฟสมีมุมต่อความถี่ที่ลดลงเร็วกว่า α ที่มีค่าต่ำๆ

พอได้ผลตอบสนองทางเฟสแล้วต่อไปจะเป็นรูปแสดงผลการตอบสนองทางกรุปดีเลย์โดยจะใช้จากสมการที่ 3.16 ในการพล็อตรูป

จากสมการที่ 3.16 เป็นสมการการหาผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่สูง สามารถออกแบบโดยใช้โปรแกรมMATLAB จะ ได้ผลการออกแบบดังรูป

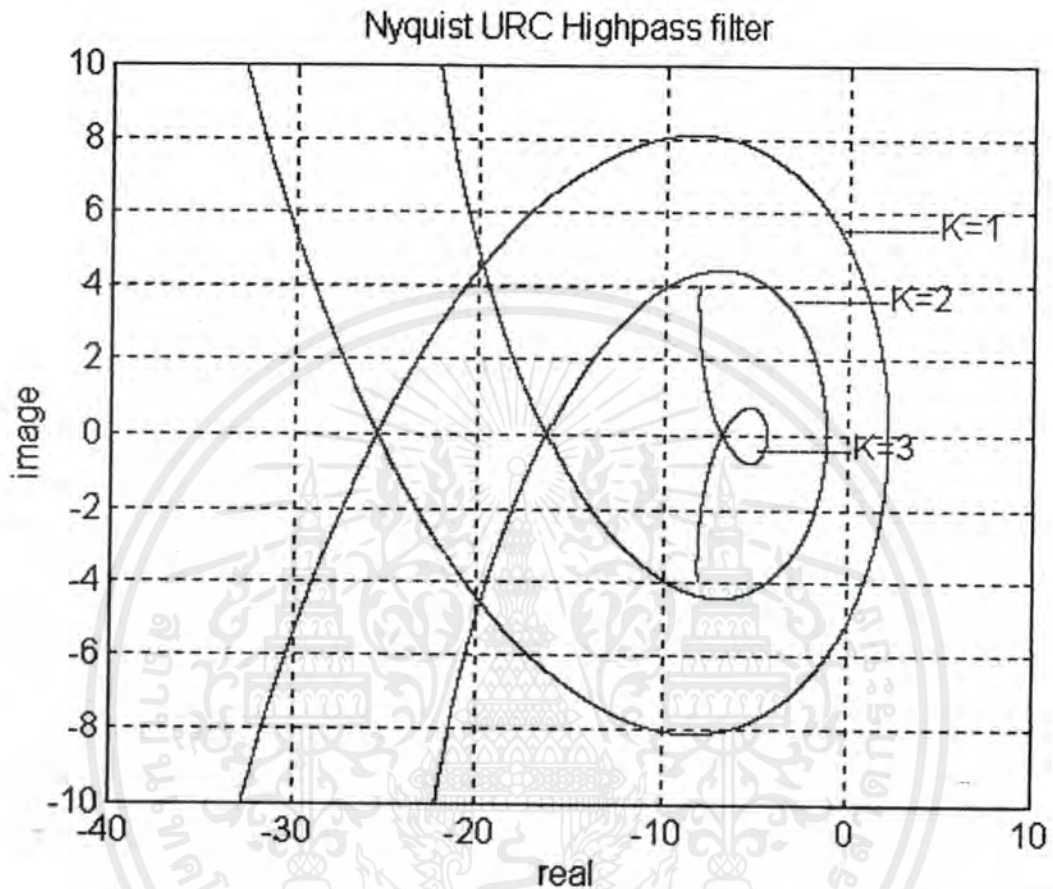


รูปที่ 3.8 แสดงผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่สูง

จากรูปที่ 3.8 เป็นการบอกถึงความล่าช้า (Group Delay) ของวงจรกรองความถี่สูงโดยจะ กำหนดให้มีค่า $K=1$ และ α เท่ากับ 1.9 ,2.2 ,2.5 ตามลำดับ จะทราบได้ว่าค่ากรุปดีเลย์ของแต่ละ α ไม่เหมือนกัน โดยในช่วงความถี่ต่ำนั้นค่า α เท่ากับ 1.9 จะมีค่า Group Delay ที่สูงกว่า $\alpha = 2.2$ และ 2.5 ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการกำหนดค่า α จะทำให้มีค่า Group Delay ที่ต่างกันออกไป

จากผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ที่ได้ต่อไปต้องมาพิจารณาว่าระบบจะมีเสถียรภาพของระบบเป็นอย่างไร โดยจะใช้สมการที่ 3.18 พล็อตกราฟหารูปในควิสิทซ์ของวงจรกรองความถี่สูง

จากสมการที่ 3.18 เป็นสมการการพล็อตกราฟคู่เสถียรภาพของระบบของวงจรรองความถี่สูงสามารถออกแบบ โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะได้ผลการออกแบบดังรูป

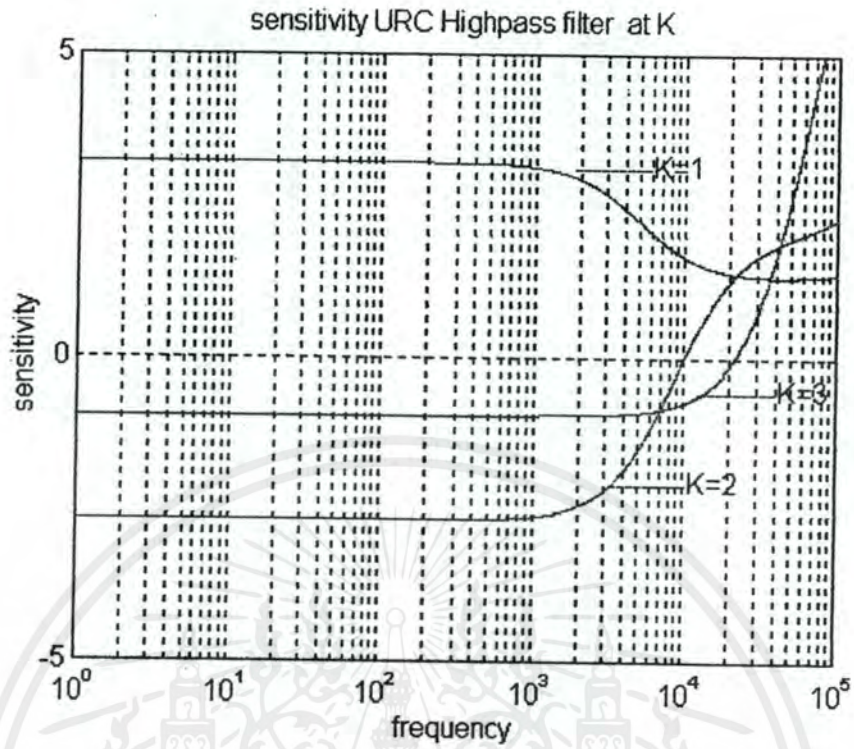


รูปที่ 3.9 แสดงไนควิสต์ไดอะแกรมของวงจรรองความถี่สูง

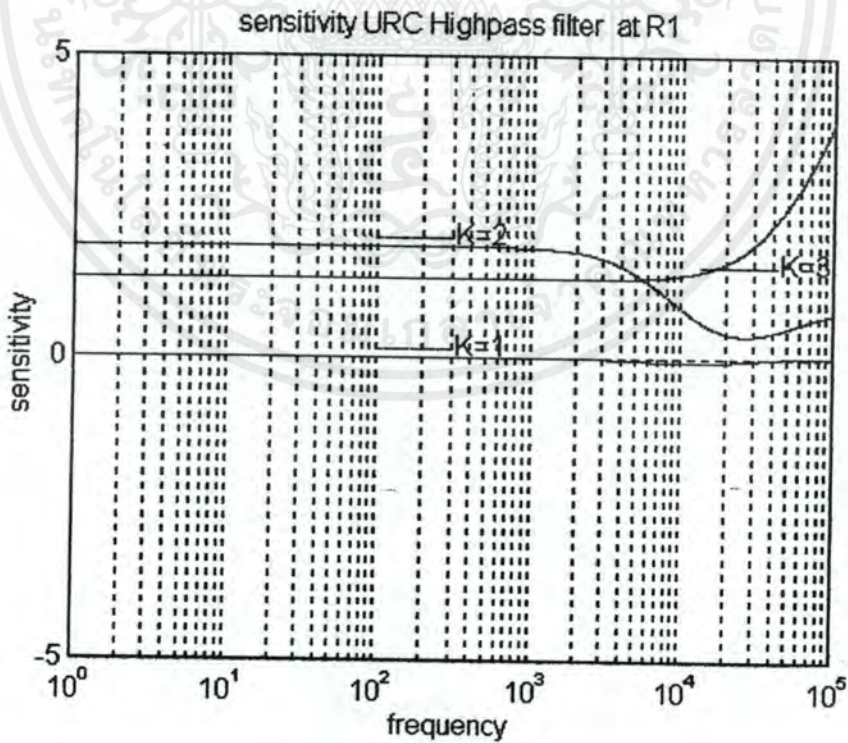
จากรูปที่ 3.9 แสดงไนควิสต์ไดอะแกรมของวงจรรองความถี่สูง (Highpass Filter) โดยใช้ ยูอาร์ซี จากรูปเราจะกำหนดให้มีค่าของ α คงที่ โดยให้มีค่าเป็น 2.2 แล้วก็กำหนดค่า K เท่ากับ 1,2,3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถ้าเรากำหนดค่า K ที่ต่างออกไปนี้ทำให้รูปไนควิสต์ไดอะแกรมไม่เหมือนกันคือที่ค่า K เท่ากับ 2 และ 3 รูปไนควิสต์ไดอะแกรมที่ได้จะไม่วนรอบจุดศูนย์กลางจะทำให้ระบบไม่เสถียรภาพแต่ที่ $K = 1$ จะวนรอบจุดศูนย์กลางทำให้ระบบมีเสถียรภาพดังนั้นวงจรที่ทำการจะกำหนดให้มีค่า K เท่ากับ 1

จากไนควิสต์ไดอะแกรมที่ได้ต่อไปก็เป็นการหาค่าความไวของอุปกรณ์ของวงจรรองความถี่สูง โดยผลที่ได้จะเริ่มหาค่าความไว (Sensitivity) ที่ค่า K , R_1 , R_2 , C_1 , C_2 ตามลำดับ จากสมการที่ 3.20 ถึง 3.24 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการพล็อตกราฟจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

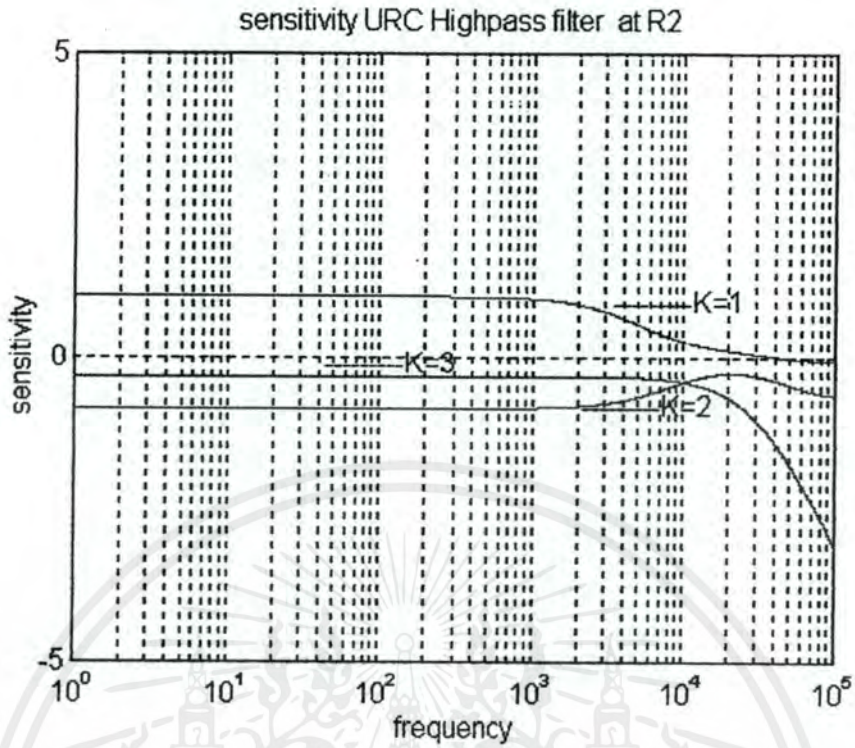


รูปที่ 3.10 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ K

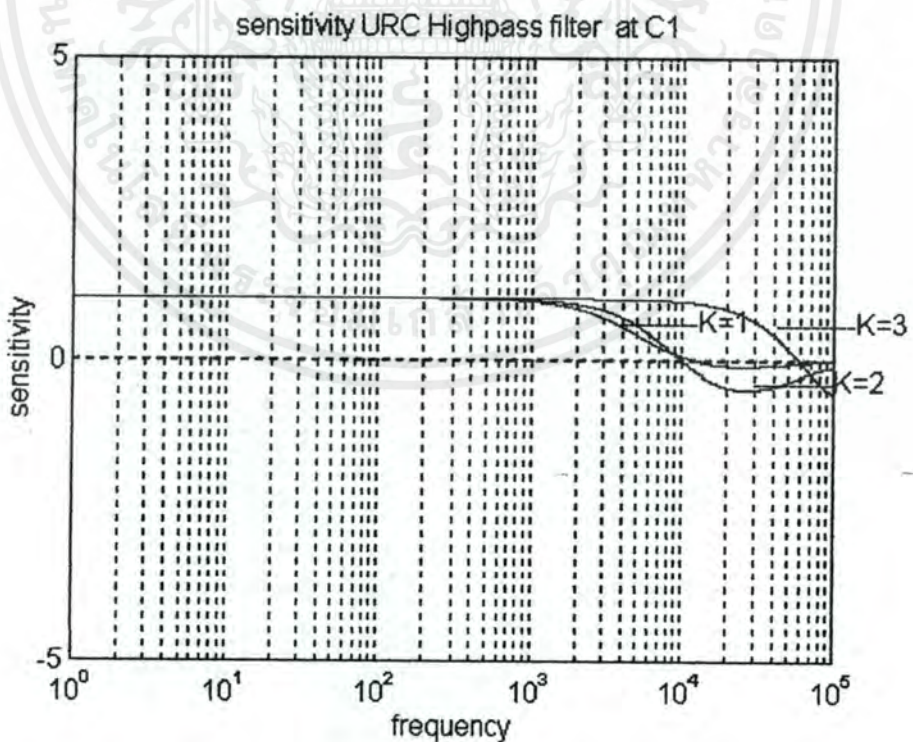


รูปที่ 3.11 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

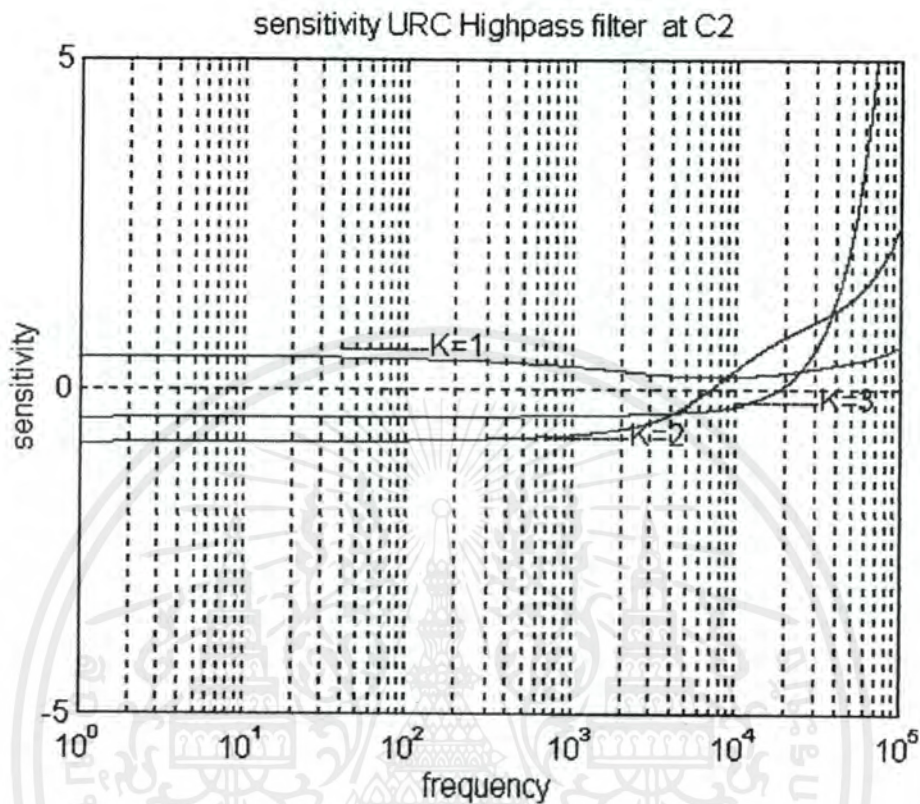


รูปที่ 3.12 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R2



รูปที่ 3.13 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



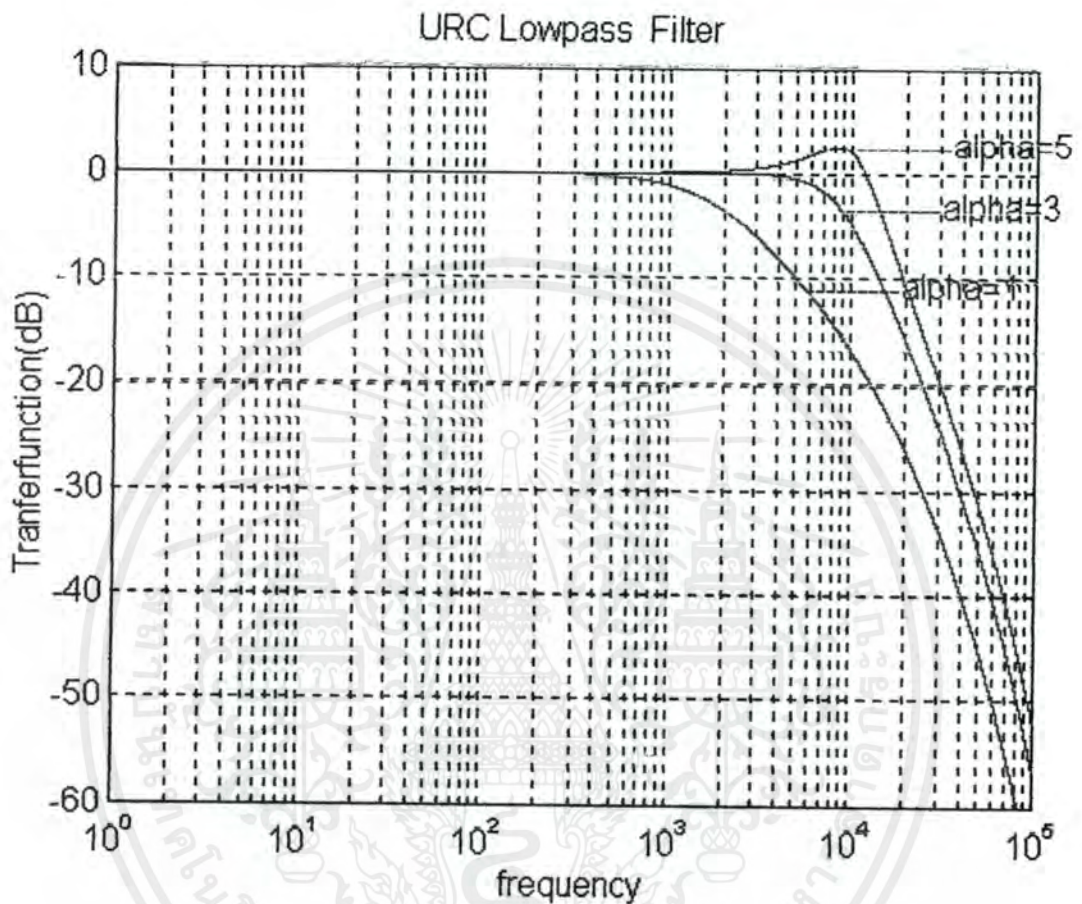
รูปที่ 3.14 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C2

จากสมการที่ 3.8 ถึง 3.12 เป็นการพล็อตกราฟค่าความไวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของวงจรกรองความถี่สูงจากรูปจะกำหนดให้ค่าของ α คงที่โดยมีค่าเท่ากับ 2.2 และจะเปลี่ยนค่า K ไปจะกำหนดให้เท่ากับ 1 ,2 ,3 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าเราเปลี่ยนค่า K ไปเรื่อยๆ จะมีผลต่อความไวของอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งการปรับค่าของ α ก็จะมีผลต่อความไวของอุปกรณ์เหมือนกัน

จากรูปที่พล็อตกราฟมาได้ในวงจรกรองความถี่สูงทั้งหมดที่ทำด้วยยูอาร์ซี ต่อไปจะเป็นการใช้สมการต่าง ๆ ของวงจรกรองความถี่ต่ำที่ทำด้วยยูอาร์ซี มาพล็อตกราฟหาผลตอบสนองต่าง ๆ ของวงจรโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ โดยสมการที่จะนำมาพล็อตกราฟนั้นประกอบไปด้วย การหาผลตอบสนองทางขนาด การหาผลตอบสนองทางเฟส การหาผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ การหาในควิสท์โคอะแกรม และสุดท้ายเป็นการหาความไวของตัวอุปกรณ์

3.3.2 ผลการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำด้วยยูอาร์ซี

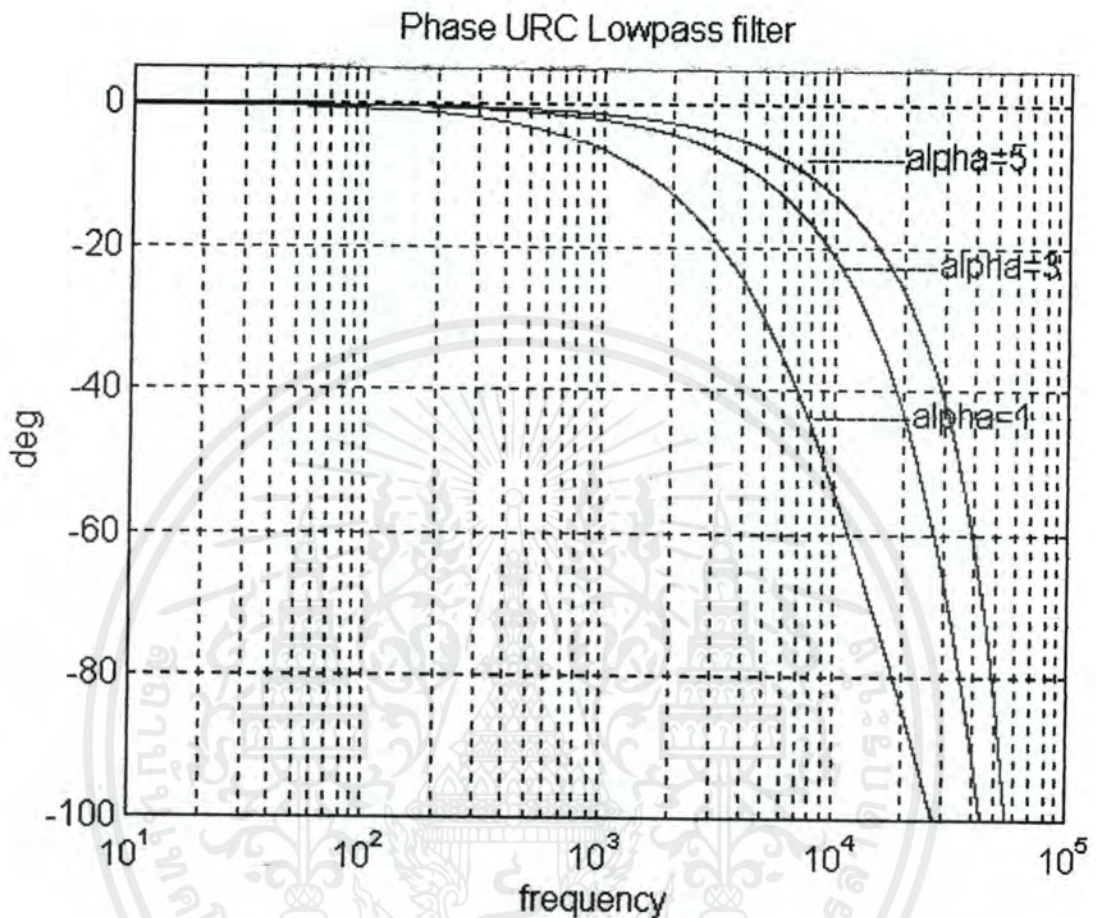
จากสมการที่ 3.25 เป็นสมการการหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ต่ำสามารถออกแบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB จะ ได้ผลการออกแบบดังรูป



รูปที่ 3.15 ผลการตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากรูปที่ 3.15 เป็นผลตอบสนองทางขนาด (Transferfunction) ต่อ ความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยเรากำหนดให้ค่า K ที่ป้อนมีค่าเท่ากับ 1 และกำหนดค่า $\alpha = 1, 3, 5$ ตามลำดับจะเห็นว่าถ้าเราปรับค่าของ α มีค่ามากจะทำให้เกิดริบเบิลขึ้นดังจะเห็นในรูปภาพ เมื่อ $\alpha = 5$ จะทำให้เกิดริบเบิลขึ้นการเกิดริบเบิลนี้จะไม่เป็นผลดี คือ เมื่อนำไปต่อเป็นวงจร Cross Over Network จะมีผลเมื่อต่อการรวมกันกับวงจร กรองความถี่สูงแล้วจะให้ผลตอบสนองรวมของวงจร Cross Over Network ไม่ราบเรียบเท่าที่ควร ดังนั้นถ้าต้องการวงจร Cross Over Network ที่ดีต้องกำหนดค่า α ให้เหมาะสม

จากสมการที่ 3.27 เป็นสมการการหาผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ สามารถออกแบบโดยใช้โปรแกรมMATLAB จะได้ผลการออกแบบดังรูป

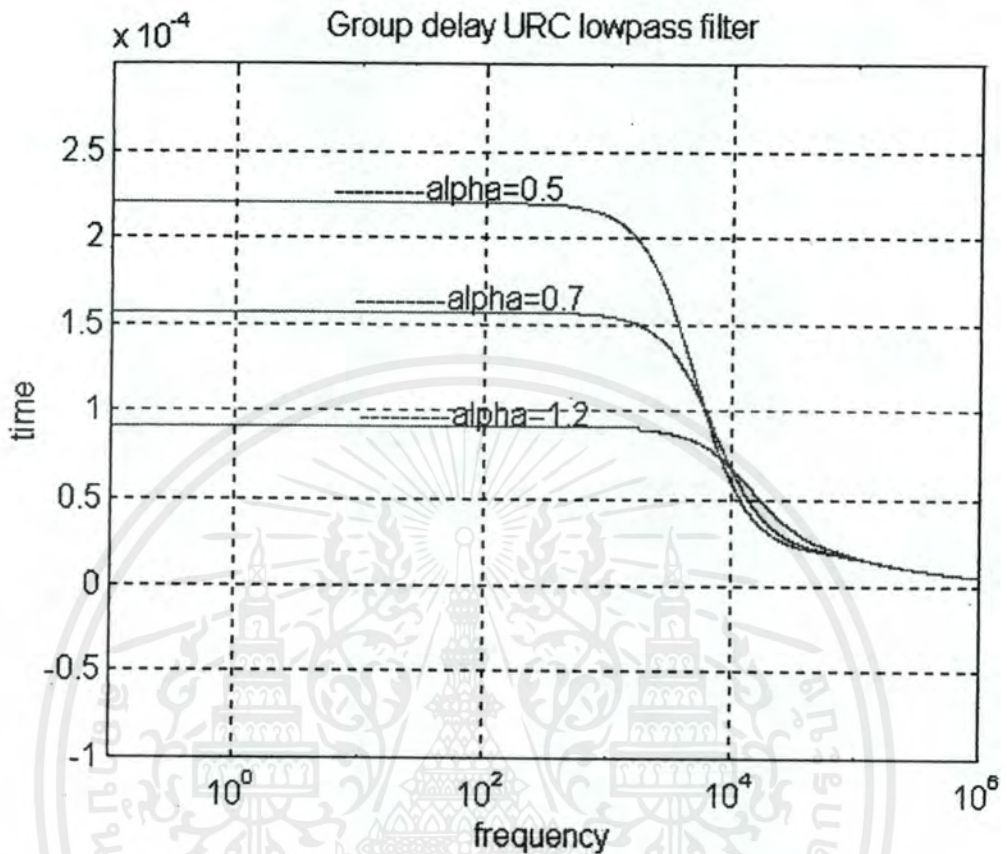


รูปที่ 3.16 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ

รูปที่ 3.16 เป็นผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยให้ $K=1$ และมีค่า α เท่ากับ 1,3,5 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าผลตอบสนองทางเฟสที่ได้นั้นที่ความถี่ต่ำ ๆ นั้น จะมีผลตอบสนองที่มุม 0 องศา และลดลงมาเรื่อย ๆ ที่ความถี่สูงขึ้นและจะเห็นได้ว่าถ้าเราปรับค่า α ให้มีค่าที่สูงขึ้นจะทำให้ผลตอบสนองทางเฟสมีมุมต่อความถี่ที่ลดลงช้ากว่า α ที่มีค่าต่ำๆ

พอได้ผลตอบสนองทางเฟสแล้วต่อไปจะเป็นรูปแสดงผลการตอบสนองทางกรุปิตีโดยจะใช้จากสมการที่ 3.28 ในการพล็อตรูป

จากสมการที่ 3.28 เป็นสมการการหาผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่ต่ำ สามารถออกแบบโดยใช้โปรแกรมMATLAB จะได้ผลการออกแบบดังรูป

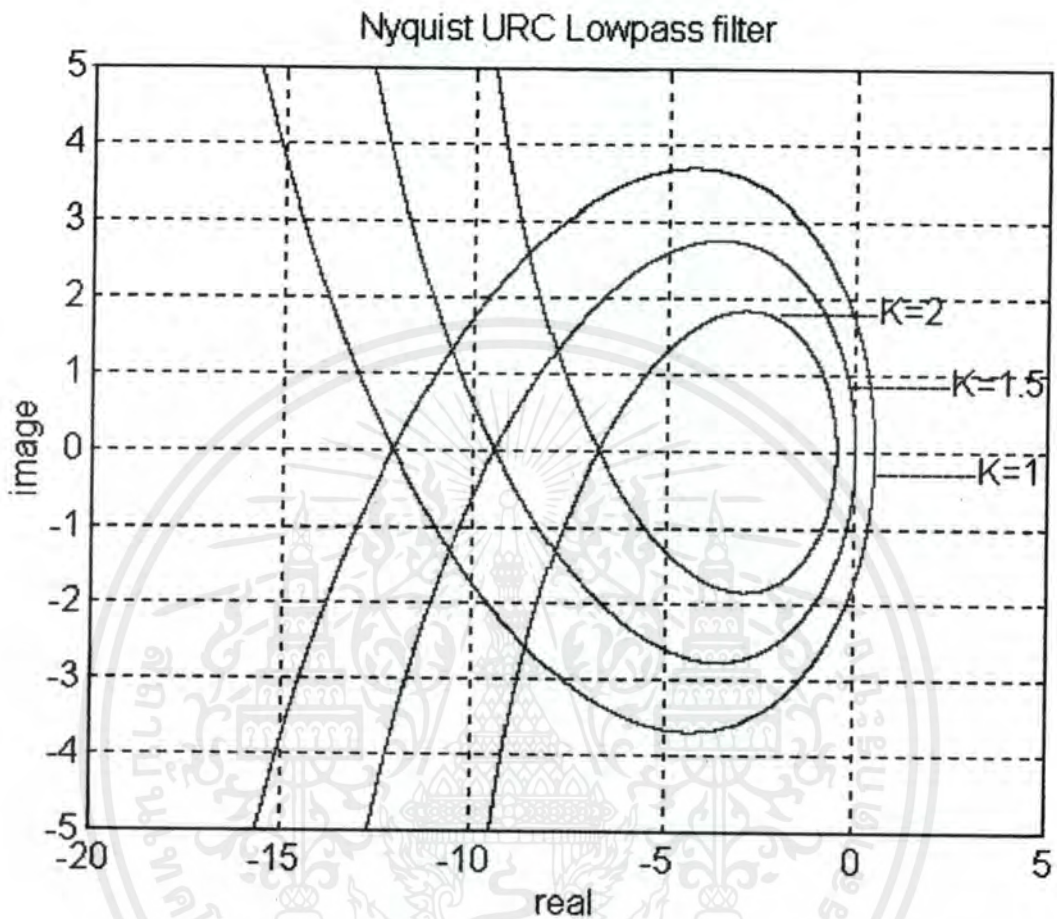


รูปที่ 3.17 แสดงผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากรูปที่ 3.17 เป็นการบอกถึงความล่าช้า (Group Delay) ของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยจะกำหนดให้มีค่า $K=1$ และ α เท่ากับ 0.5 ,0.7 ,1.2 ตามลำดับ จะทราบได้ว่าค่ากรุปดีเลย์ของแต่ละ α ไม่เหมือนกันโดยในช่วงความถี่ต่ำนั้นค่า α เท่ากับ 0.5 จะมีค่า Group Delay ที่ต่ำกว่า $\alpha = 0.7$ และ 1.2 ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการกำหนดค่า α จะทำให้มีค่า Group Delay ที่ต่างกันออกไป

จากผลตอบสนองทางกรุปดีเลย์ที่ได้ต่อไปต้องมาดูว่าระบบจะมีเสถียรภาพของระบบเป็นอย่างไร โดยจะใช้สมการที่ 3.29 พล็อตกราฟหารูปในควิสิท์ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากสมการที่ 3.29 เป็นสมการการพล็อตกราฟคู่เสถียรภาพของระบบของวงจรรองความถี่ต่ำสามารถออกแบบ โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะได้ผลการออกแบบดังรูป

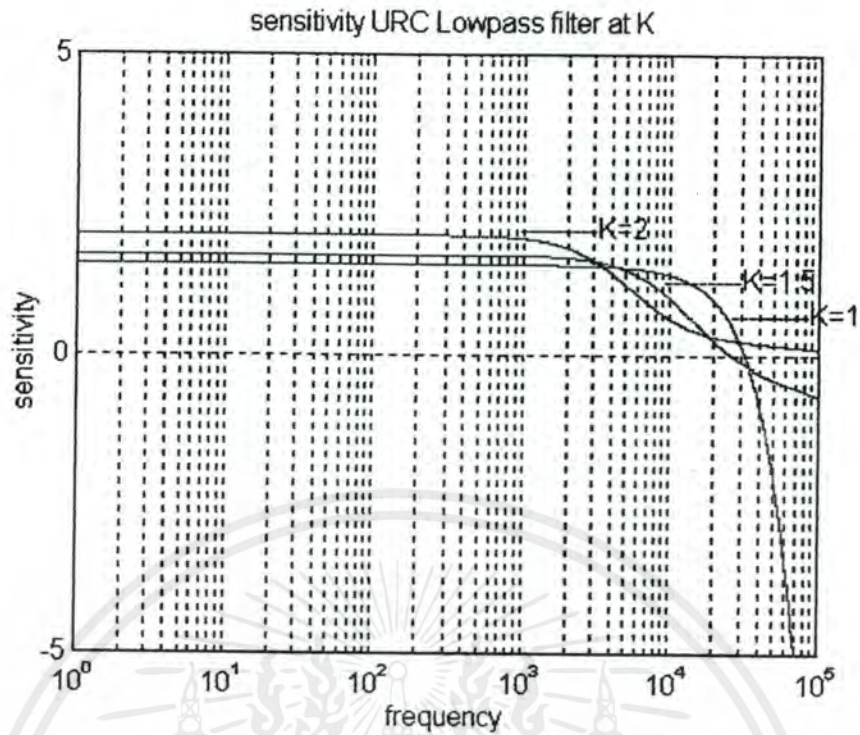


รูปที่ 3.18 แสดง ในควิสต์ไคอะแกรมของวงจรรองความถี่ต่ำ

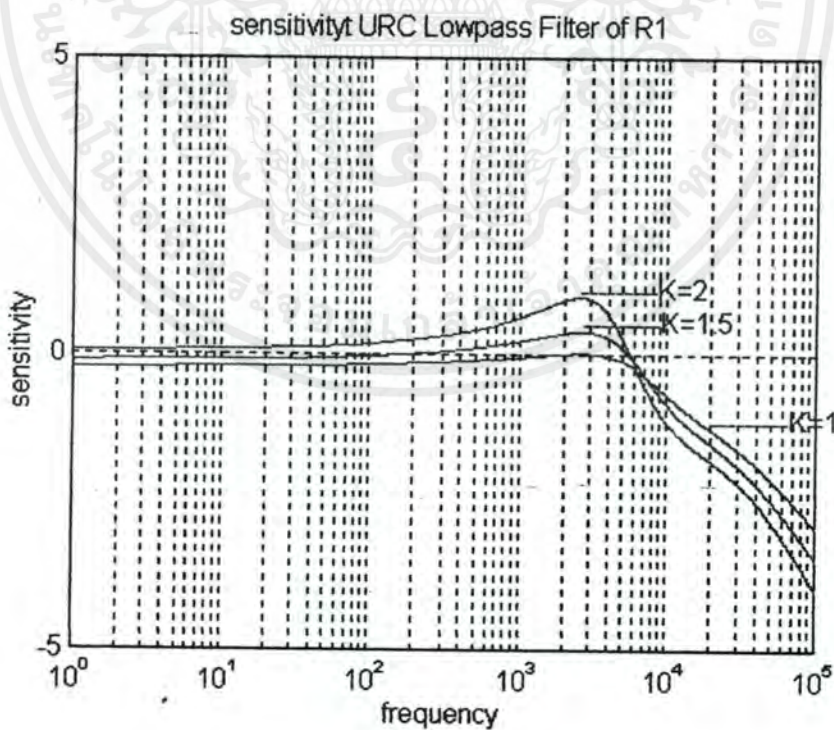
จากรูปที่ 3.18 แสดง ในควิสต์ไคอะแกรมของวงจรรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) โดยใช้ ยูอาร์ซี จากรูปเราจะกำหนดให้มีค่าของ α คงที่ โดยให้มีค่าเป็น 0.5 แล้วก็กำหนดค่า K เท่ากับ 1,1.5,2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถ้าเรากำหนดค่า K ที่ต่างออกไปนี้ทำให้รูปในควิสต์ไคอะแกรมไม่เหมือนกันคือที่ค่า K เท่ากับ 1 และ 1.5 รูปในควิสต์ไคอะแกรมที่ได้วนรอบจุดศูนย์กลางจะทำให้ระบบเสถียรภาพแต่ที่ $K = 2$ จะไม่วนรอบจุดศูนย์กลางทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพดังนั้นวงจรที่ทำการจะกำหนดให้มีค่า K อย่าให้เกิน 2 แล้วค่า α ที่กำหนดนั้นก็ยังมีผลต่อเสถียรภาพต่อระบบด้วยเช่นกัน

จากในควิสต์ไคอะแกรมที่ได้ต่อไปก็เป็นการหาค่าความไวของอุปกรณ์ของวงจรรองความถี่ต่ำ โดยผลที่ได้จะเริ่มหาค่าความไว (Sensitivity) ที่ค่า K , R1 ,R2 ,C1 ,C2 ตามลำดับจากสมการที่ 3.30 ถึง 3.34 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการพล็อตกราฟจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

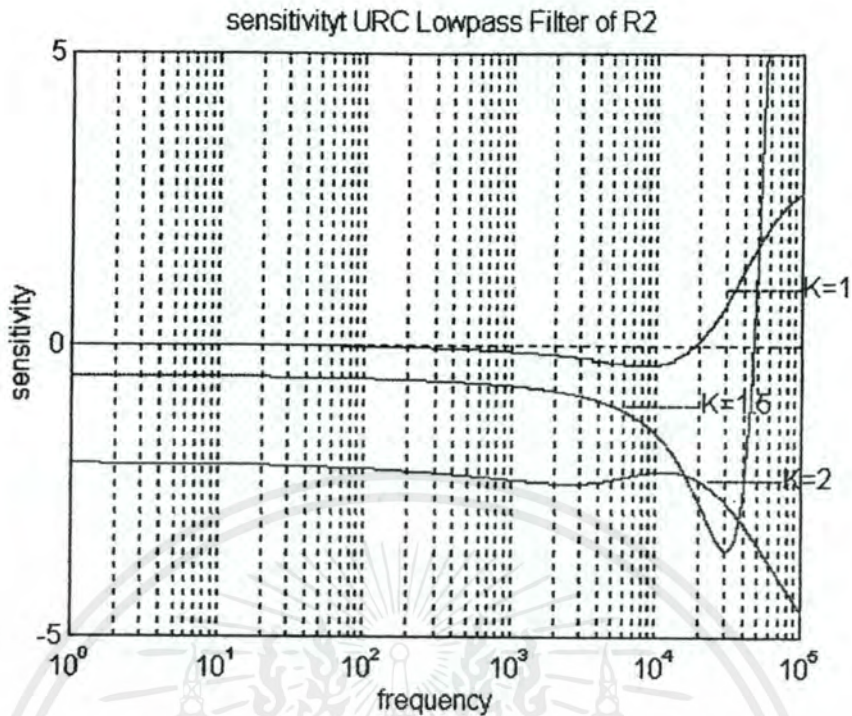


รูปที่ 3.19 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ K

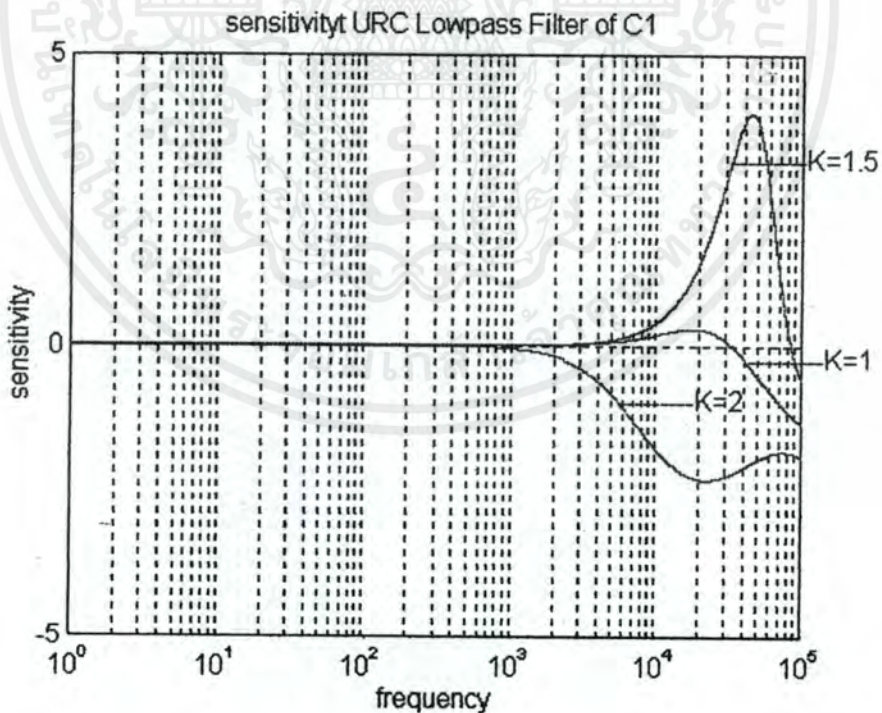


รูปที่ 3.20 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

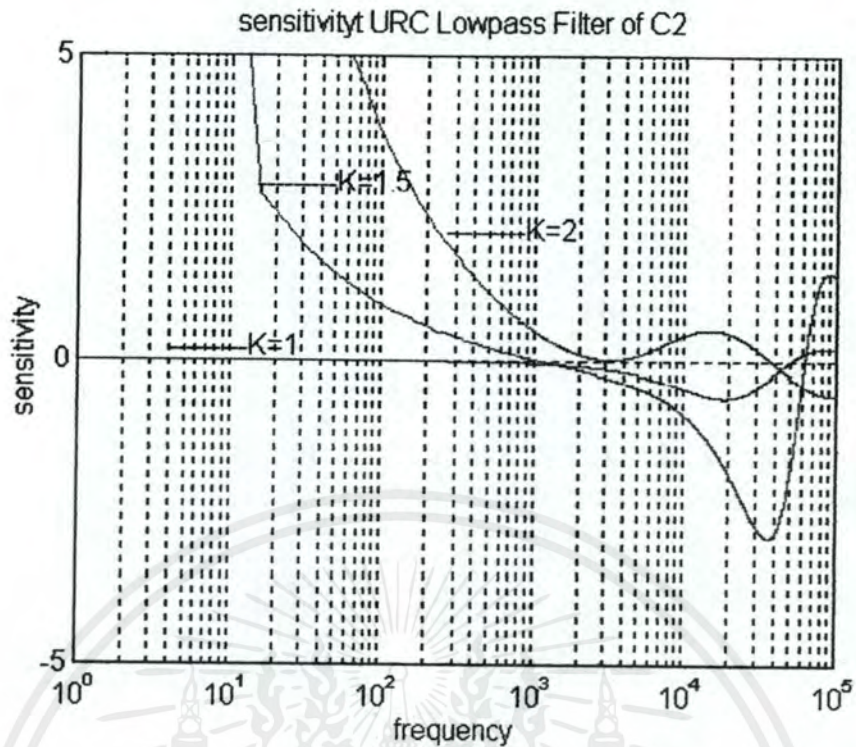


รูปที่ 3.21 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ R2



รูปที่ 3.22 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C1

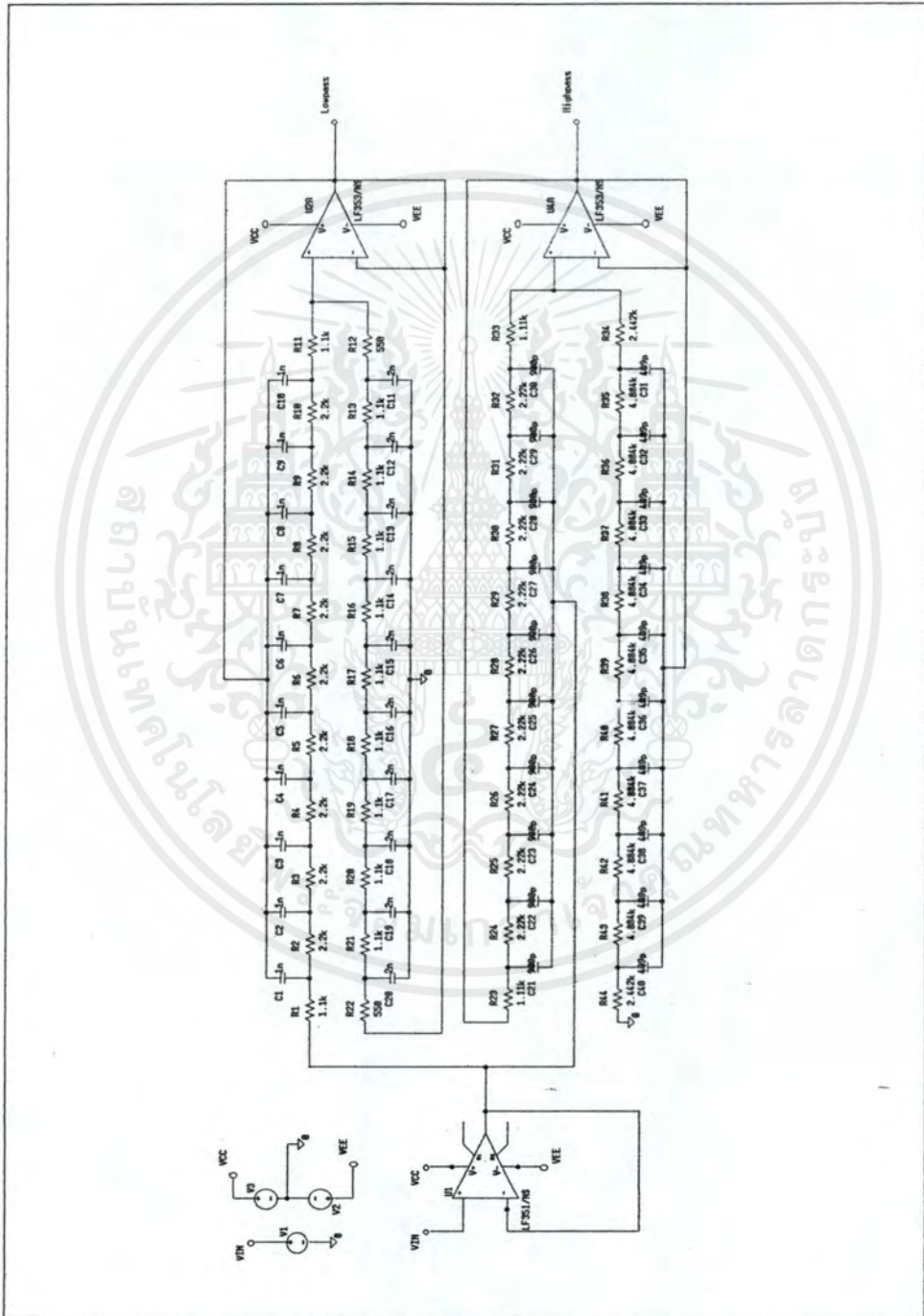
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดง Sensitivity วงจรกรองความถี่สูง ของอุปกรณ์ C2

จากสมการที่ 3.17 ถึง 3.21 เป็นการพล็อตกราฟค่าความไวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของวงจรกรองความถี่ต่ำจากรูปจะกำหนดให้ค่าของ α คงที่โดยมีค่าเท่ากับ 1.5 และจะเปลี่ยนค่า K ไปจะกำหนดให้เท่ากับ 1, 1.5, 2 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าเราเปลี่ยนค่า K ไปเรื่อยๆ จะมีผลต่อความไวของอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งการปรับค่าของ α ก็จะมีผลต่อความไวของอุปกรณ์เหมือนกัน

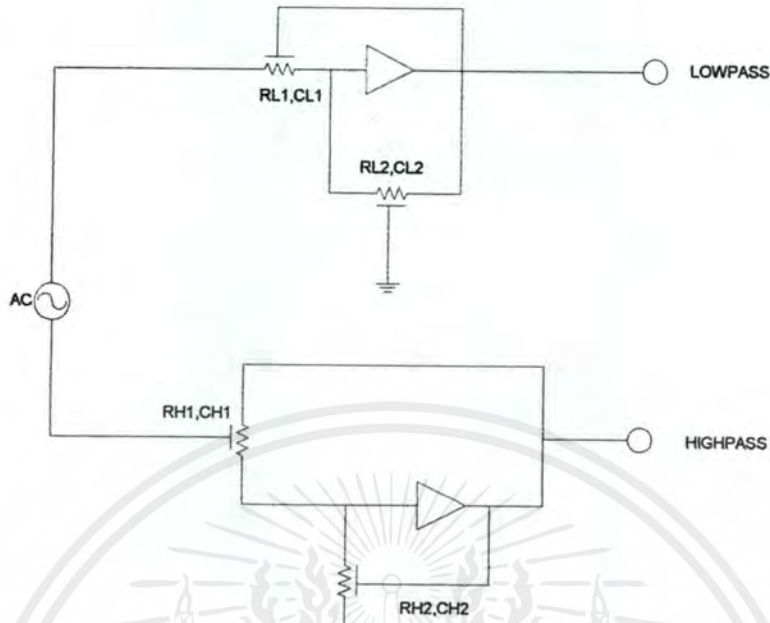
การสร้างวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้ URC



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรจริงของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้URC แบบที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 1



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรสมมูลของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 1

จากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงวงจรแอกทิฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC ซึ่งในวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบนี้เป็นการนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำ(Lowpass Filter)และวงจรกรองความถี่สูง(Highpass Filter) มาใช้โดยทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำและวงจรกรองความถี่สูงที่นำมาต่อขึ้นนั้นจะมีสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$T_H(P) = \frac{\alpha K (\cosh p - 1)}{\alpha \cosh p + \cosh p - K(\alpha - 1 + \cosh p)} \tag{4.1}$$

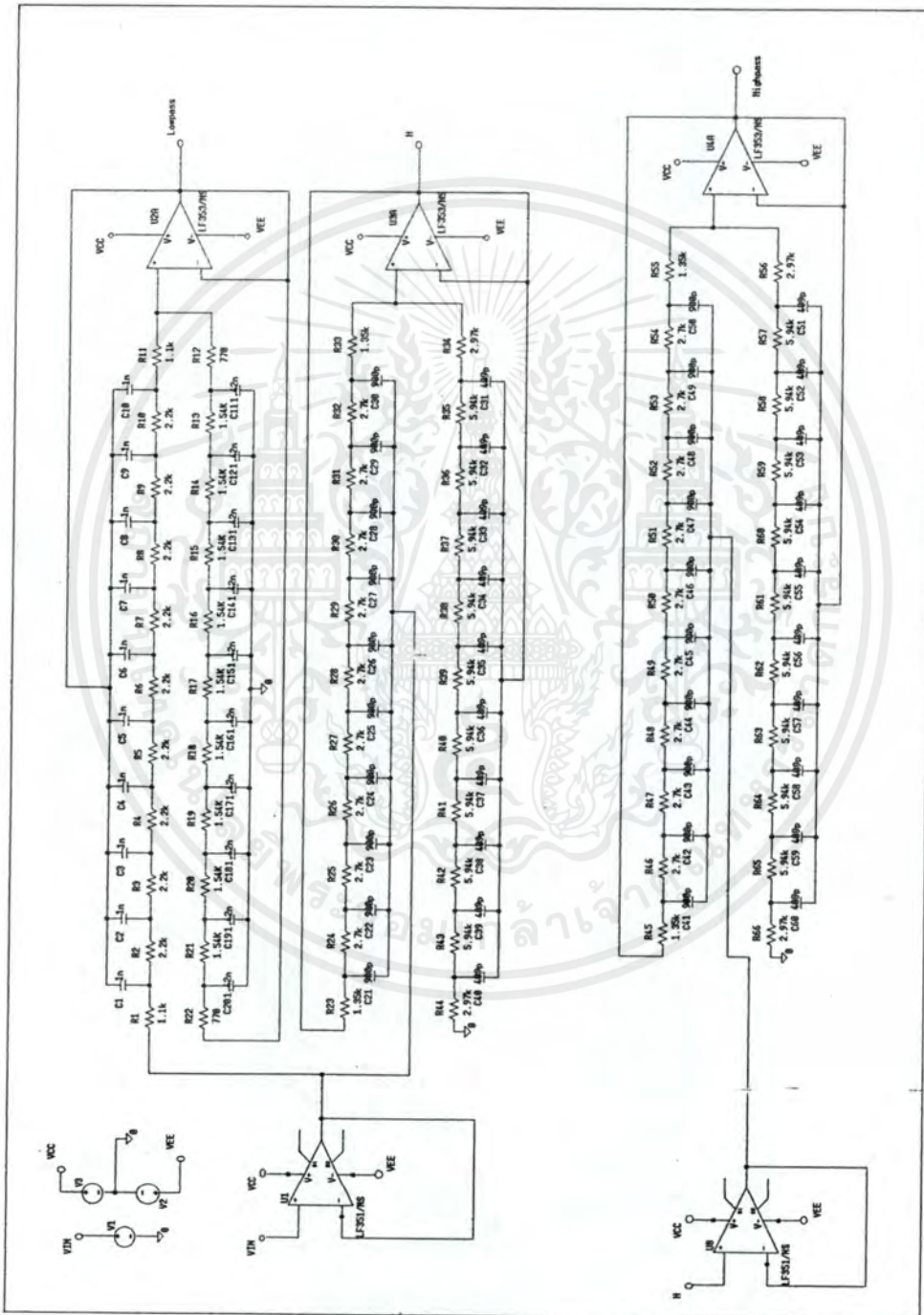
โดยที่ $T_H(P)$ เป็นทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่สูง และ

$$T_L(P) = \frac{\alpha K}{\alpha \cosh p + \cosh p - K\alpha \cosh p + K} \tag{4.2}$$

โดยที่ $T_L(P)$ เป็นทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ต่ำ จากทั้งสองวงจร โดยกำหนดให้ $R_2=R_1=R$ และ $C_2=C_1=C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p = \sqrt{j\omega RC}, p_1 = p_2 = p, \frac{R_2}{R_1} = \frac{C_2}{C_1} = \alpha \tag{4.3}$$

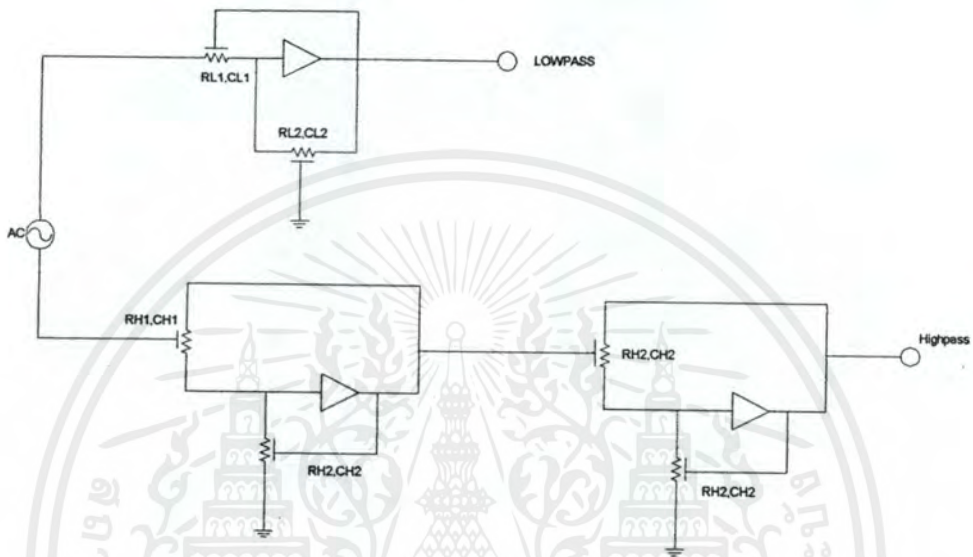


รูปที่ 4.3 แสดงวงจรจริงของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 2

ในวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2 นี้จะเป็นการนำวงจรกรองความถี่สูงมาต่อแคสเคดกับวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 โดยจะแคสเคดกันที่ด้านวงจรกรองความถี่สูงของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 เพื่อจะเป็นการเพิ่มความชันให้กับวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คให้มีความชันที่ดีขึ้น โดยรูปวงจรถูกแสดงดังรูปที่ 4.4



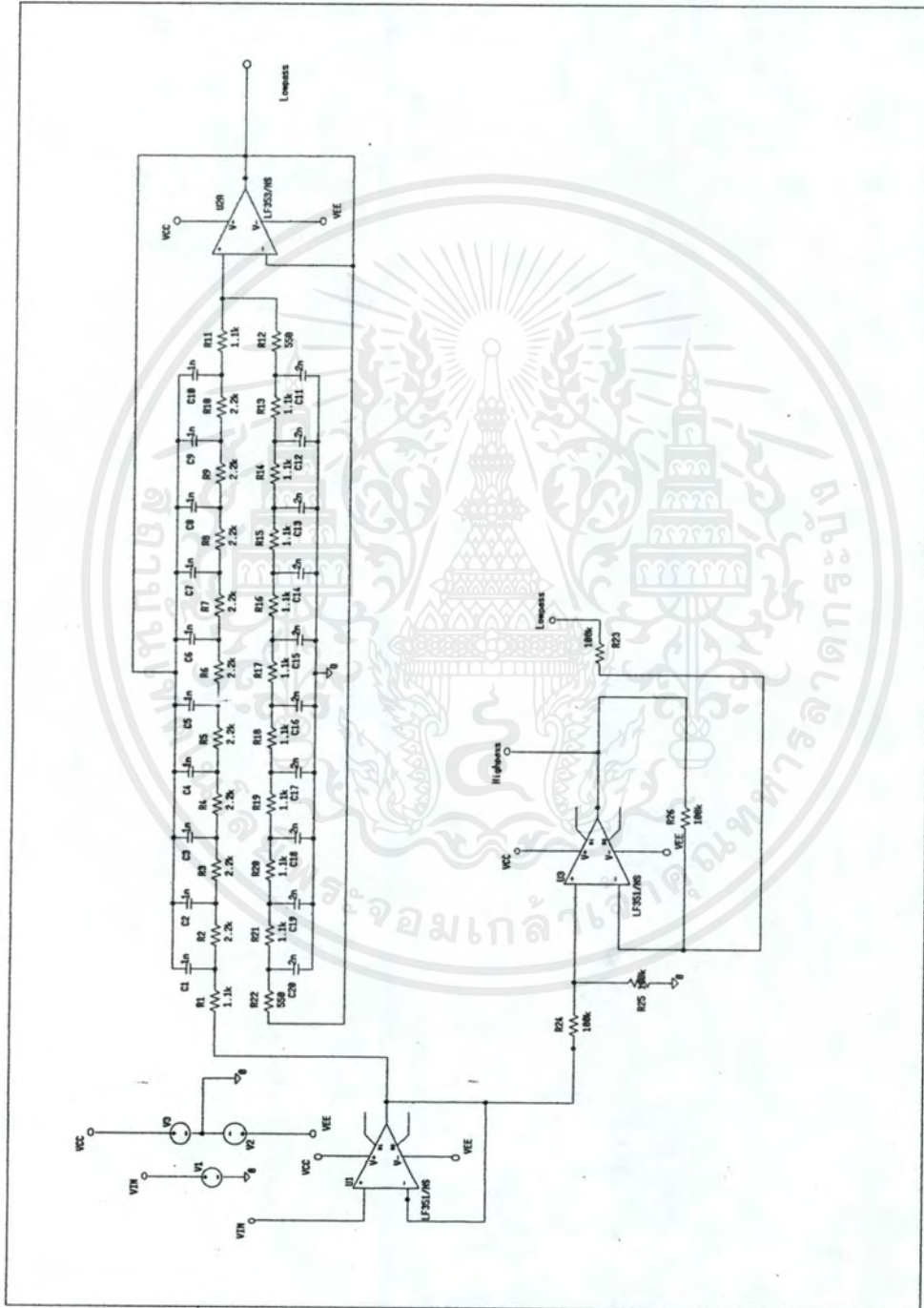
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรมูลของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 2

จากรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงวงจรแคสเคดที่ฟรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 2 ซึ่งในวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบนี้เป็นการนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) และนำวงจรกรองความถี่สูง (Highpass Filter) สองวงจรมาค่อแคสเคดกันเพื่อเพิ่มความชันของวงจร โดยทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำและวงจรกรองความถี่สูงที่นำมาค่อนั้นจะมีสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$T_H(P) = \left[\frac{\alpha K (\cosh p - 1)}{\alpha \cosh p + \cosh p - K(\alpha - 1 + \cosh p)} \right] \left[\frac{\alpha K (\cosh p - 1)}{\alpha \cosh p + \cosh p - K(\alpha - 1 + \cosh p)} \right] \quad (4.4)$$

$$T_L(P) = \frac{\alpha K}{\alpha \cosh p + \cosh p - K\alpha \cosh p + K} \quad (4.5)$$

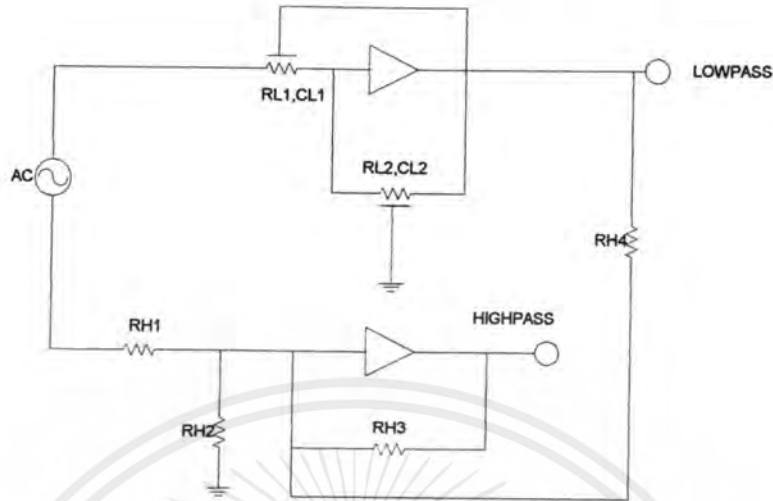
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรจริงของของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 3



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรสมมูลของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 3

การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 นี้จะอาศัยหลักการนำสัญญาณอินพุตลบสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรองความถี่ต่ำจะได้ผลออกมาเป็นวงจรรองความถี่สูง ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$T_L(P) = \frac{\alpha K}{\alpha \cosh p + \cosh p - K\alpha \cosh p + K} \quad (4.6)$$

โดยที่ $T_L(P)$ เป็นทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรรองความถี่ต่ำ

$$T_H(P) = 1 - \frac{\alpha K}{\alpha \cosh p + \cosh p - K\alpha \cosh p + K} \quad (4.7)$$

$$T(P) = T_L(P) + T_H(P) \quad (4.8)$$

$$T(P) = 1 - \frac{\alpha K}{\alpha \cosh p + \cosh p - K\alpha \cosh p + K} + \frac{\alpha K}{\alpha \cosh p + \cosh p - K\alpha \cosh p + K}$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความราบเรียบของวงจรเท่ากับ 1

$$T(P) = 1 \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ส่วนประกอบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์ค

4.4.1 ส่วนประกอบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์คแบบที่1

R2-R10	ใช้ค่า	2.2K
R1 กับ R11	ใช้ค่า	1.1K
R13-R21	ใช้ค่า	1.1K
R12 กับ R22	ใช้ค่า	550
R24-R32	ใช้ค่า	2.22K
R23 กับ R33	ใช้ค่า	1.11K
R35-R43	ใช้ค่า	4.884K
R34 กับ R44	ใช้ค่า	2.442K
C1-C10	ใช้ค่า	1n
C11-C20	ใช้ค่า	2n
C21-C30	ใช้ค่า	900p
C31-C40	ใช้ค่า	409p

4.4.2 ส่วนประกอบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์คแบบที่2

R2-R10	ใช้ค่า	2.2K
R1 กับ R11	ใช้ค่า	1.1K
R13-R21	ใช้ค่า	1.54K
R12 กับ R22	ใช้ค่า	770
R24-R32	ใช้ค่า	2.7K
R23 กับ R33	ใช้ค่า	1.35K
R35-R43	ใช้ค่า	5.94K
R34 กับ R44	ใช้ค่า	2.97K
R46-R54	ใช้ค่า	2.7K
R45 กับ R55	ใช้ค่า	1.35K
R57-R65	ใช้ค่า	5.94K
R56 กับ R66	ใช้ค่า	2.97K
C1-C10	ใช้ค่า	1n
C11-C20	ใช้ค่า	1.42n
C21-C30	ใช้ค่า	900p
C31-C40	ใช้ค่า	409p
C41-C50	ใช้ค่า	900p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C51-C60 ใ้ค่า 409p

4.4.3 ส่วนประกอบของวงจรออสซิลเลเตอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3

R2-R10	ใ้ค่า 2.2K	R1 กับ R11	ใ้ค่า 1.1K
R13-R21	ใ้ค่า 1.1K	R12 กับ R22	ใ้ค่า 550
C1-C10	ใ้ค่า 1n	C11-C20	ใ้ค่า 2n
R23-R26	ใ้ค่า 100K		

ส่วนไอซีที่ใช้ทั้ง 3 วงจรคือ LF351 และ LF353 เนื่องจากไอซีทั้งสองตัวนี้เป็น Input JFET จึงทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องของอิมพีแดนซ์



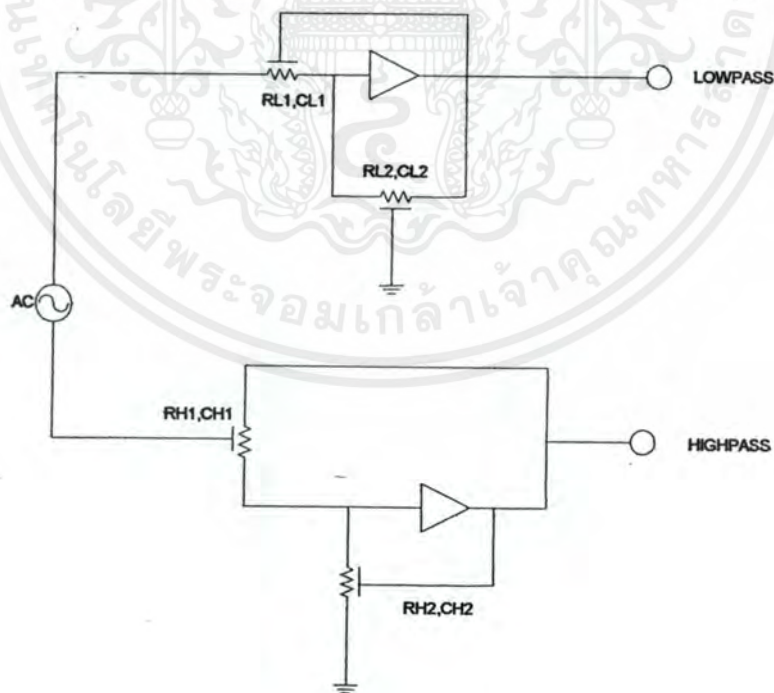
บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในส่วนของ การทดลองนั้น จะใช้ตัวนิพจน์คณิตศาสตร์บิวท์อาร์ชีต์ต่อร่วมกับออปแอมป์ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

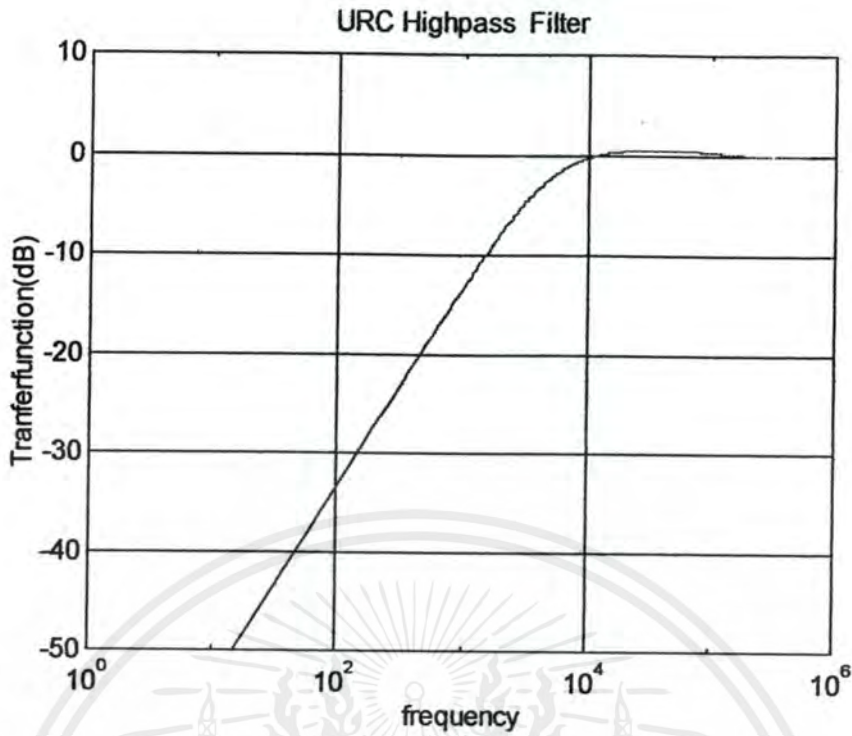
1. ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab โดยในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab นี้ จะทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 แบบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ดังบทที่ 4
2. ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Pspice โดยในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice นี้ จะทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 แบบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ดังบทที่ 4
3. ค่อวงจรที่ออกแบบแล้วทดลองเพื่อหาผลการตอบสนองในทางวงจรจริงโดยในการทดลองด้วยวงจรจริงนี้จะใช้วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คในแบบที่ 3 ในการทดลอง
4. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ทั้ง 3 ข้อ พร้อมทั้งสรุปผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 1

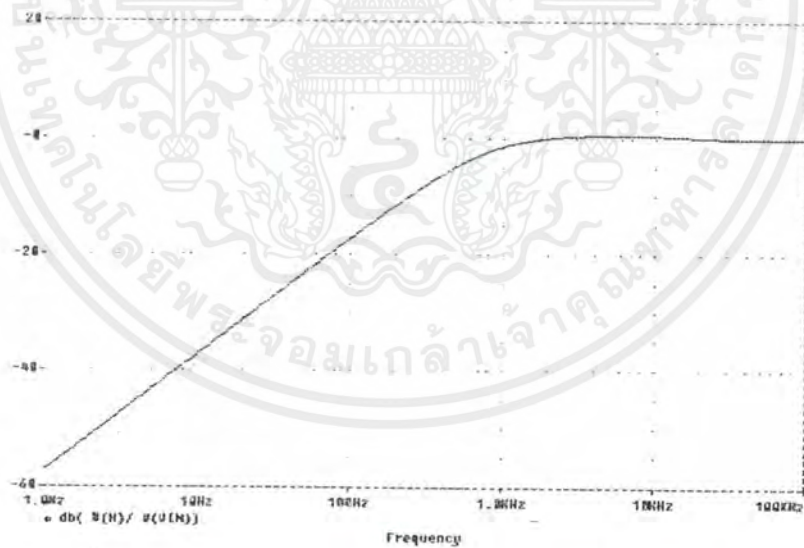


รูปที่ 5.1 แสดงรูปวงจรของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



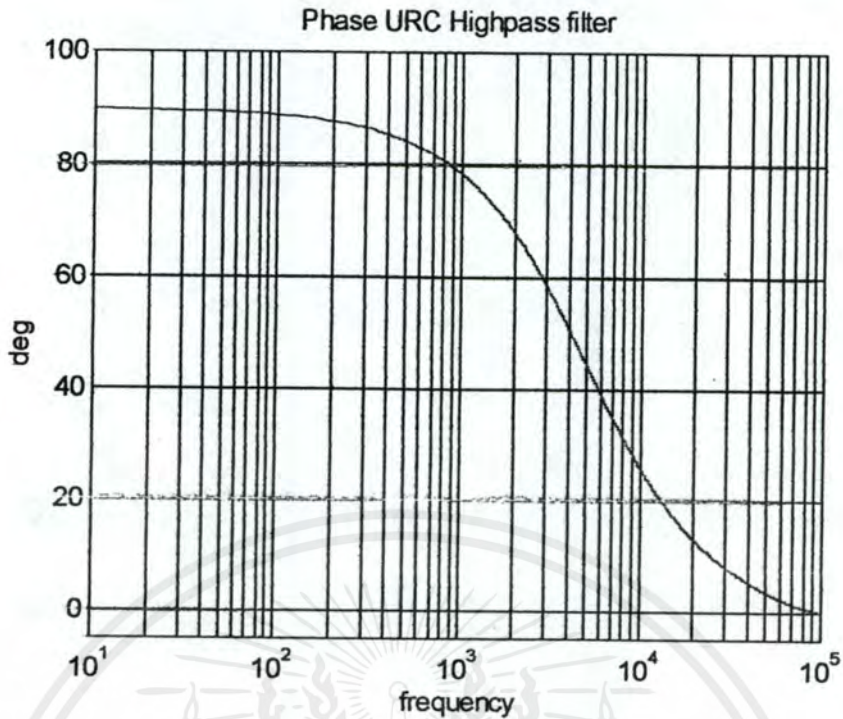
รูปที่ 5.2 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรม Matlab



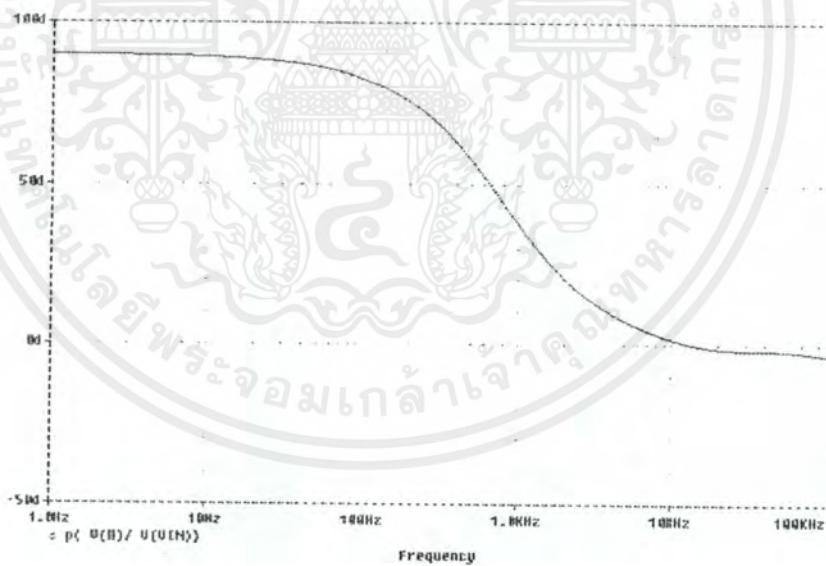
รูปที่ 5.3 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.2 และ 5.3 ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางขนาดมีค่าใกล้เคียงกันแต่จุดตัดออฟที่ตัดกันนั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลใดต่อการวิเคราะห์ห้วงจร โดยจะเห็นว่าเอาท์พุทจะผ่านในช่วงความถี่สูงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



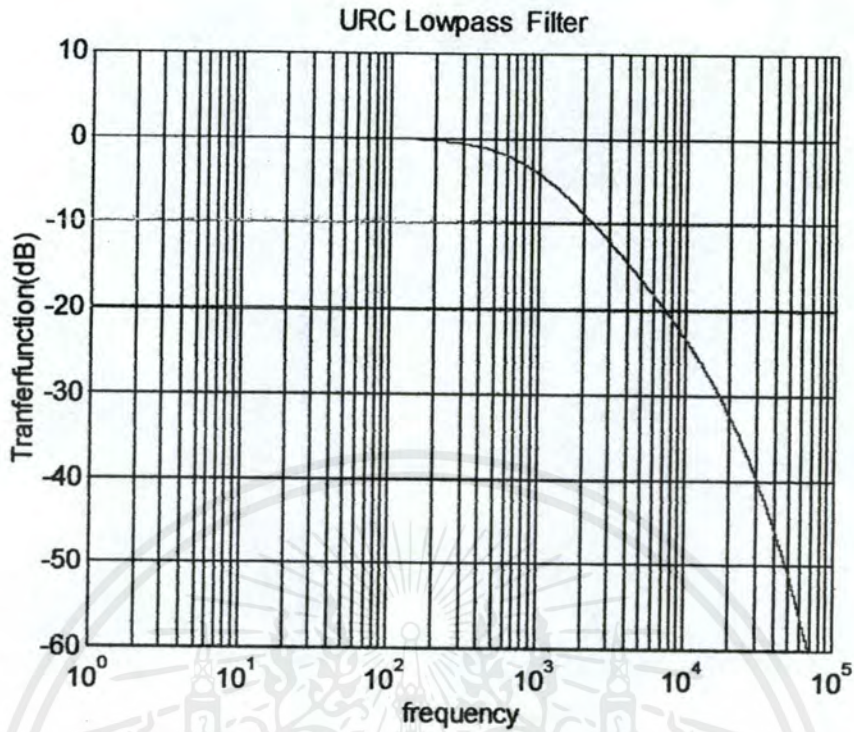
รูปที่ 5.4 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมMatlab



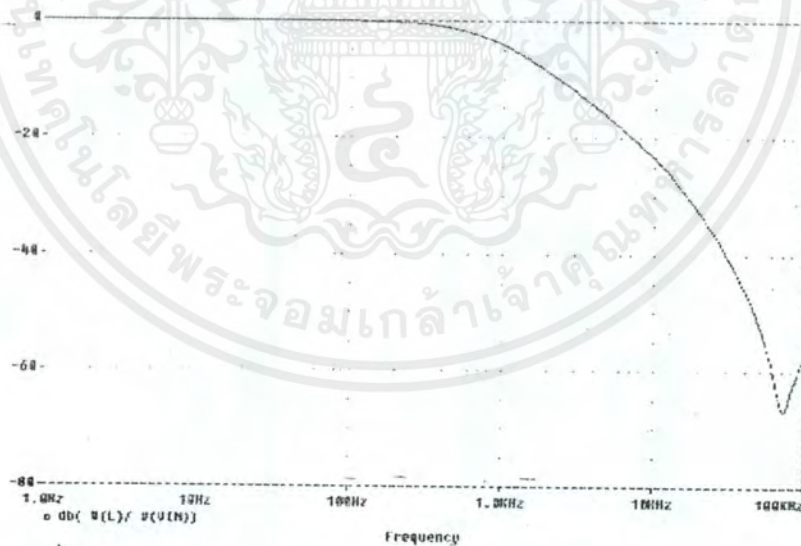
รูปที่ 5.5 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.4 และ 5.5 ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางเฟสมีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่ามุมมองในแง่ของความถี่นั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลต่อการวิเคราะห์วงจร และมุมของวงจรกรองความถี่สูงที่ได้จากเอทพุทโดยเทียบกับอินพุทจะเริ่มที่ 90 องศาที่ความถี่ต่ำ และเป็น 0 องศาที่ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab



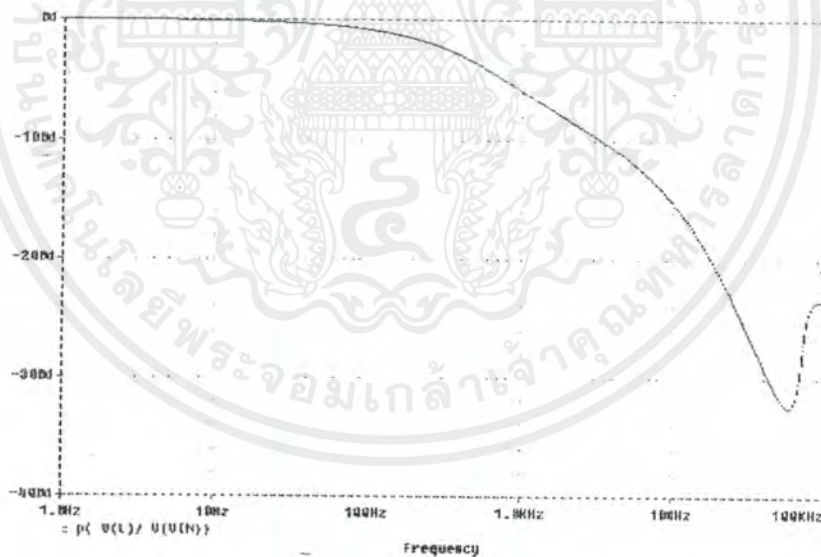
รูปที่ 5.7 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.6 และ 5.7 ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางขนาดมีค่าใกล้เคียงกันแต่จุดตัดออฟที่ตัดกันนั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลใดต่อการวิเคราะห์ห้วงจร โดยจะเห็นว่าเอาท์พุทจะผ่านในช่วงความถี่ต่ำเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



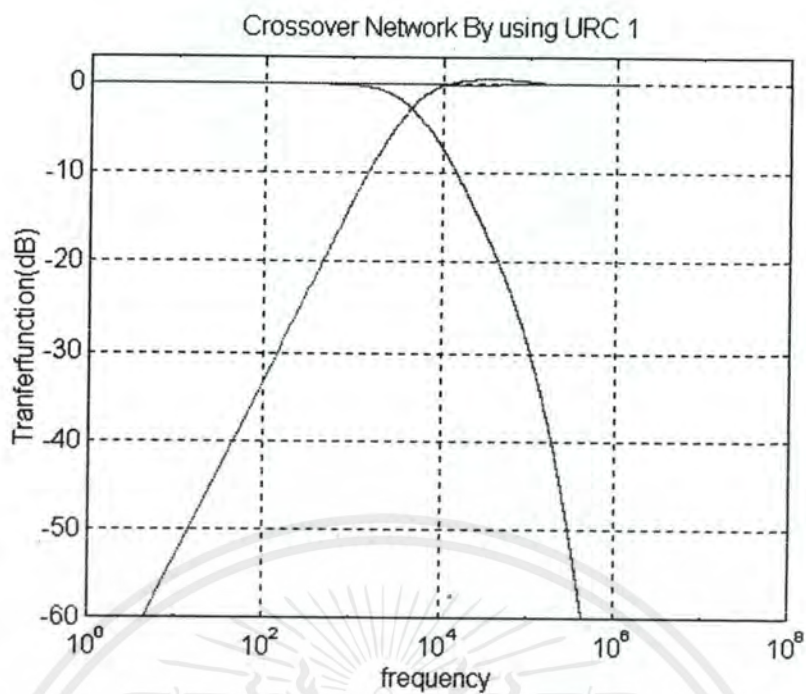
รูปที่ 5.8 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab



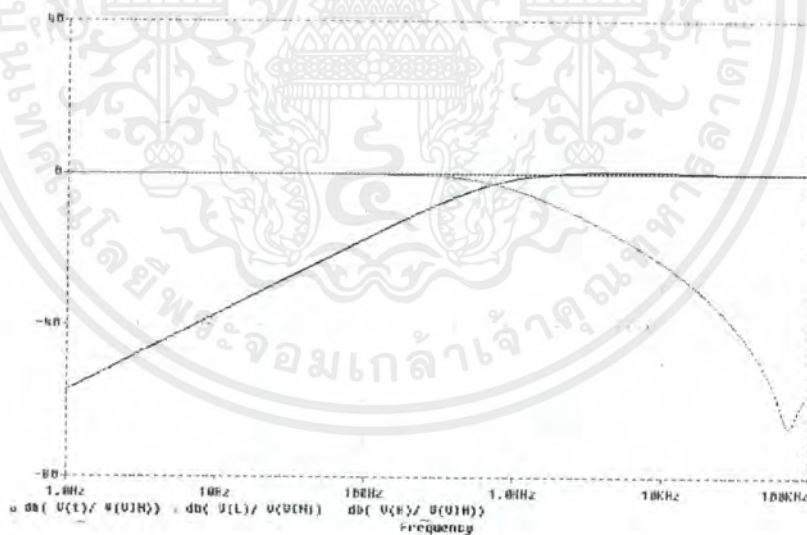
รูปที่ 5.9 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.8 และ 5.9 ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางเฟสมีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่ามุมมองในแง่ของความถี่นั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ห้วงจร และมุมมองของวงจรกรองความถี่ต่ำที่ได้จากเอาร์ทพุทโดยเทียบกับอินพุทจะเริ่มที่ 0 องศาที่ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



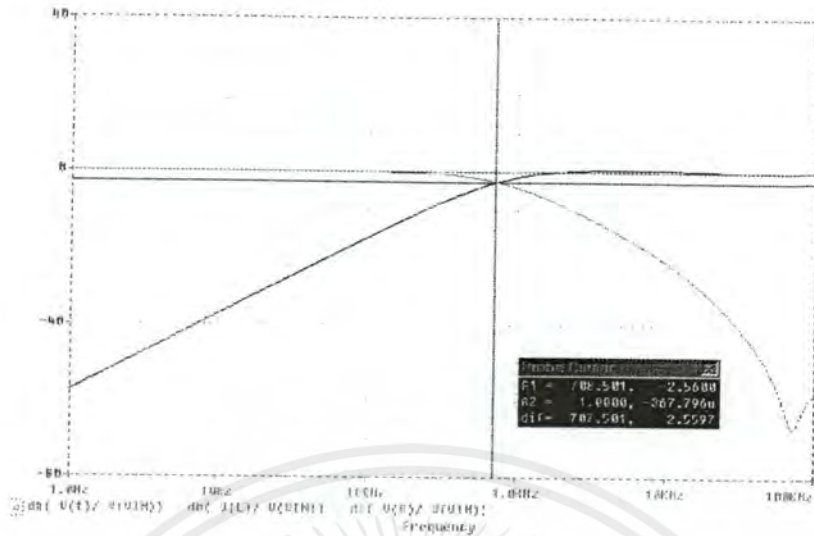
รูปที่ 5.10 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
โดยใช้โปรแกรมMatlab



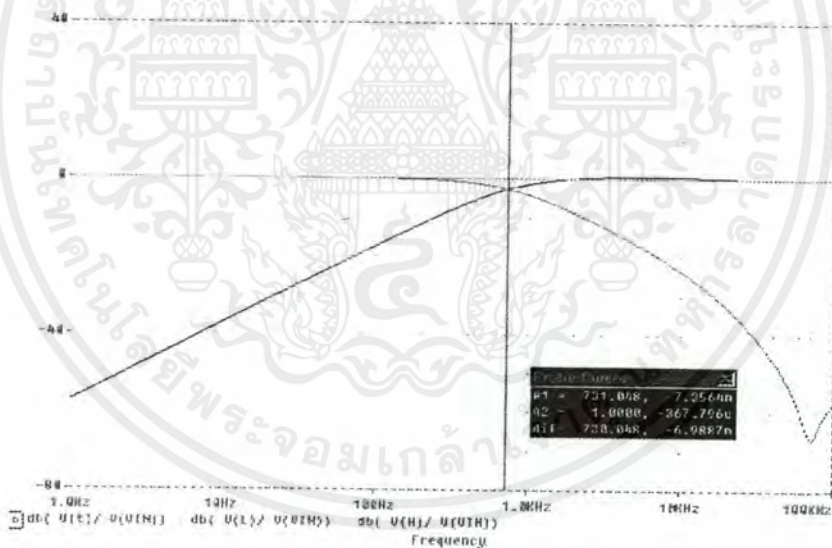
รูปที่ 5.11 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.10 และ 5.11 เป็นผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 และจะเห็นได้ว่าความถี่ที่ตัดกันนั้นไม่เท่ากันเป็นเพราะว่าเกิดการออร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลใดๆ ต่อวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



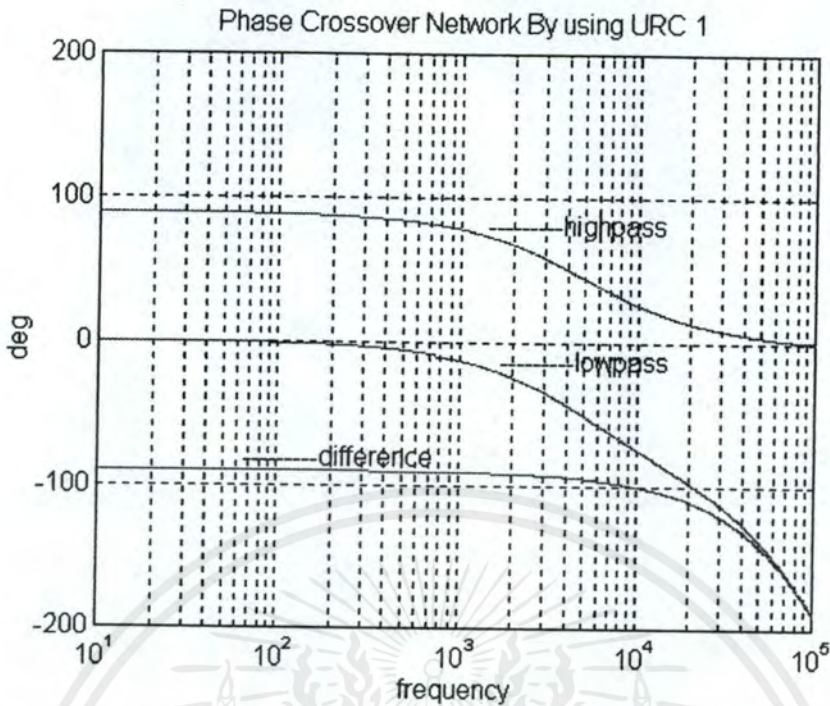
รูปที่ 5.12 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
ความถี่คutoff โดยใช้โปรแกรมPspice



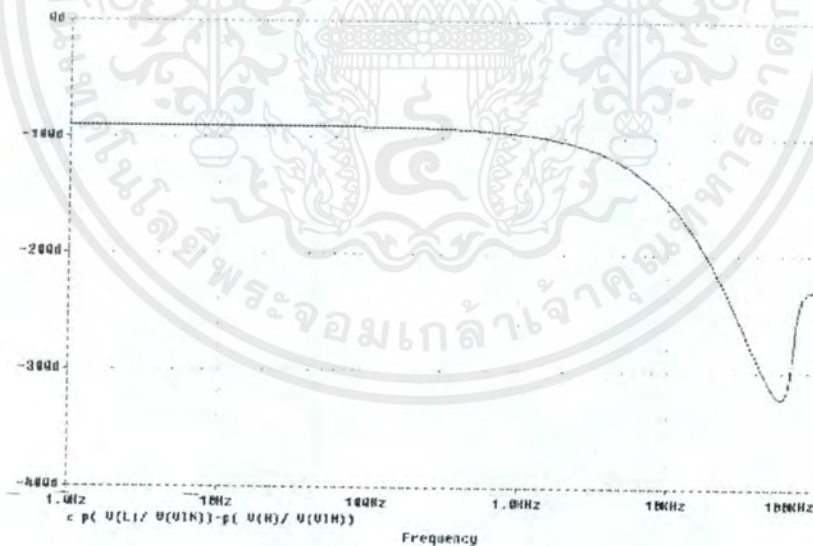
รูปที่ 5.13 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
ความถี่คutoff และความราบเรียบของวงจร โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.12 และ 5.13 เป็นผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จะเห็นได้ว่าความราบเรียบของวงจรมีค่าไม่ถึงหนึ่งซึ่งจะมีค่าประมาณ 0.007 dB เท่านั้น และจุดตัดระหว่างโลพาส และไฮพาส จะตัดกันที่ -2.56 dB ซึ่งเป็นผลดีต่อวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค และความถี่ที่ตัดกันนั้นจะตัดกันประมาณที่ 731 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



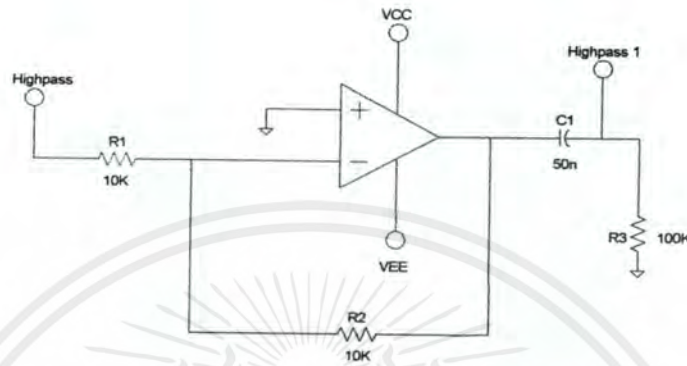
รูปที่ 5.14 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Matlab



รูปที่ 5.15 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Pspice

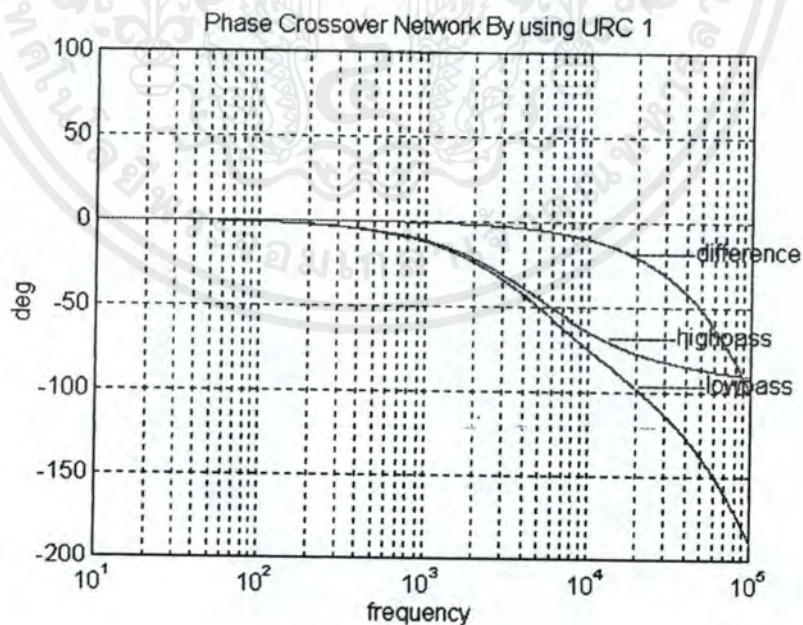
จากรูปที่ 5.14 และ 5.15 เป็นผลตอบสนองทางเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 ซึ่งความต่างเฟสที่ได้จะเห็นได้ว่ายังไม่ดีเท่าที่ควร ก็คือความต่างเฟสของวงจรจะมีค่าต่ำสุดที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-90 องศา ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเฟสของวงจร โดยจะต้องใช้วงจร inverting มาต่อแคสเคดที่วงจรกรองความถี่สูงของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 เพื่อกลับเฟสทางด้านวงจรกรองความถี่สูงมา 180 องศา ก่อน แล้วใช้ C มาต่อแคสเคดกับวงจร inverting อีกทีซึ่งก็เป็น C คับปลิงเพื่อปรับเฟสให้มีค่าเท่ากับวงจรกรองความถี่ต่ำ



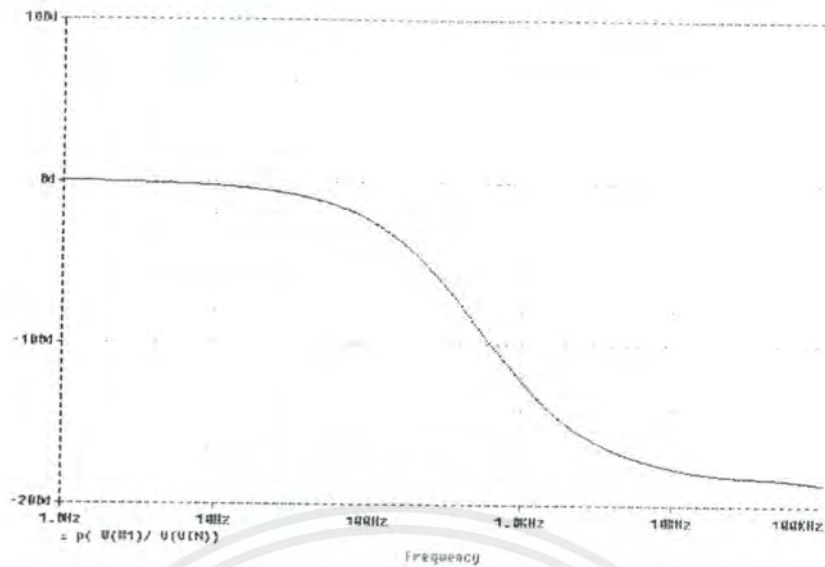
รูปที่ 5.16 แสดงวงจรที่ช่วยในการปรับความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1

จากรูปที่ได้กำหนดให้วงจร inverting มีเกนเท่ากับ 1 โดยที่มีค่าของ R1 และ R2 มีค่า 10 กิโลโอห์ม และให้ C คับปลิงมีค่าเท่ากับ 50 นาโนฟารัด และให้ R3 ซึ่งเป็น Load มีค่า 100 กิโลโอห์ม

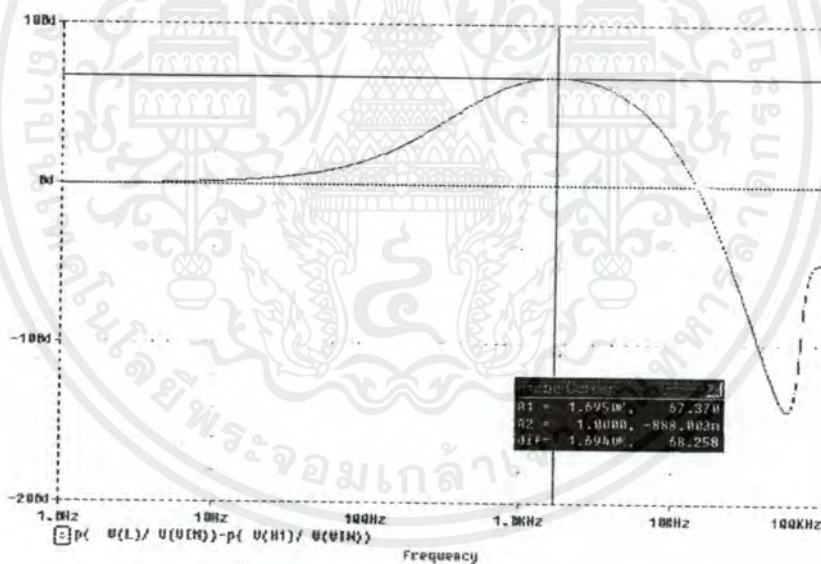


รูปที่ 5.17 รูปแสดงความต่างเฟสและเฟสทางวงจรกรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.16 ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



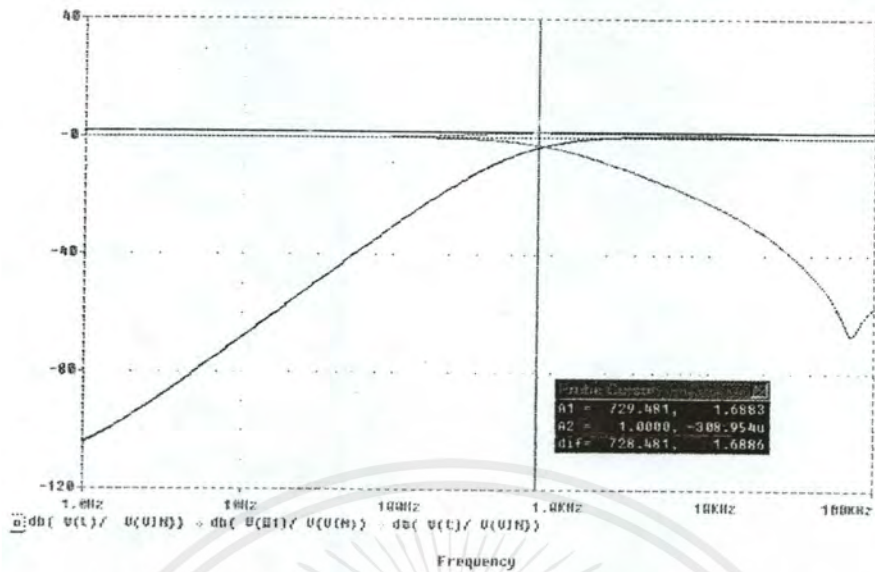
รูปที่ 5.18 รูปแสดงเฟสทางวงจรรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16
ปรับเฟสโดยใช้โปรแกรม Pspice



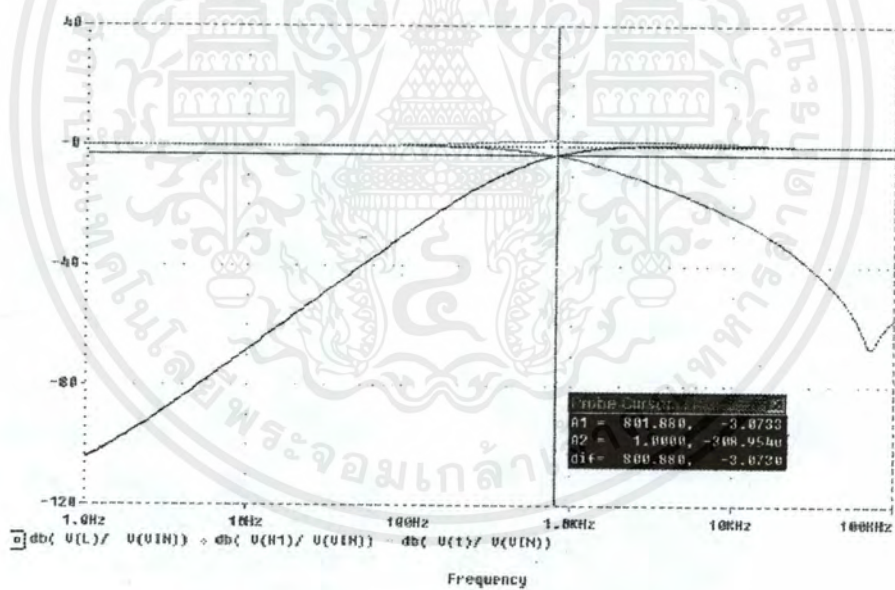
รูปที่ 5.19 รูปแสดงความต่างเฟสของวงจรคอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คเมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16
ปรับเฟสโดยใช้โปรแกรม Pspice

จากรูปที่ 5.17 , 5.18 และ 5.19 จะเห็นได้ว่าได้มีการปรับเฟสให้มีความต่างเฟสของวงจรคอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คให้มีค่าต่ำลงโดยถ้าใช้โปรแกรม Pspice ทดสอบจะมีค่านุมเฟสสูงสุดแค่ 67.37 องศาเท่านั้น โดยในการปรับมุมเฟสนั้นเราจะปรับทางด้านวงจรรองความถี่สูงให้มีค่านุมเข้าใกล้วงจรรองความถี่ต่ำดังรูปที่ 5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



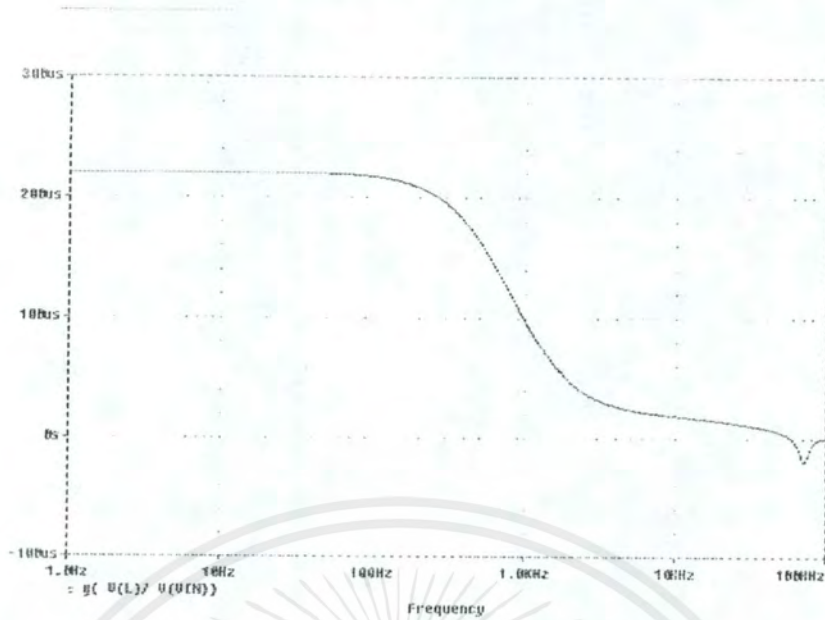
รูปที่ 5.20 รูปแสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค, ความราบเรียบของวงจร เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16 โดยใช้โปรแกรม Pspice



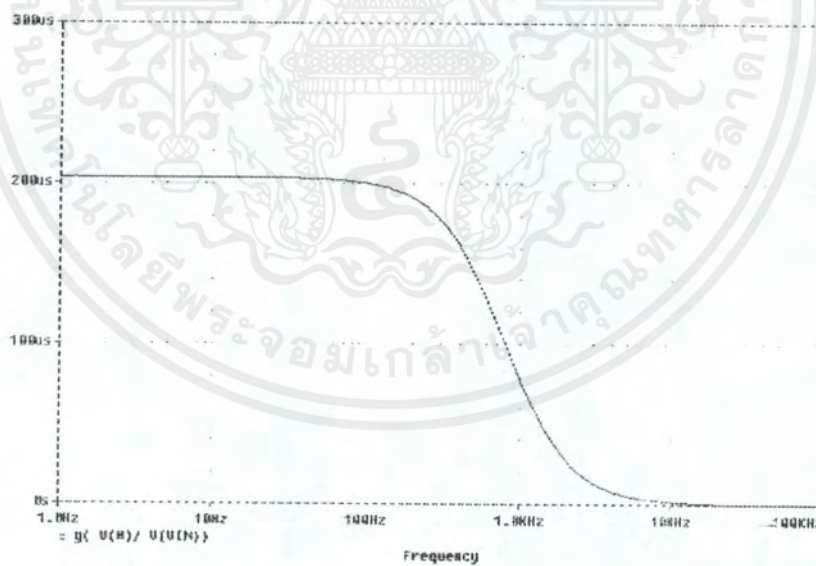
รูปที่ 5.21 รูปแสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค, ความถี่คัทออฟ เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.16 โดยใช้โปรแกรม Pspice

จากรูปที่ 5.20 และ 5.21 ก็คือผลตอบสนองทางขนาดเมื่อต่อแคสเคดจรวงจรคั้งรูปที่ 5.6 จะเป็นผลทำให้มีความถี่คัทออฟที่ 800 Hz และจะตัดกันที่ -3 dB โดยจะมีความราบเรียบของวงจรที่ 1.68dB มีค่าสูงสุดคั้งนั้นยังถือว่าวงจรยังมีความราบเรียบที่ดีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 รูปแสดงผลตอบสนองทางกรุปิตีเลย์ทางวงจรรองความถี่ต่ำ

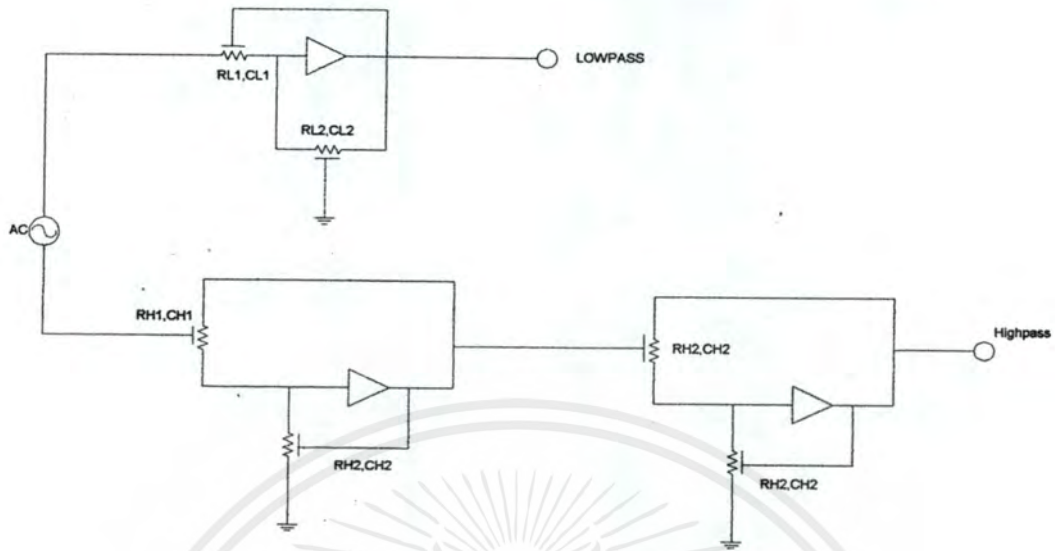


รูปที่ 5.23 รูปแสดงผลตอบสนองทางกรุปิตีเลย์ทางวงจรรองความถี่สูง

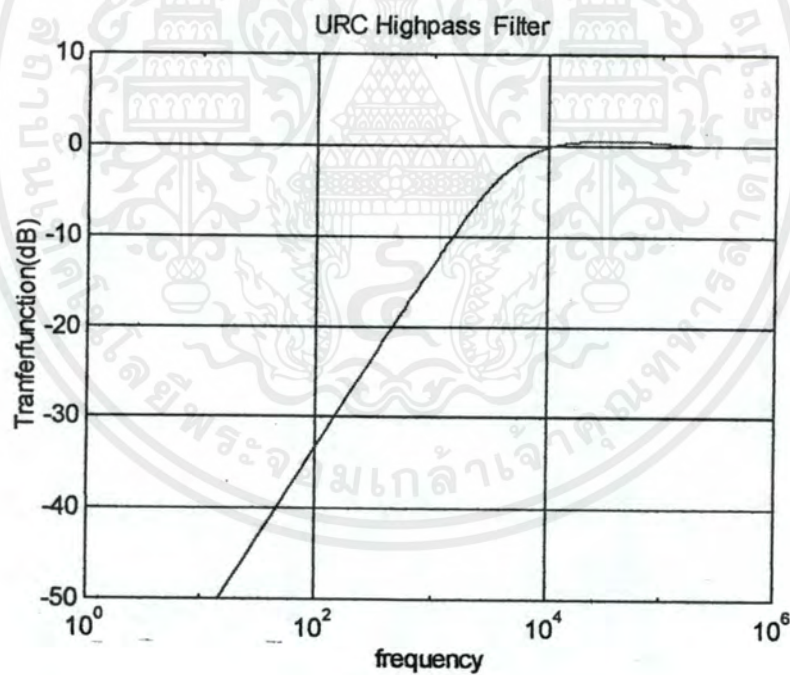
รูปที่ 5.22 และ 5.23 เป็นผลตอบสนองทางกรุปิตีเลย์ของวงจรรอสโอเวอร์เน็ทเวอร์คแบบที่ 1 ทางด้านความถี่สูง และ ทางด้านความถี่ต่ำโดยจะเห็นได้ว่าค่ากรุปิตีเลย์ที่ได้ไม่สูงมากนักจะนำไปทำวงจรรอสโอเวอร์เน็ทเวอร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดลองของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 2

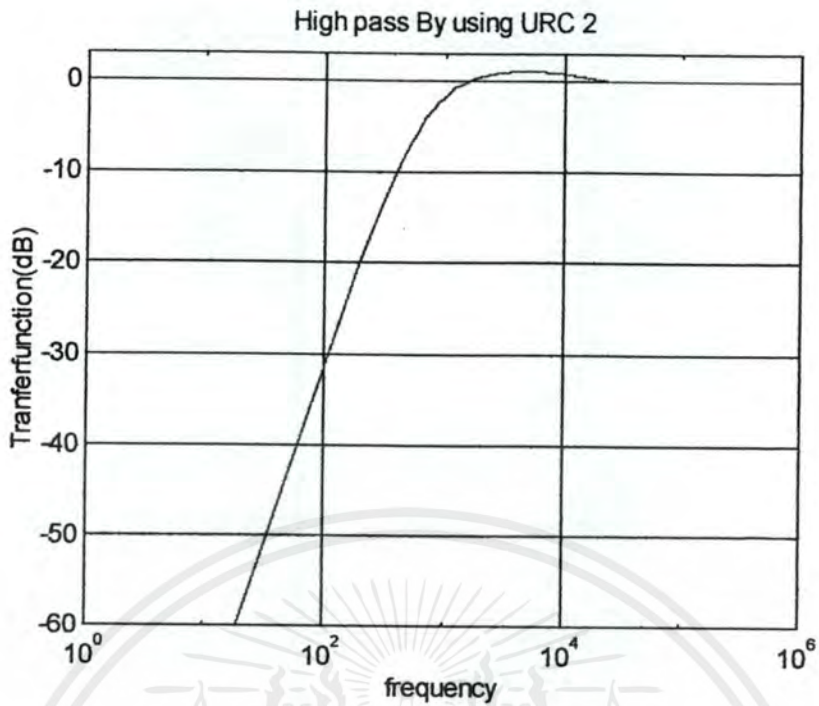


รูปที่ 5.24 แสดงรูปวงจรของวงจรครอส โอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2

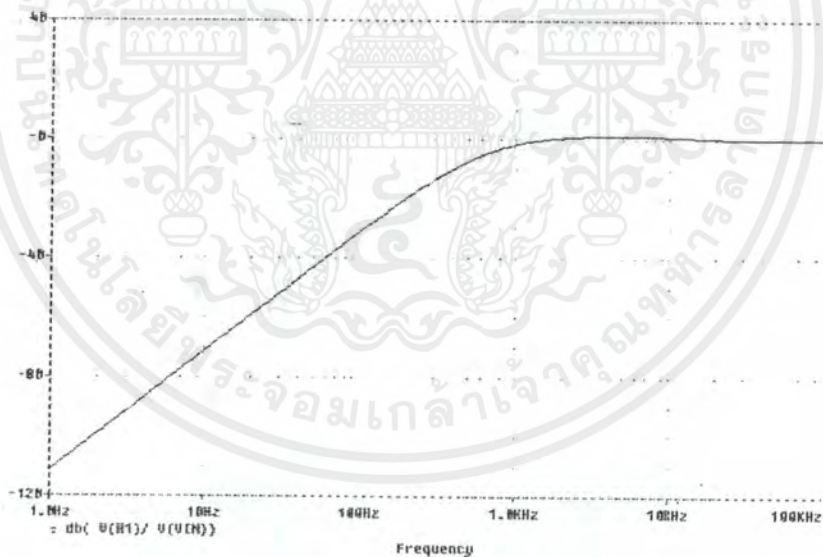


รูปที่ 5.25 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



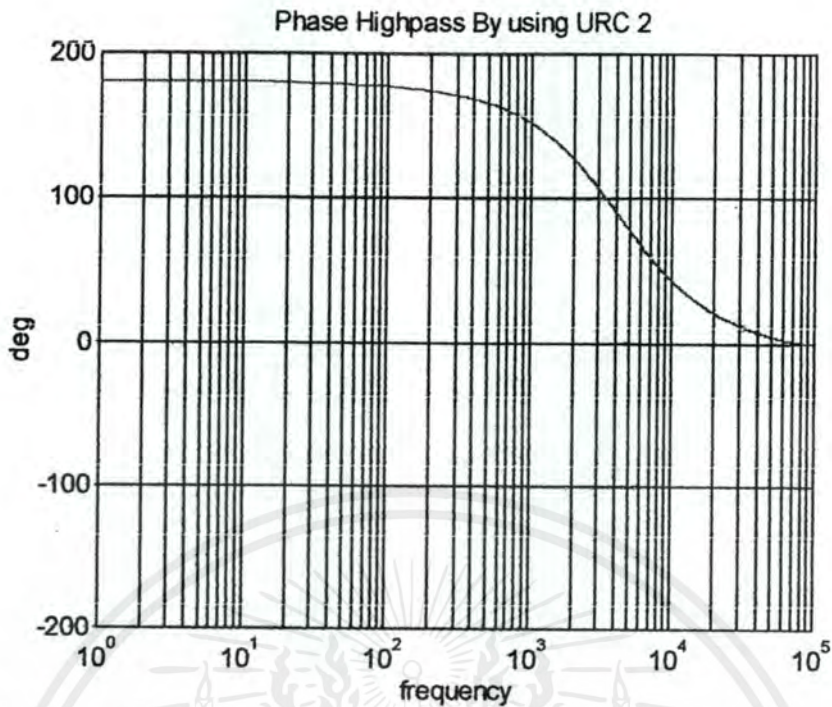
รูปที่ 5.26 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรม Matlab



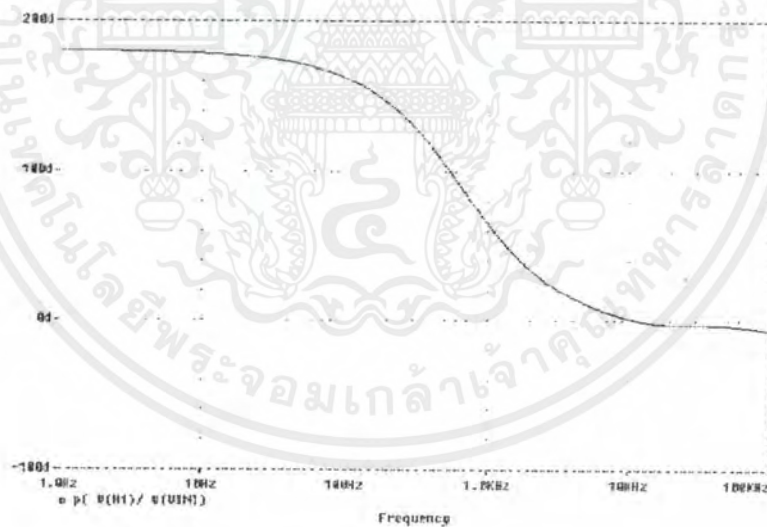
รูปที่ 5.27 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรม Pspice

รูปที่ 5.25 และ 5.26 เปรียบเทียบความชันทางด้านความถี่สูงของวงจรคอสโรวอร์เนทเวอร์คทั้ง 2 แบบโดยจะเห็นได้ว่าความชันของแบบที่ 2 มีความชันที่ลึกกว่าและจากรูปที่ 5.26 และ 5.27 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางขนาดมีค่าใกล้เคียงกันแต่จุดตัดออฟที่ตัดกันนั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



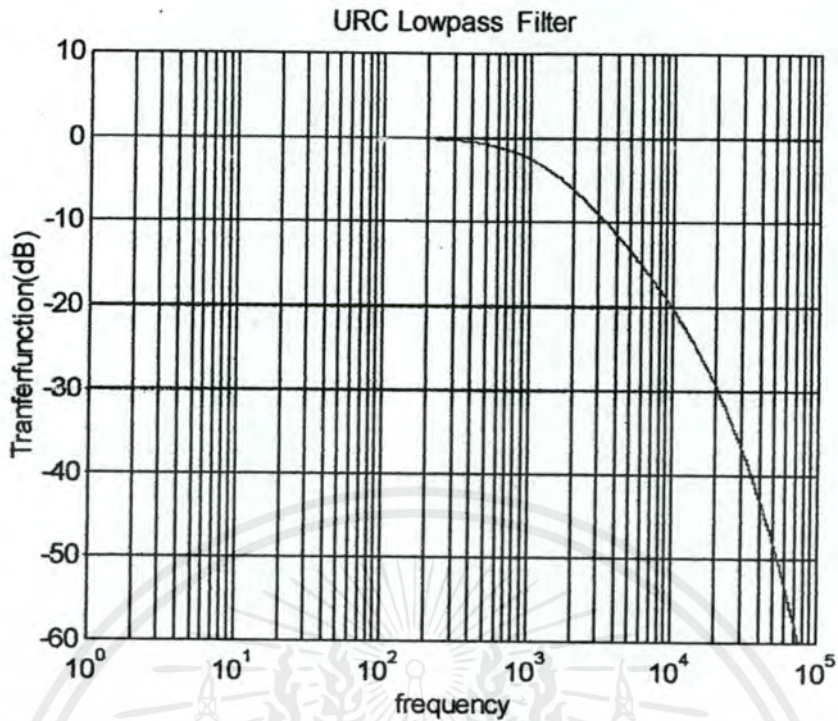
รูปที่ 5.28 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรม Matlab



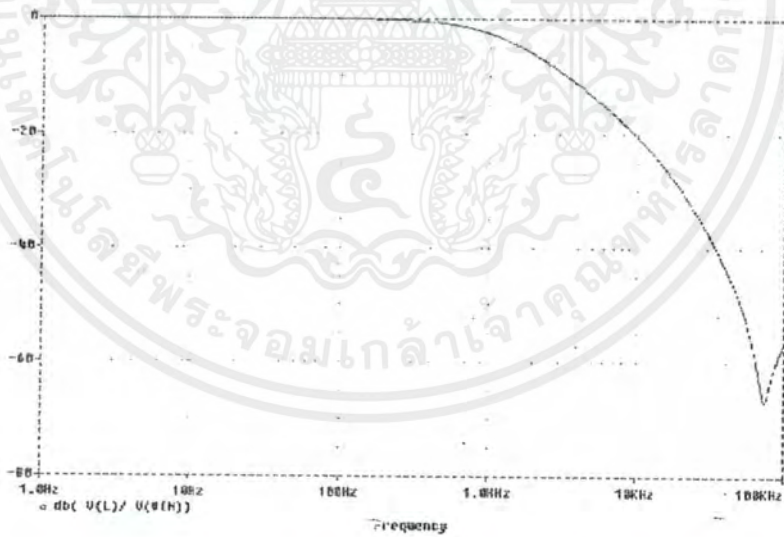
รูปที่ 5.29 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.28 และ 5.29 ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางเฟสมีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่ามุมมองในแต่ละความถี่นั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ห้วงจร และมุมมองของวงจรกรองความถี่สูงที่ได้จากเอาท์พุทโดยเทียบกับอินพุทจะเริ่มที่ 180 องศาที่ความถี่ต่ำ และเป็น 0 องศาที่ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



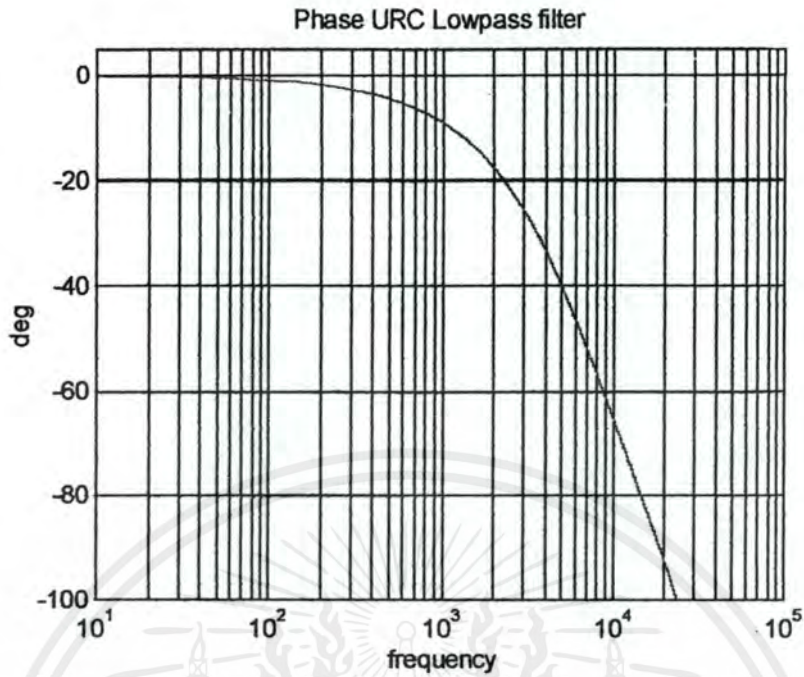
รูปที่ 5.30 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้โปรแกรม Matlab



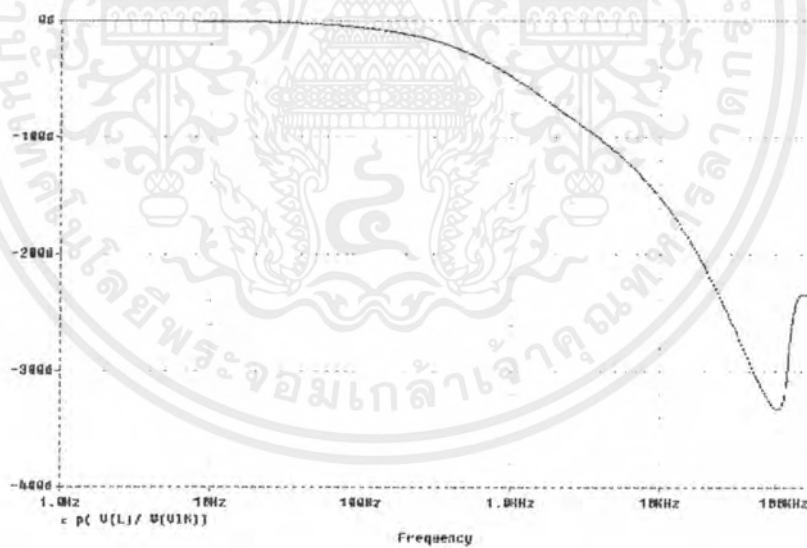
รูปที่ 5.31 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.30 และ 5.31 ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางขนาดมีค่าใกล้เคียงกันแต่จุดตัดออฟที่ตัดกันนั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ห้วงจร โดยจะเห็นว่าเอาท์พุทจะผ่านในช่วงความถี่ต่ำเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



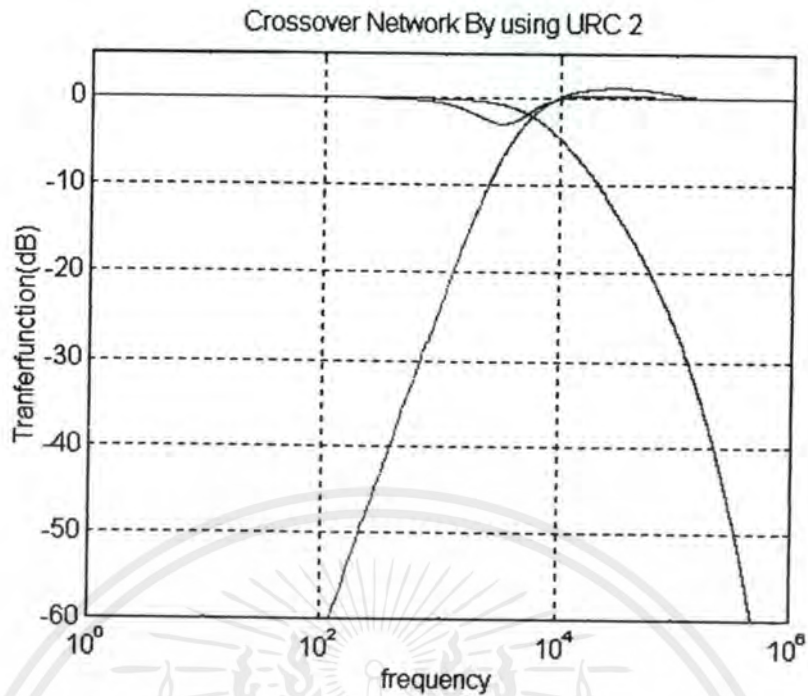
รูปที่ 5.32 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้โปรแกรมMatlab



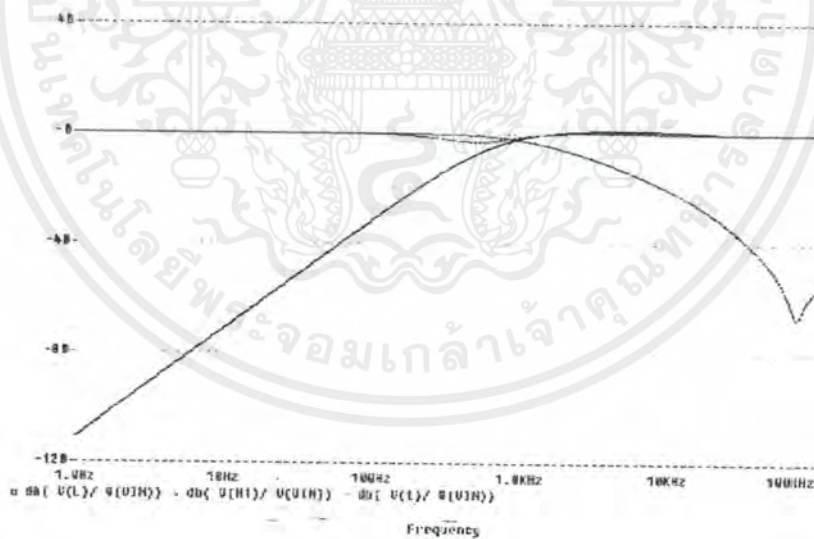
รูปที่ 5.33 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.32 และ 5.33 ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางเฟสมีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่ามุมมองในในแต่ละความถี่นั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ห้วงจร และมุมของวงจรกรองความถี่ต่ำที่ได้จากเอาท์พุทโดยเทียบกับอินพุทจะเริ่มที่ 0 องศาที่ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



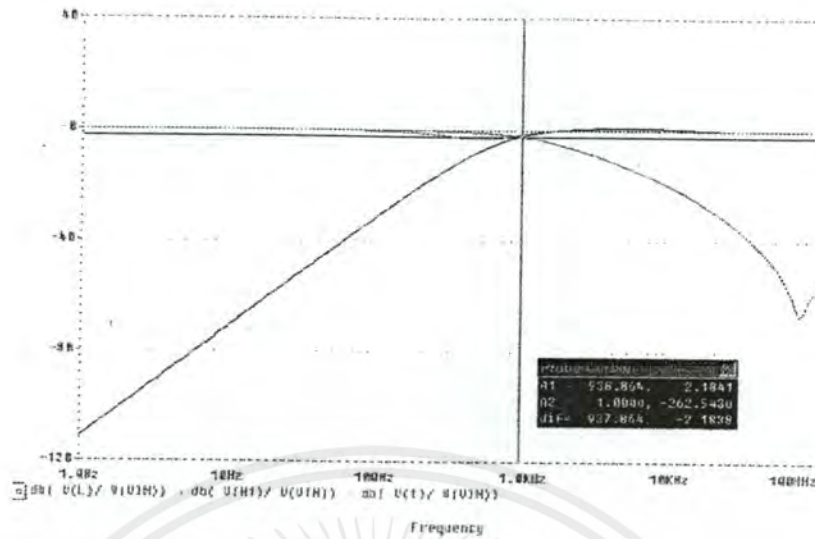
รูปที่ 5.34 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
โดยใช้โปรแกรมMatlab



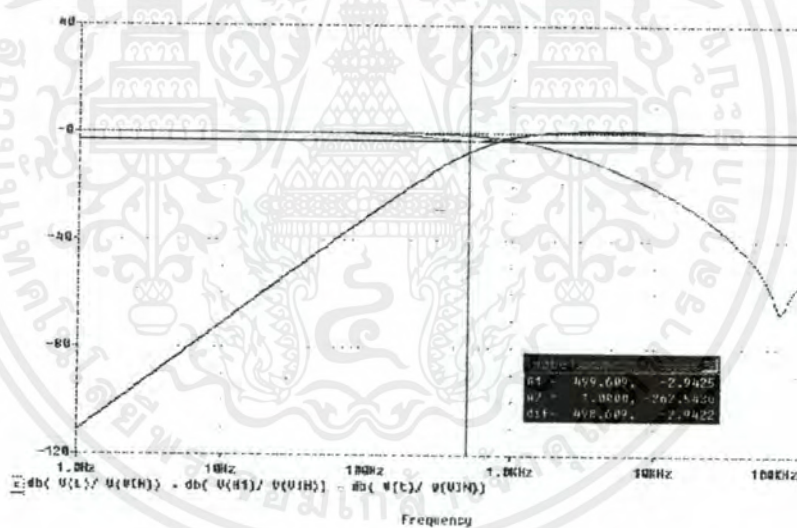
รูปที่ 5.35 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.34 และ 5.35 และจะเห็นได้ว่าความถี่ที่ตัดกันนั้นไม่เท่ากันเป็นเพราะว่าเกิดการ
นอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab และความราบเรียบของวงจรมันไม่ราบเรียบเท่าไร
เกิดจากการเพิ่มความชันทางด้าน Highpass จะเกิดสัญญาณตกลงมาที่ความถี่ที่ตัดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช.จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



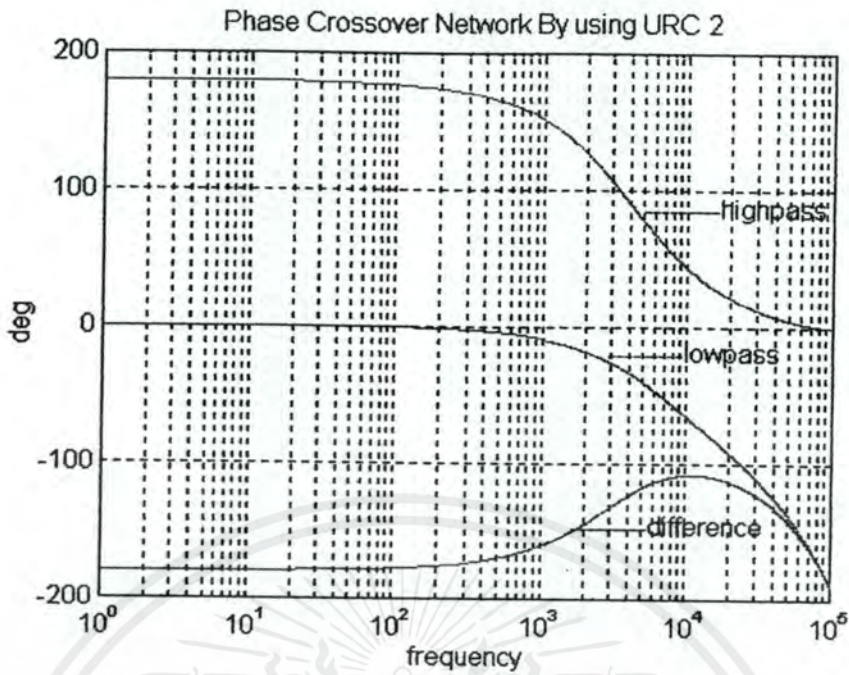
รูปที่ 5.36 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
ความถี่คัทออฟ โดยใช้โปรแกรมPspice



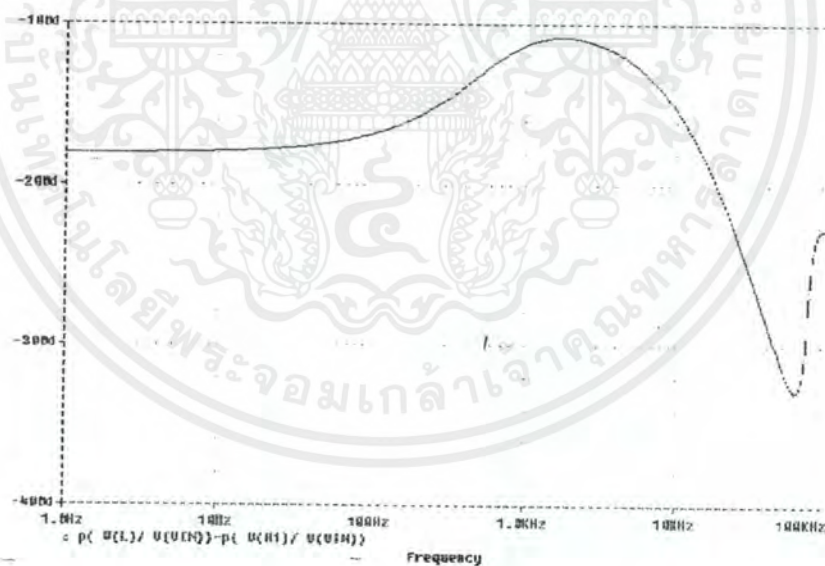
รูปที่ 5.37 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
ความถี่คัทออฟและความราบเรียบของวงจร โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.36 และ 5.37 เป็นผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จะเห็นได้ว่าความราบเรียบของวงจรซึ่งจะมีค่าประมาณ -2.9 dB และจุดตัดระหว่างโลพาส และไฮพาส จะตัดกันที่ -2.1 dB ซึ่งความราบเรียบของวงจรมิได้ต่ำที่ควร แต่ความชันที่ได้ดีกว่าแบบที่ 1 โดยที่ความถี่ที่ตัดกันนั้นจะตัดกันประมาณที่ 938 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

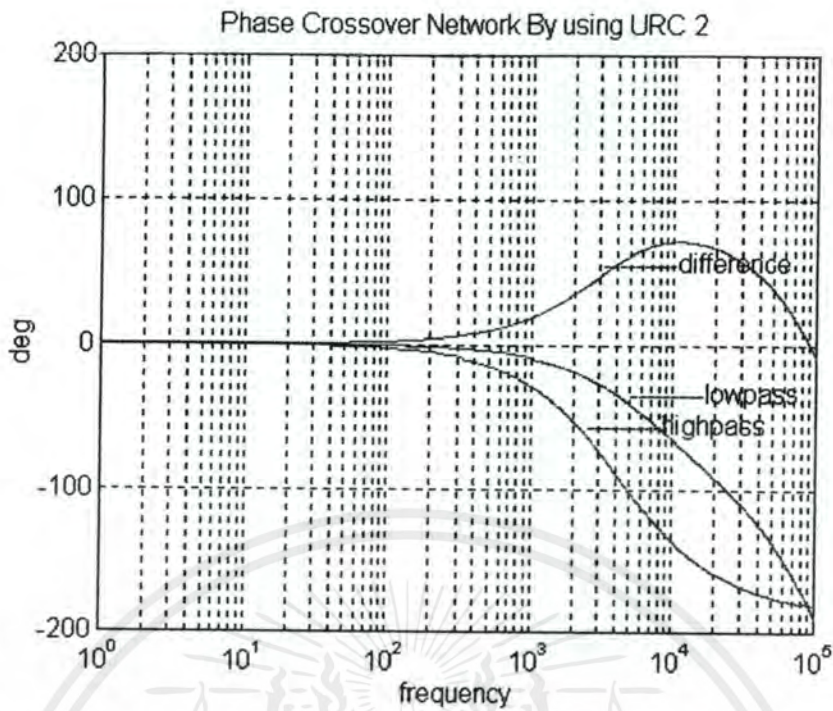


รูปที่ 5.38 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2
โดยใช้โปรแกรม Matlab

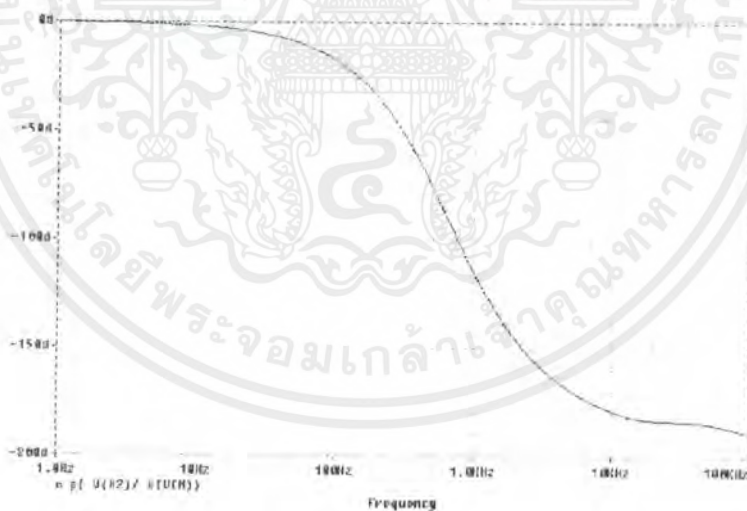


รูปที่ 5.39 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2
โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.38 และ 5.39 ที่ได้จะเห็นได้ว่าความต่างเฟสของวงจรแบบที่ 2 นี้จะมีค่าต่ำสุดประมาณ 120 องศาซึ่งไม่เป็นผลดีต่อวงดังนั้นจะแก้ความต่างเฟสที่ได้โดยใช้วงจร inverting มาต่อแคสเคดทางด้านวงจรรองความถี่สูงเพื่อปรับมุมเฟสทางด้าน Highpass ใกล้เคียง Lowpass ที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



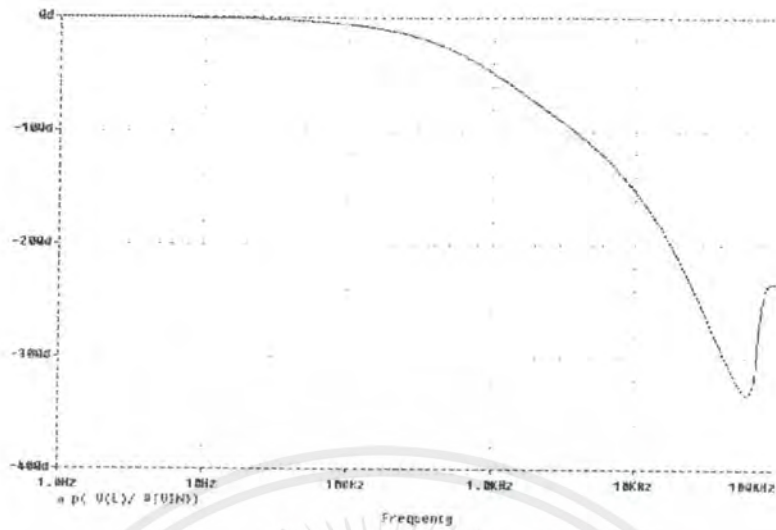
รูปที่ 5.40 แสดงรูปเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2
เมื่อนำ inverting มาต่อ โดยใช้โปรแกรม Matlab



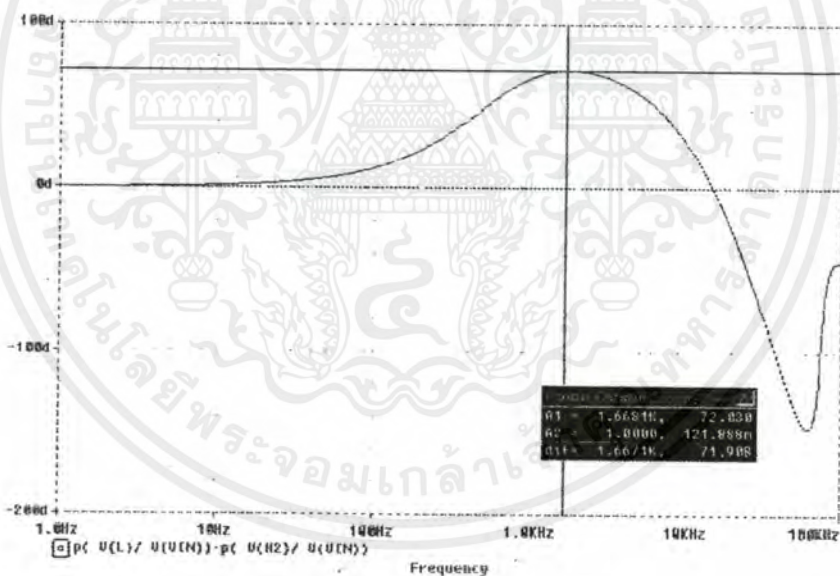
รูปที่ 5.41 แสดงรูปเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2ทางด้านHighpass
เมื่อนำ inverting มาต่อ โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.40 และ 5.41 จะเห็นผลทางด้านวงจรองความถี่สูงมีเฟสเลื่อนลงมาถึง 0 องศาทางด้านความต่ำเมื่อเรานำ inverting มาต่อทำให้เฟสที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทางด้านวงจรองความถี่ต่ำ โดยในการนำ inverting มาต่อ นั้นจะไม่มีผลต่อผลทางขนาดของวงจรเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



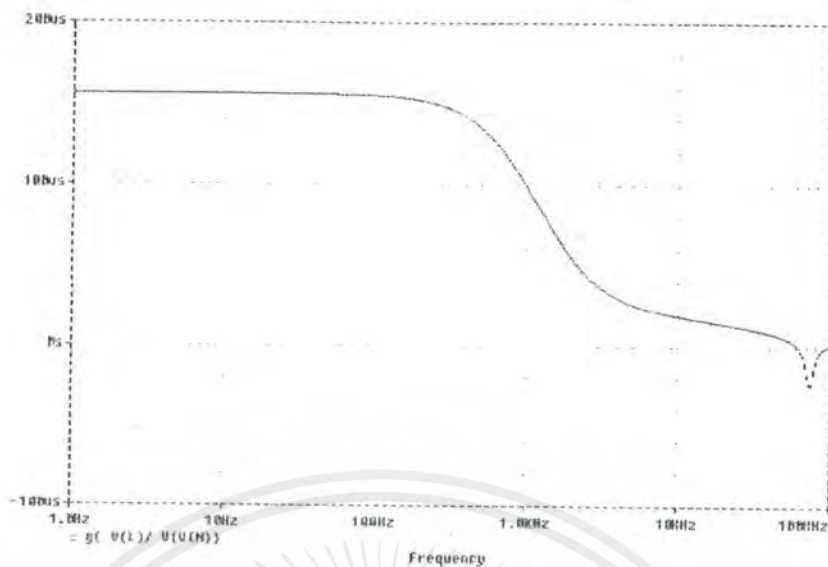
รูปที่ 5.42 แสดงรูปเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2ทางด้านLowpass โดยใช้โปรแกรมPspice



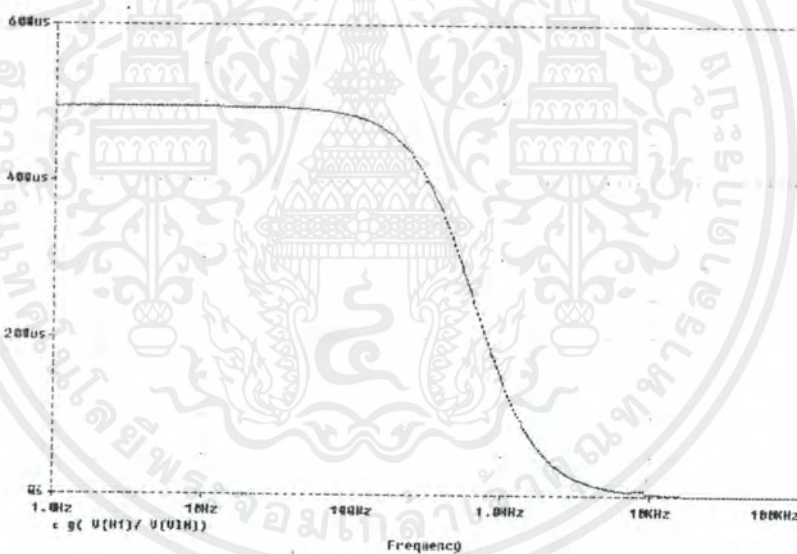
รูปที่ 5.43 แสดงรูปความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่2 เมื่อนำ inverting มาคือ โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.40 กับ 5.43 จะเห็นผลความต่างเฟสที่ได้ทั้งของโปรแกรม Matlab และโปรแกรม Pspice มีค่าที่ใกล้เคียงกันและความต่างเฟสที่ได้สูงสุดโดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice จะเห็นได้ว่ามีค่าแค่ 72 องศาเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.44 รูปแสดงผลตอบสนองทางกรุปิตีเลห์ทางวงจรรองความถี่ต่ำ

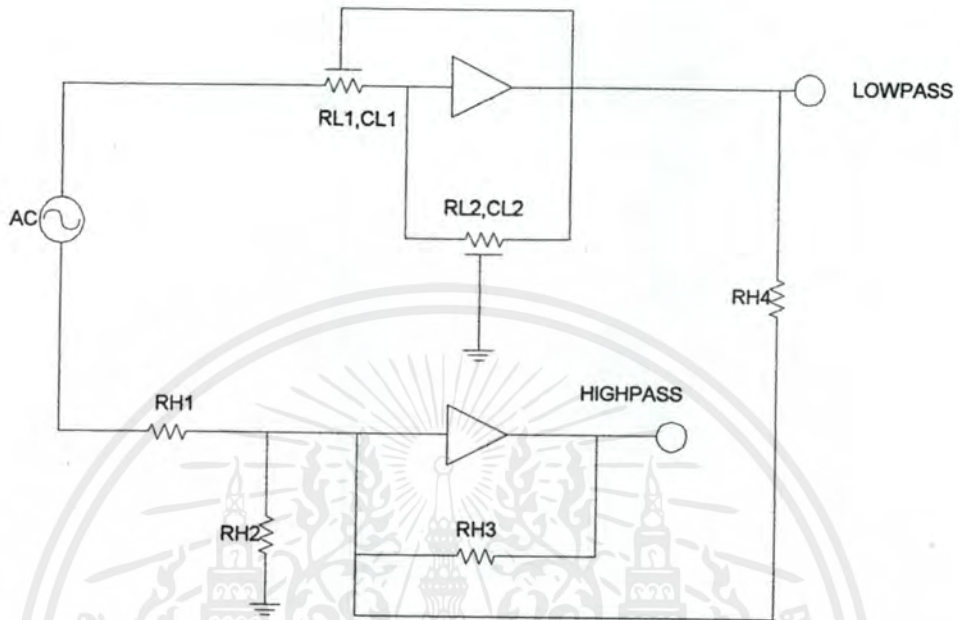


รูปที่ 5.45 รูปแสดงผลตอบสนองทางกรุปิตีเลห์ทางวงจรรองความถี่สูง

รูปที่ 5.44 และ 5.45 เป็นผลตอบสนองทางกรุปิตีเลห์ของวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 ทางด้านความถี่สูง และ ทางด้านความถี่ต่ำโดยจะเห็นได้ว่าค่ากรุปิตีเลห์ที่ได้ไม่สูงมากนักจะนำไปทำวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค

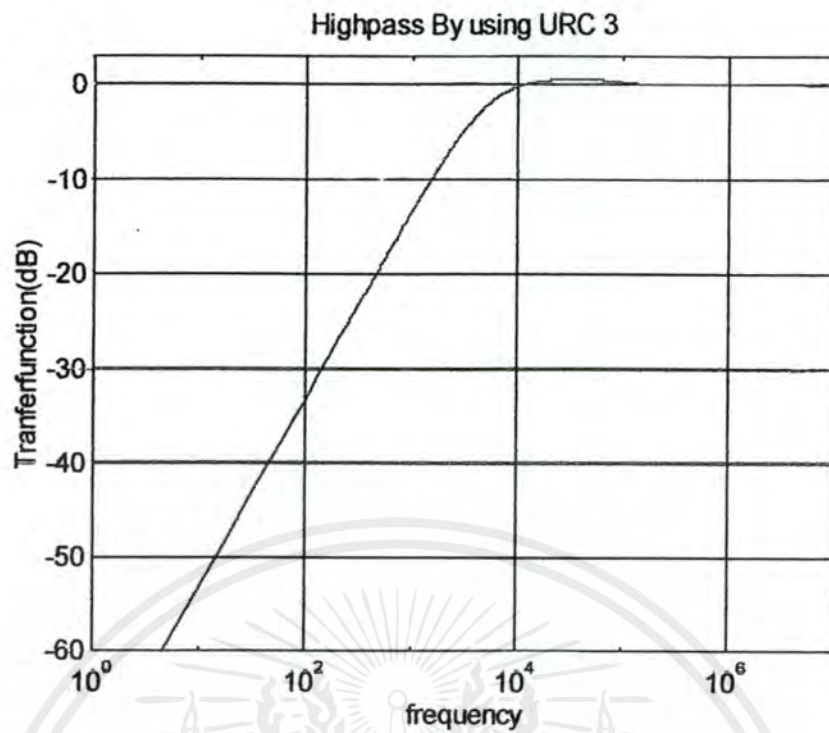
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลองของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้ URC แบบที่ 3

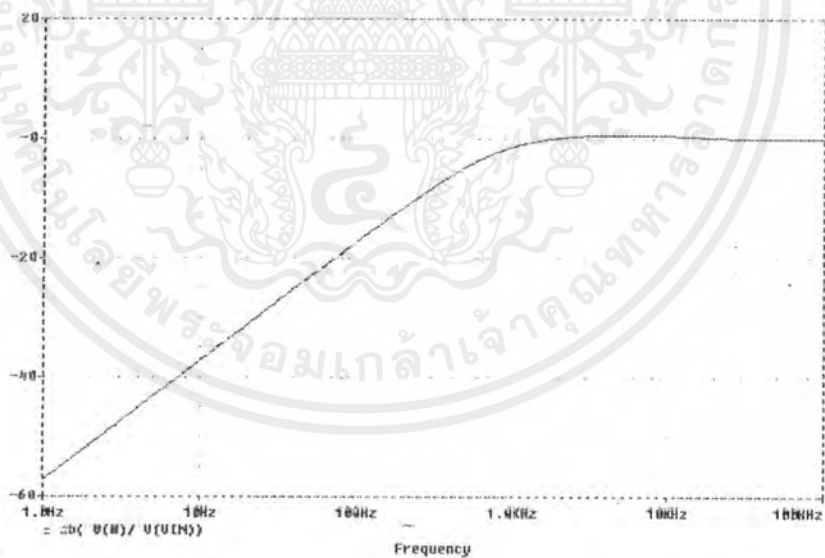


รูปที่ 5.46 แสดงรูปวงจรของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3

ผลการทดลองของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 นี้จะอาศัยหลักการนำสัญญาณอินพุตลบสัญญาณเอาต์พุตของวงจรองความถี่ต่ำจะได้ผลออกมาเป็นวงจรองความถี่สูง ซึ่งจากรูปที่ 5.46 กำหนดให้มีค่า RH1 ถึง RH4 มีค่า 100 กิโลโอห์มและในผลการทดลองของครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 นี้จะมีผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Matlab ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Pspice รวมทั้งจะนำมาต่อเป็นวงจรที่ใช้งานจริงโดยจะมีผลการทดลองจริงที่วัดด้วยเครื่อง ออติโอ อนุไลเซอร์ และ เครื่องดิจิตอลสโคป

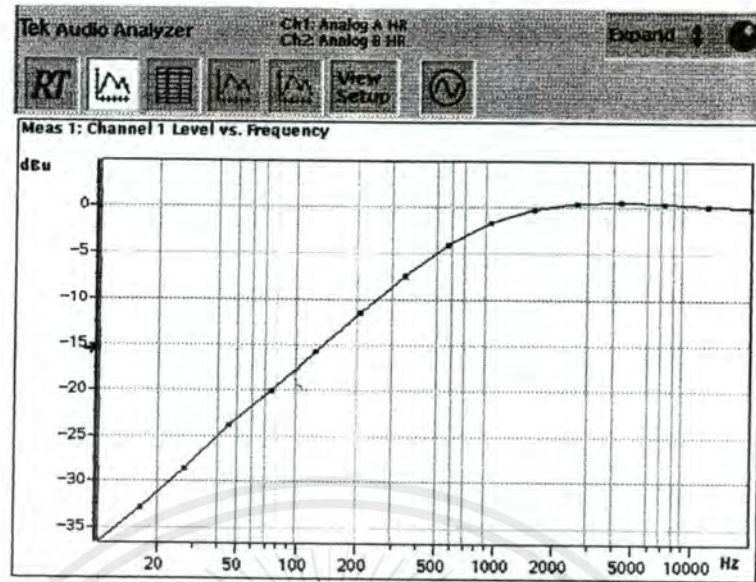


รูปที่ 5.47 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมMatlab

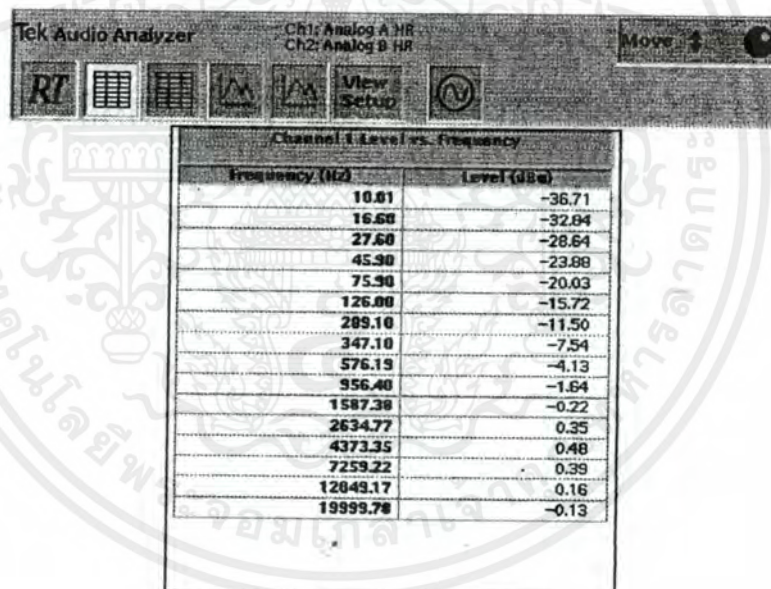


รูปที่ 5.48 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรมPspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



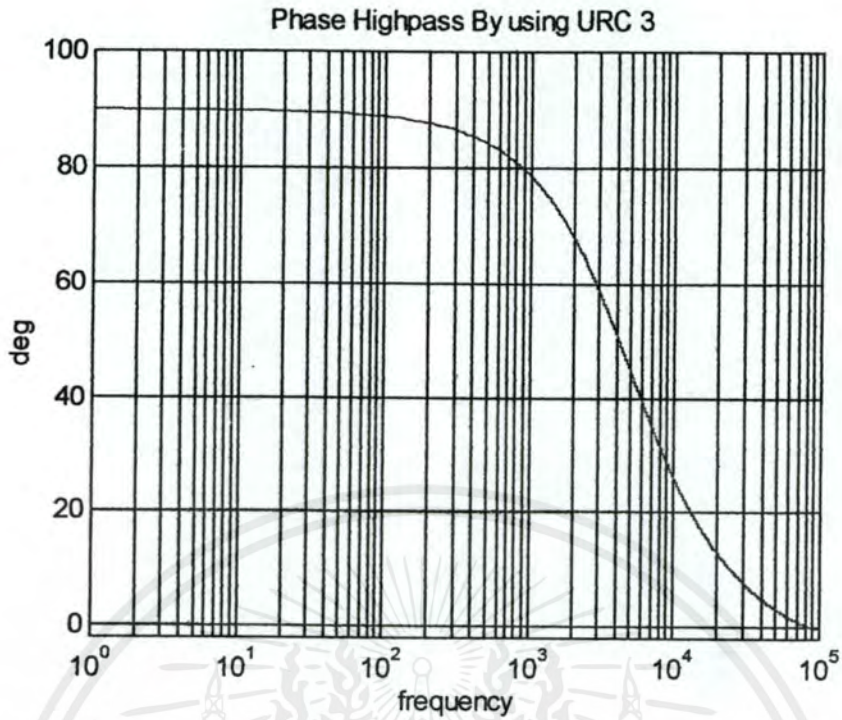
รูปที่ 5.49 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงจากการทดลองจริง



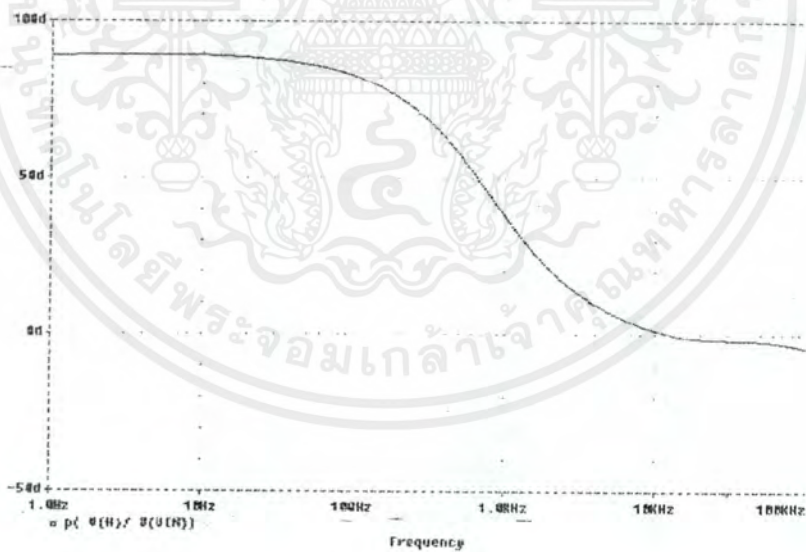
ตารางที่ 5.1 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงจากการทดลองจริง

จากรูปที่ 5.48 ถึง 5.49 จะเห็นได้ว่าผลการทดลองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูงโดยใช้โปรแกรม Pspice และการทดลองจริงมีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้งทางขนาดและแกนความถี่โดยถ้าไปเปรียบเทียบกับทาง Matlab จะเห็นได้ว่ารูปที่ได้มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แต่ความถี่คutoff ที่ตัดกันนั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลเสียใดๆ ต่อวงจรครอสโอเวอร์เน็ทเวอร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

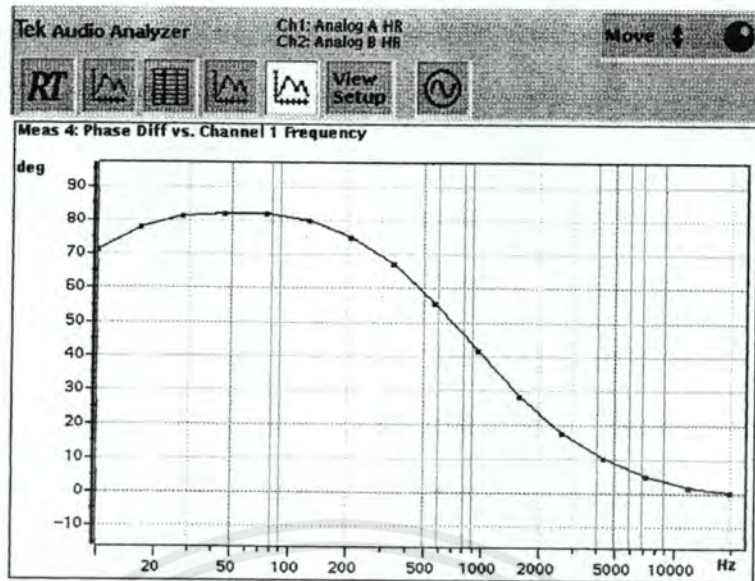


รูปที่ 5.50 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรม Matlab

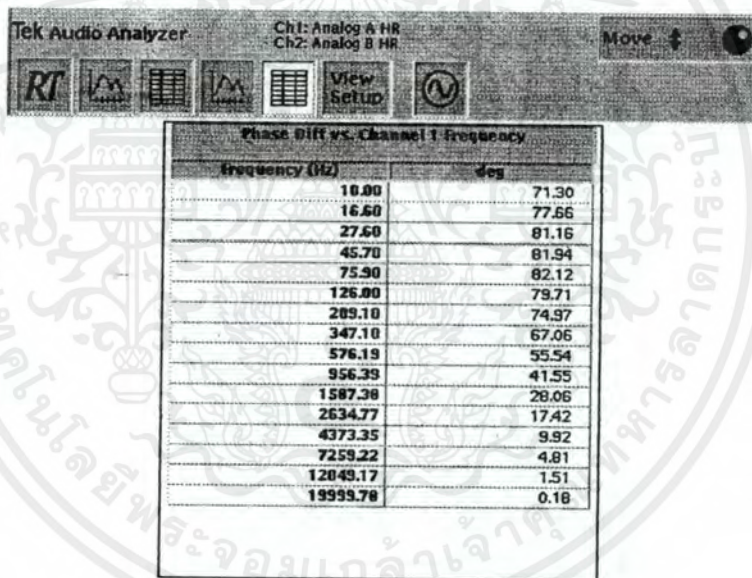


รูปที่ 5.51 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูง โดยใช้โปรแกรมPspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



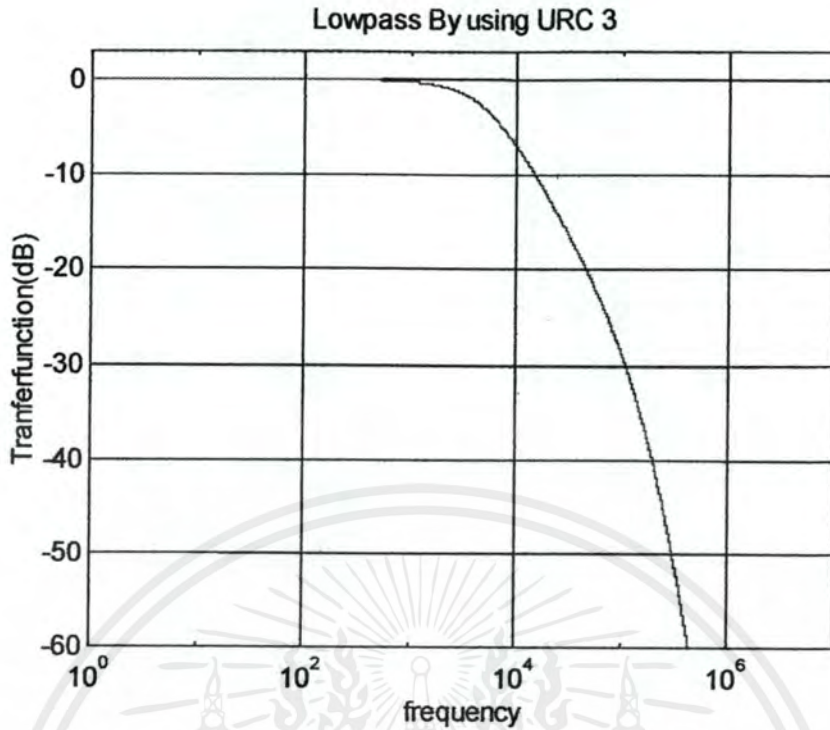
รูปที่ 5.52 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยการทดลองจริง



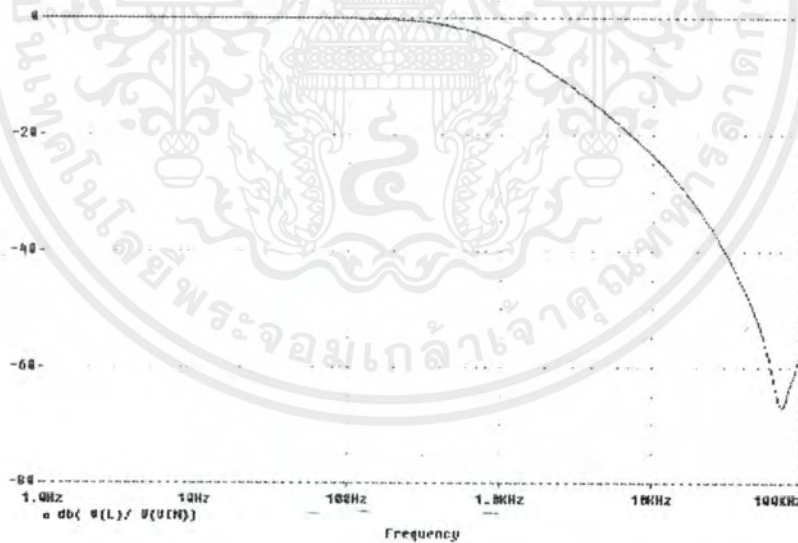
ตารางที่ 5.2 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่สูงโดยการทดลองจริง

จากรูปที่ 5.52 เป็นรูปแสดงผลตอบสนองทางเฟสจากการทดลองจริงโดยคำนวณในแต่ละความถี่ที่แสดงออกมานั้น มีค่าใกล้เคียงกับผลตอบสนองทางเฟสของโปรแกรม Pspice ดังรูปที่ 5.51 แต่ผลที่ได้จากการทดลองจริงที่เกิด Error ไปจากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Pspice เนื่องจากตัวอุปกรณ์ที่นำมาต่อกันเป็น URC นั้นจะทำให้ผลทางเฟสที่ได้เกิดการ Error ไปโดยเฉพาะตัวเก็บประจุที่นำมาต่อเป็นหลาย ๆ ตัวนั้นมีผลกระทบทางเฟสทางด้านวงจรกรองความถี่สูงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

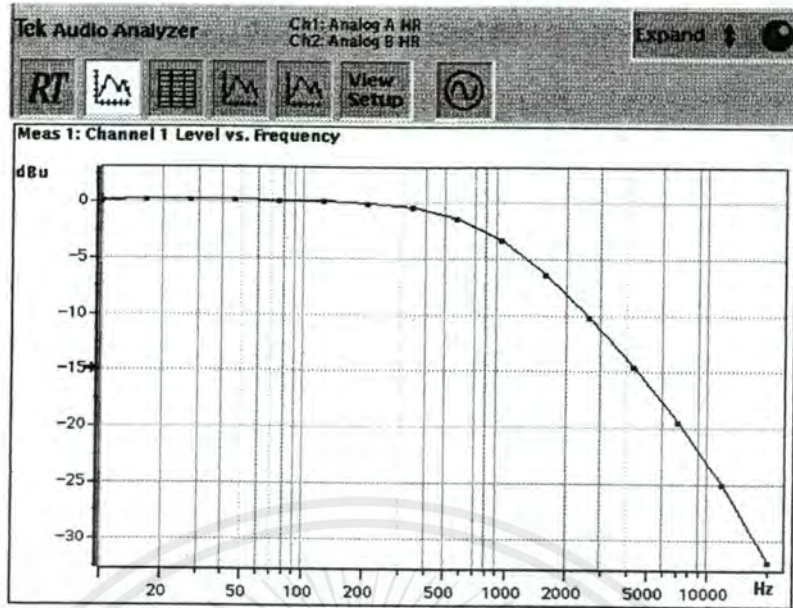


รูปที่ 5.53 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมMatlab

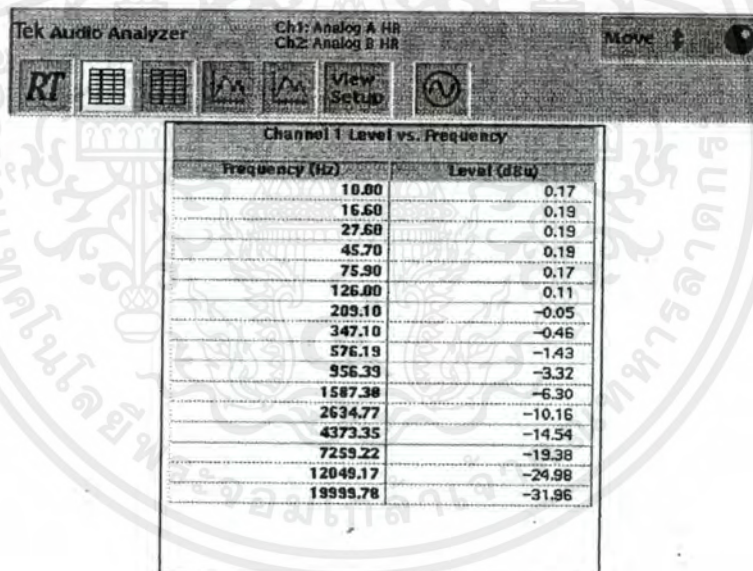


รูปที่ 5.54 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรมPspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



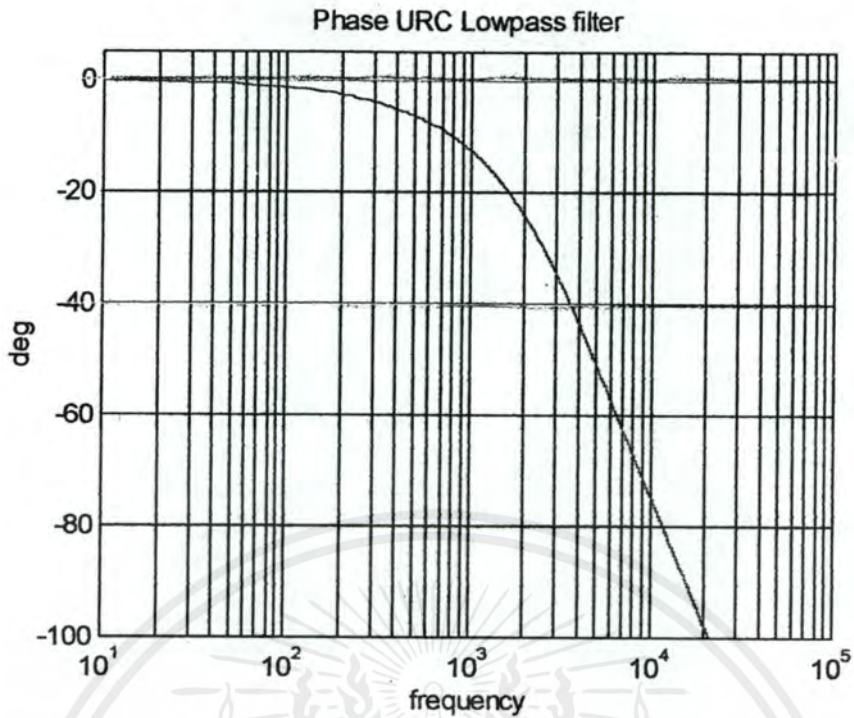
รูปที่ 5.55 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง



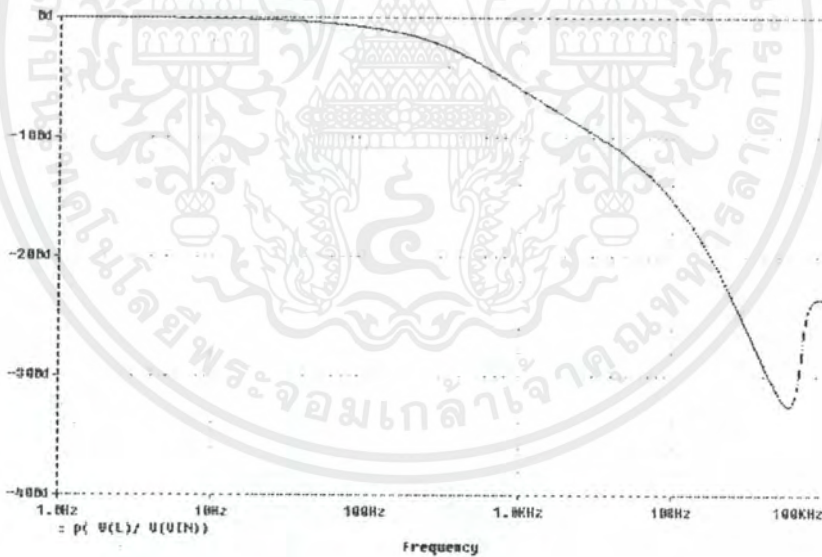
ตารางที่ 5.3 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง

จากรูปที่ 5.54 ถึง 5.55 จะเห็นได้ว่าผลการทดลองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้โปรแกรม Pspice และการทดลองจริงมีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้งทางขนาดและแกนความถี่โดยถ้าไปเปรียบเทียบกับทาง Matlab จะเห็นได้ว่ารูปที่ได้มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แต่ความถี่คัทออฟที่ตัดกันนั้นจะไม่ตรงกันเนื่องจากการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ซึ่งไม่มีผลเสียใดๆ ต่อวงจรฮาร์ดแวร์เน็ทเวอร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

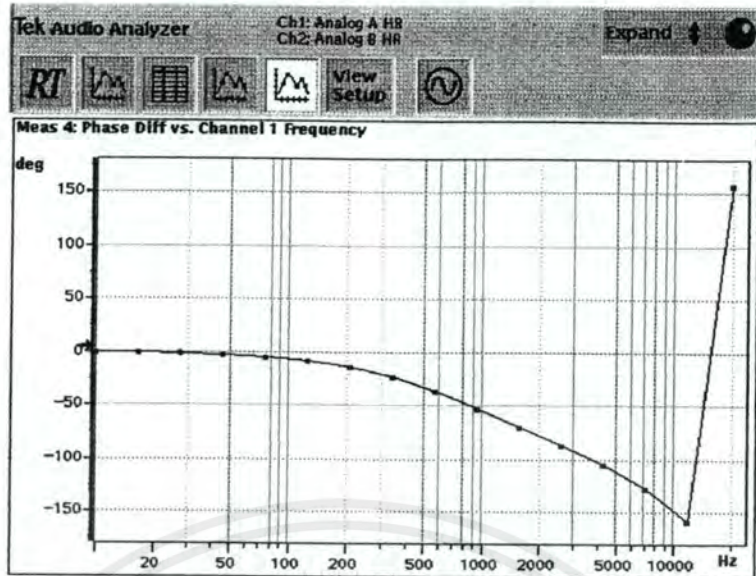


รูปที่ 5.56 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้โปรแกรมMatlab

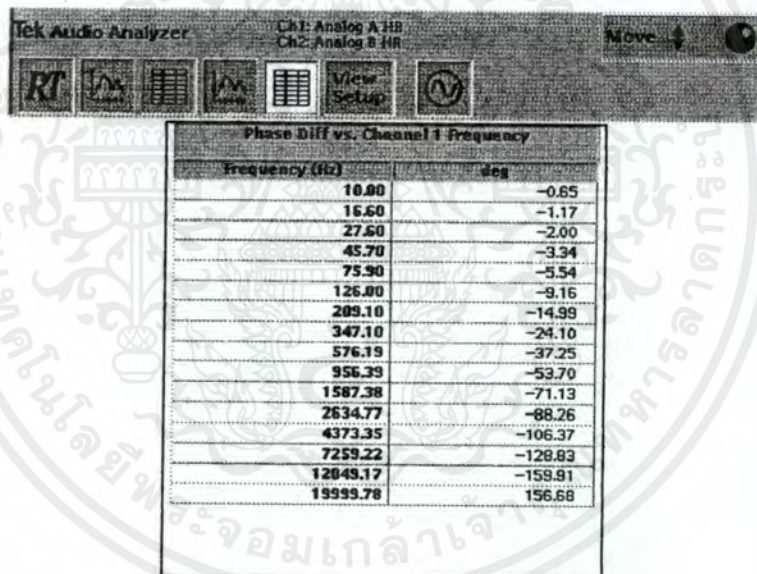


รูปที่ 5.57 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้โปรแกรมPspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



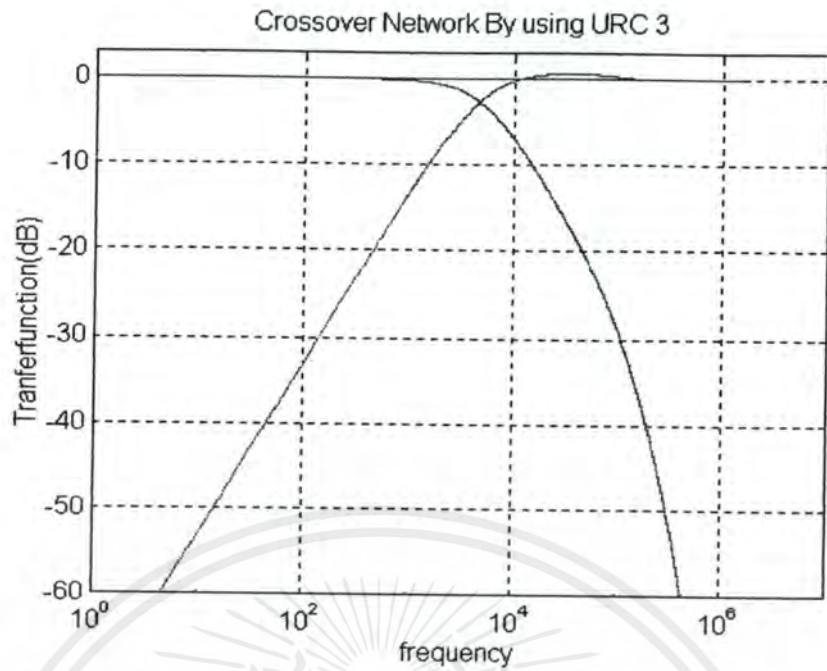
รูปที่ 5.58 แสดงรูปผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง



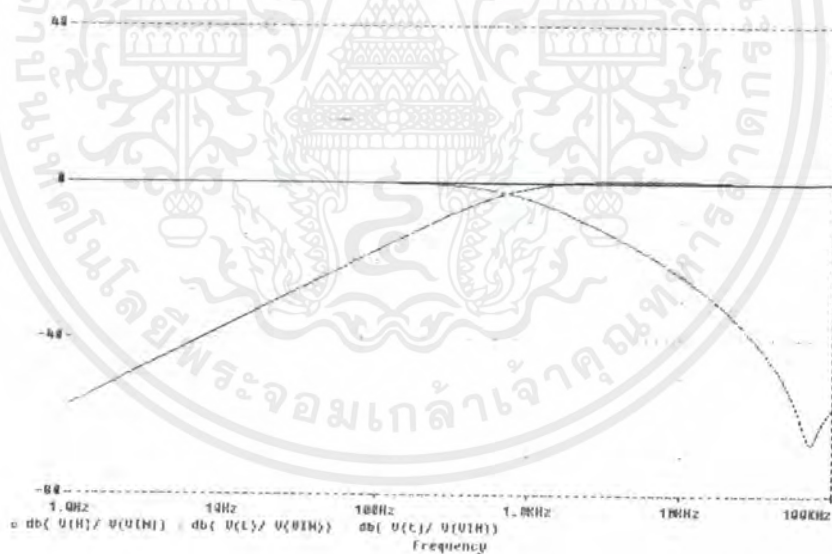
ตารางที่ 5.4 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำจากการทดลองจริง

จากรูปที่ 5.58 เป็นรูปแสดงผลตอบสนองทางเฟสจากการทดลองจริงทางด้านวงจรกรองความถี่ต่ำโดยค่ามุมที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Pspice มากกว่ามุมเฟสทางด้านวงจรกรองความถี่สูง แต่จากรูปที่ 5.58 เมื่อนุมที่วัดได้นั้นมาถึงมุม 180 องศา รูปที่ได้จะกลับไปพล็อตที่มุม 180 องศาทางด้านบวกที่เป็นเช่นนี้เกิดจากข้อจำกัดของเครื่องที่ใช้วัดก็คือ ออดีโออานาไลเซอร์ ก็คือเครื่องจะวัดมุมเฟสได้แค่ 180 องศาเท่านั้นทั้งทางด้านบวกและด้านลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



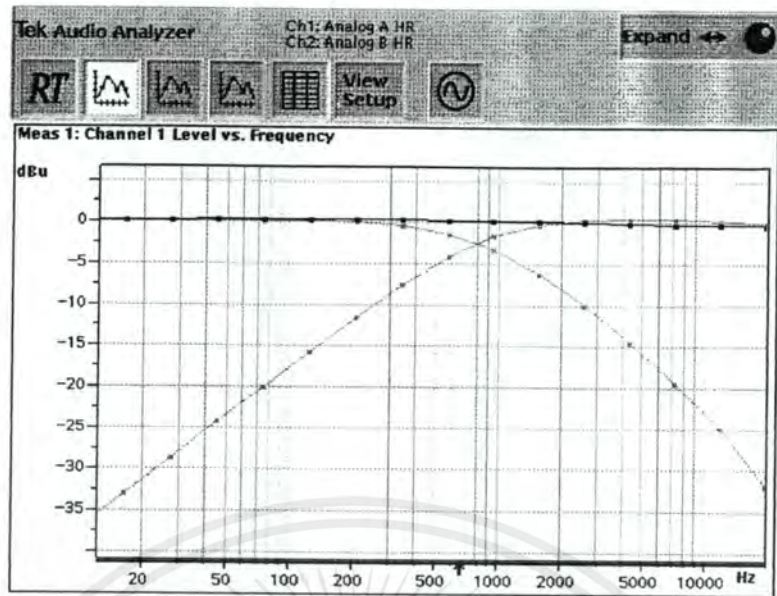
รูปที่ 5.59 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
โดยใช้โปรแกรม Matlab



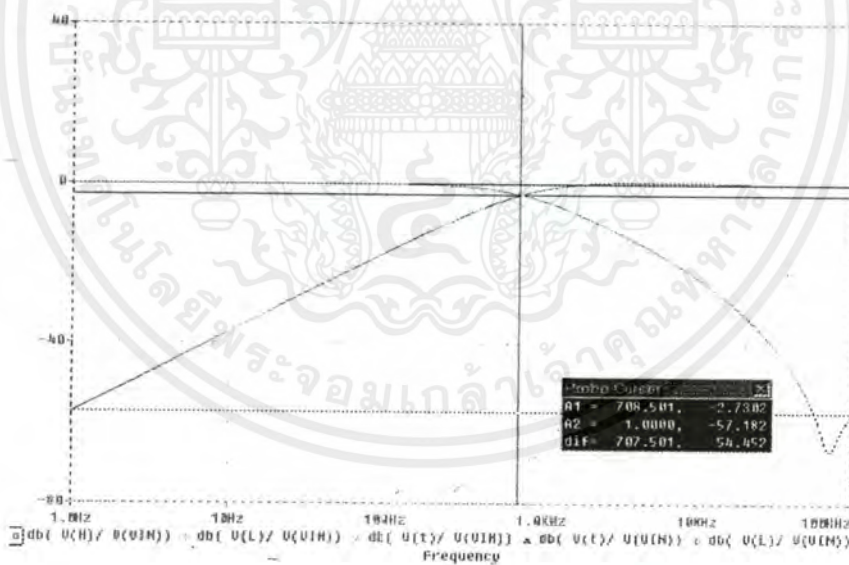
รูปที่ 5.60 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
โดยใช้โปรแกรม Pspice

จากรูปที่ 5.59 และ 5.60 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้ทั้งทางด้าน โปรแกรม Matlab และ โปรแกรม Pspice มีผลที่เหมือนกันแต่เกิดการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ของโปรแกรม Matlab ทำให้จุดคัทออฟที่ตัดกันไม่เหมือนกันของโปรแกรม Matlab และ โปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



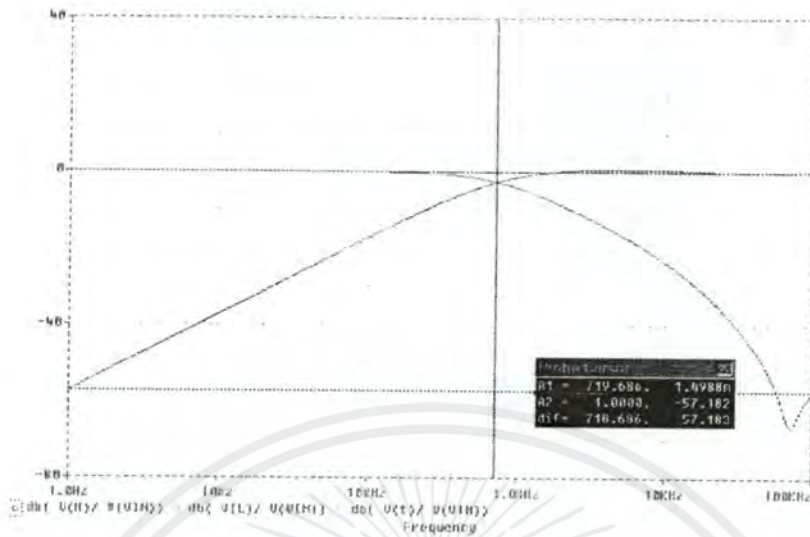
รูปที่ 5.61 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
จากการทดลองจริง



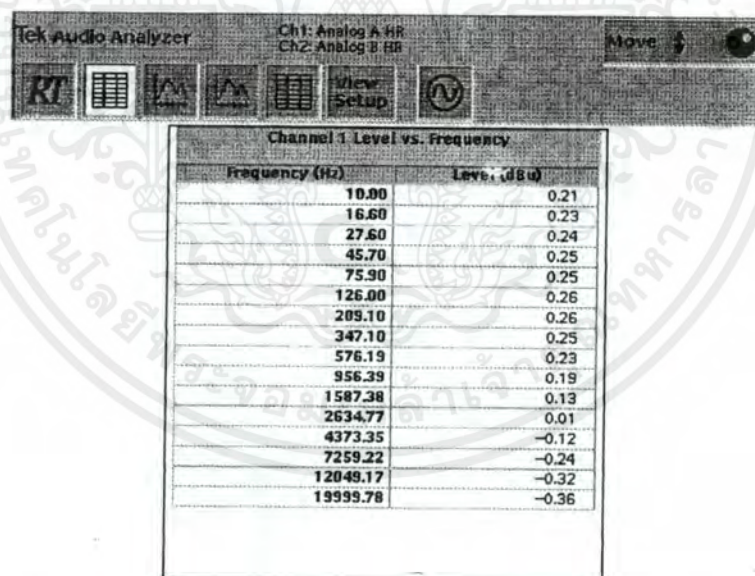
รูปที่ 5.62 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
จุดคัทออฟ โดยใช้โปรแกรมPspice

จากรูปที่ 5.61 และ 5.62 จะเห็นได้ว่าจุดคัทออฟที่ตัดกันของการทดลองจริงและการทดลอง
โดย Pspice มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่การวิเคราะห์ห้ด้วย Pspice มีค่าประมาณ -3 dB และการทดลองจริง
มีค่าประมาณ -2.73 dB โดยความถี่ที่ตัดกันนั้นประมาณ 708 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



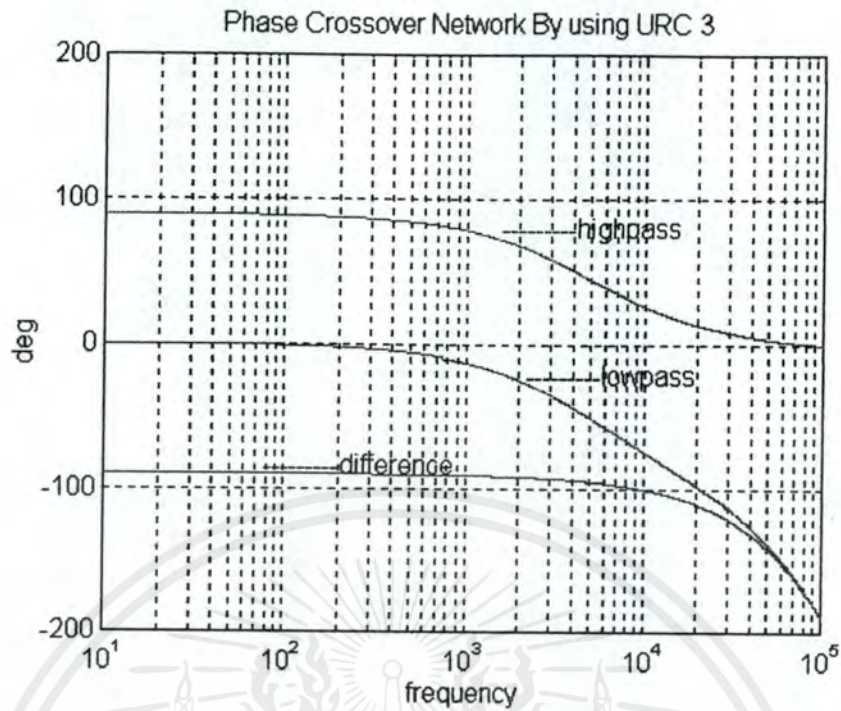
รูปที่ 5.63 แสดงรูปผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค จุดคัทออฟ และความราบเรียบของวงจร โดยใช้โปรแกรมPspice



ตารางที่ 5.5 แสดงผลความราบเรียบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค

จากรูปที่ 5.63 และตารางที่ 5.5 แสดงผลความราบเรียบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยจากการวิเคราะห์โดย Pspice มีค่าความราบเรียบสูงสุดประมาณ 0.0014 dB และจากการทดลองจริงมีค่าความราบเรียบสูงสุด 0.26 dB โดยจะเห็นได้ว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันของการทดลองด้วย Pspice และจากการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.64 แสดงรูปผลความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่3 โดยใช้โปรแกรม Matlab

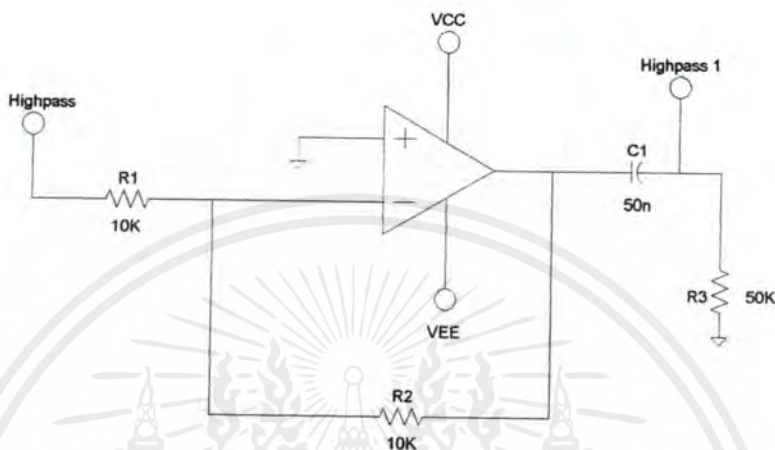


รูปที่ 5.65 แสดงรูปผลความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่3 โดยใช้โปรแกรม Pspice

จากรูปที่ 5.64 และ 5.65 จะเห็นว่าความต่างเฟสของทั้งโปรแกรม Matlab และโปรแกรม Pspice มีค่าที่เหมือนกันคือความต่างเฟสที่ได้มีค่าค่าสุดที่ -90 องศา รวมทั้งการทดลองจริงจะมีความต่างเฟสของวงจรเหมือนกับวงจร Pspice ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คคั้ง

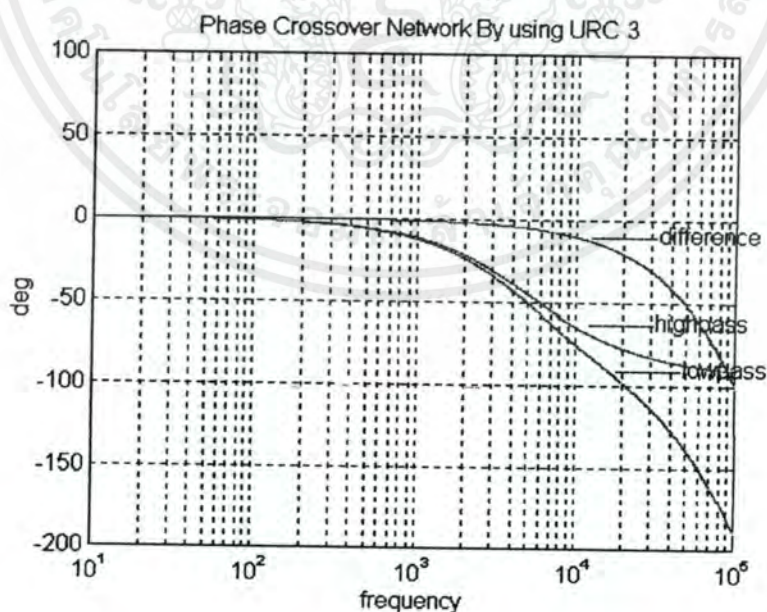
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นจึงต้องมีการปรับเฟสของวงจร โดยจะต้องใช้วงจร inverting มาต่อแคสเคดที่วงจรองความถี่สูงของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 เพื่อกลับเฟสทางด้านวงจรองความถี่สูงมา 180 องศา ก่อน แล้วใช้ C มาต่อแคสเคดกับวงจร inverting อีกทีซึ่งก็เป็น C คับปลิงเพื่อปรับเฟสให้มีค่าเท่ากับวงจรองความถี่ต่ำ



รูปที่ 5.66 แสดงวงจรที่ช่วยในการปรับความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3

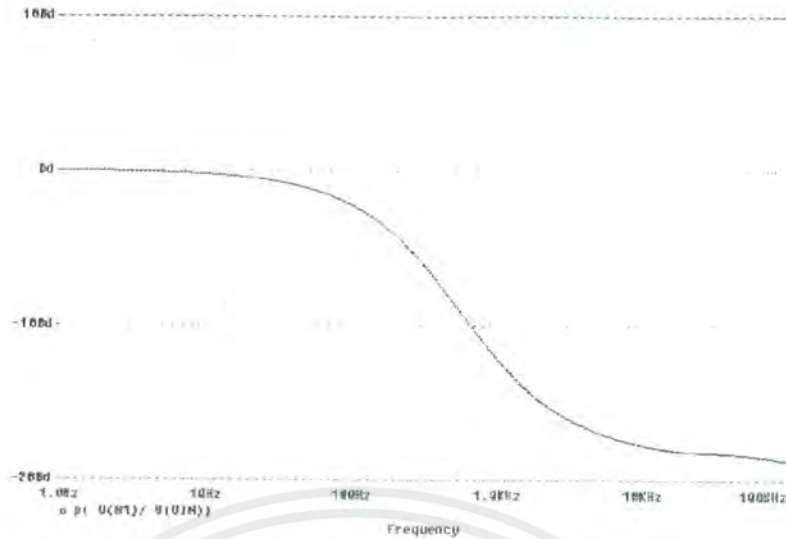
จากรูปที่ได้กำหนดให้วงจร inverting มีเกนเท่ากับ 1 โดยที่มีค่าของ R1 และ R2 มีค่า 10 กิโลโอห์มและให้ C คับปลิงมีค่าเท่ากับ 50 นาโนฟารัดและให้ R3 ซึ่งเป็น Load มีค่า 50 กิโลโอห์ม



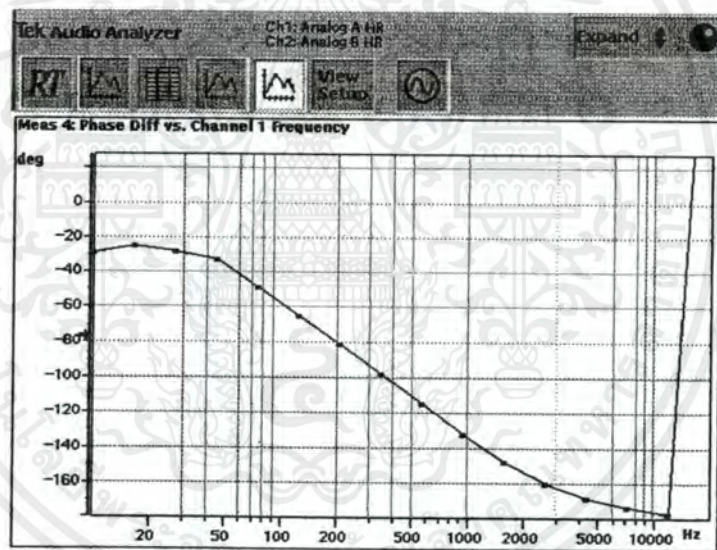
รูปที่ 5.67 รูปแสดงความต่างเฟสและเฟสทางวงจรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66 ปรับเฟส

โดยใช้โปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



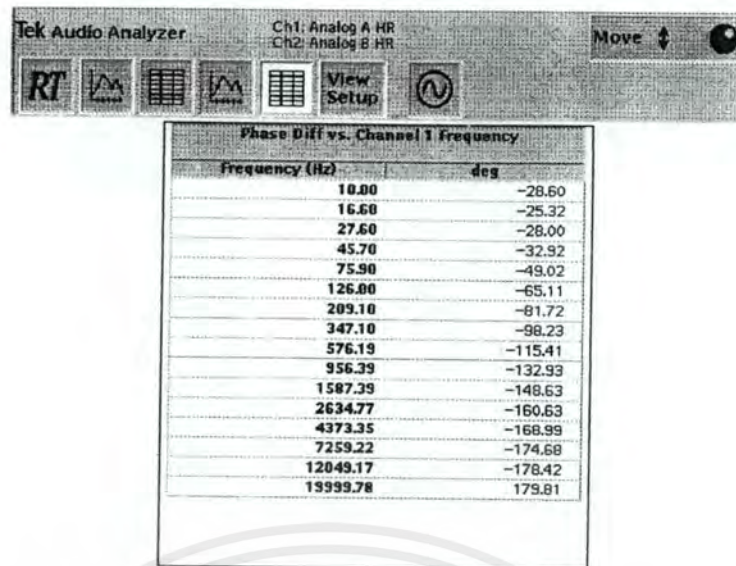
รูปที่ 5.68 รูปแสดงเฟสทางวงจรรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66
ปรับเฟสโดยใช้โปรแกรม Pspice



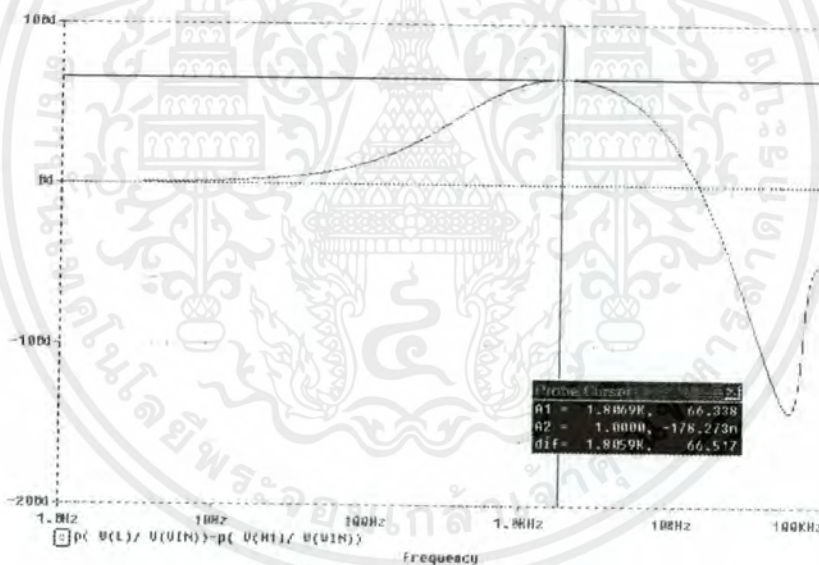
รูปที่ 5.69 รูปแสดงเฟสทางวงจรรองความถี่สูงเมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66
ปรับเฟส จากการทดลองจริง

จากรูป ที่ 5.68 และ 5.69 คือรูปผลตอบสนองทางเฟสที่ได้เมื่อต่อวงจรดังรูปที่ 5.66 ทางด้านวงจรรองความถี่สูง โดยรูปผลตอบสนองทาง Pspice ที่ได้จะเห็นว่ามีความถี่ค่าลงมาที่ 0 องศาที่ความถี่ต่ำและมาเทียบกับการทดลองจริงจะเห็นว่าผลการทดลองจริงจะเริ่มที่ -28 องศาซึ่งผิดพลาดไปจาก โปรแกรม Pspice เนื่องจากตัวอุปกรณ์ที่นำมาต่อเป็นวงจรจริงทำให้เกิดการผิดพลาดทางมุมเฟสได้และจากมุมเฟสที่ปรับแล้วเมื่อนำไปหาความต่างเฟสกับทางด้านวงจรรองความถี่ต่ำจะทำให้ \square มีค่าต่ำกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



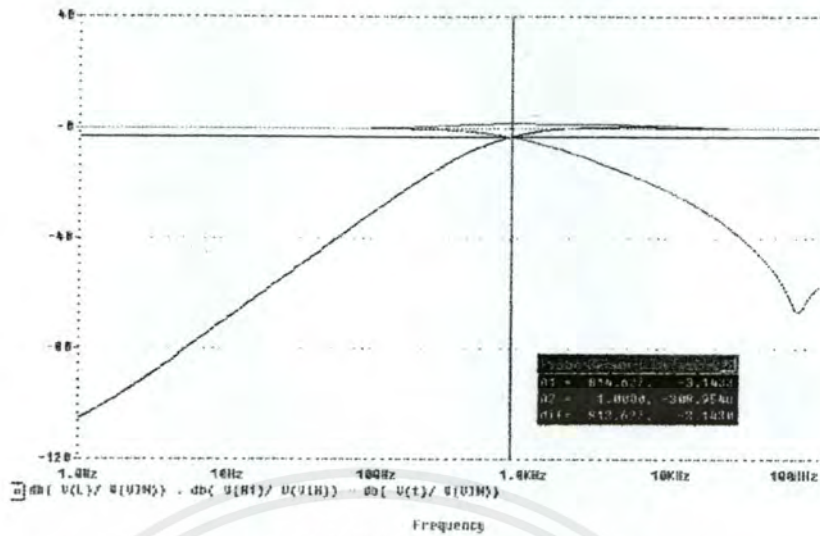
ตารางที่ 5.6 แสดงผลเฟสทาง Highpass ของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 เมื่อใช้วงจร
คั้งรูปที่ 5.66 ปรับเฟสจากการทดลองจริง



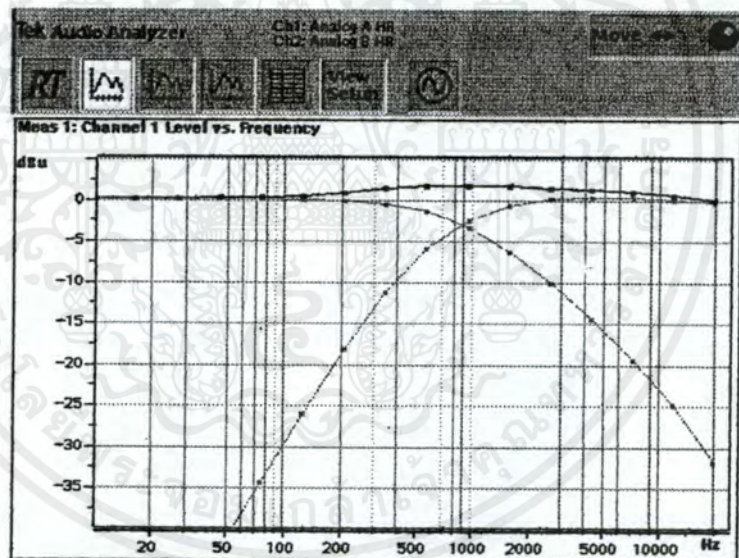
รูปที่ 5.70 รูปแสดงความต่างเฟสของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 เมื่อ
ใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.66 ปรับเฟส โดยใช้โปรแกรม Pspice

จากรูปที่ 5.70 ถ้าวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice จะเห็นได้ว่าค่าความต่างเฟสสูงสุดเมื่อปรับเฟสให้ดีขึ้นแล้วจะมีค่าสูงสุดประมาณ 66.338 องศา และจากตารางที่ 5.6 นั้นถ้านำไปเปรียบเทียบกับตารางเฟสทางด้านวงจรรองความถี่ต่ำ จะเห็นได้ว่าความต่างเฟสที่ได้นั้นจะมีค่าต่ำกว่าที่ยังไม่ได้ปรับเฟสพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



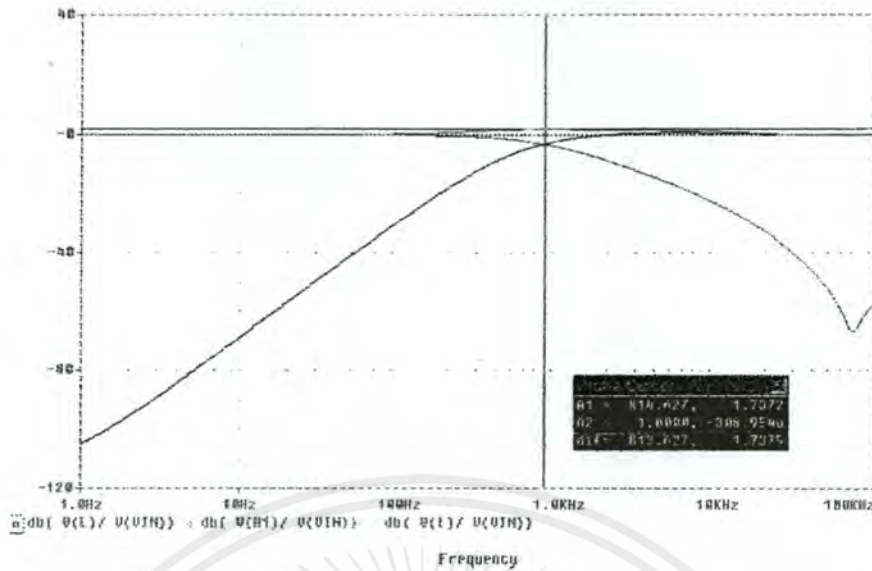
รูปที่ 5.71 รูปแสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ,ความถี่คัทออฟ เมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66 โดยใช้โปรแกรม Pspice



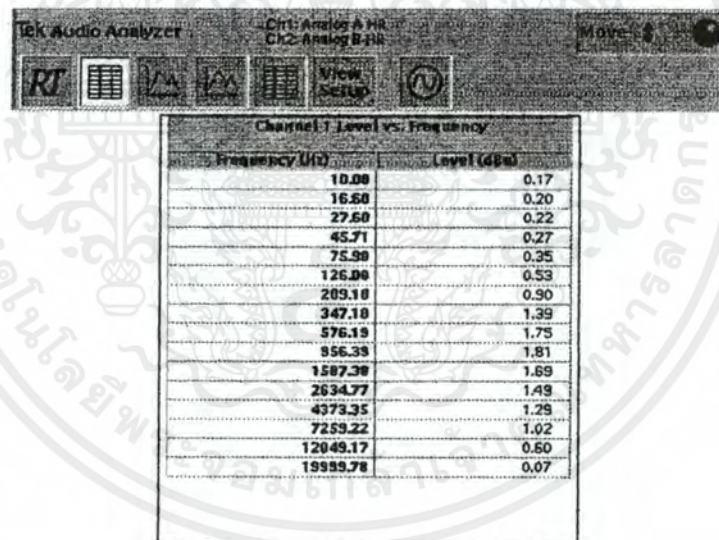
รูปที่ 5.72 รูปแสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ,ความถี่คัทออฟ เมื่อใช้วงจรดังรูปที่ 5.66 จากการทดลองจริง

จะเห็นได้ว่าจุดคัทออฟที่ได้ทั้งการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice และการวิเคราะห์ด้วยการทดลองจริงจะมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ -3dB ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าถ้าเรานำวงจรดังรูปที่ 5.66 มาต่อแอสเซตทางด้าน Highpass จะมีผลต่อจุดคัทออฟของวงจรไม่มากเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



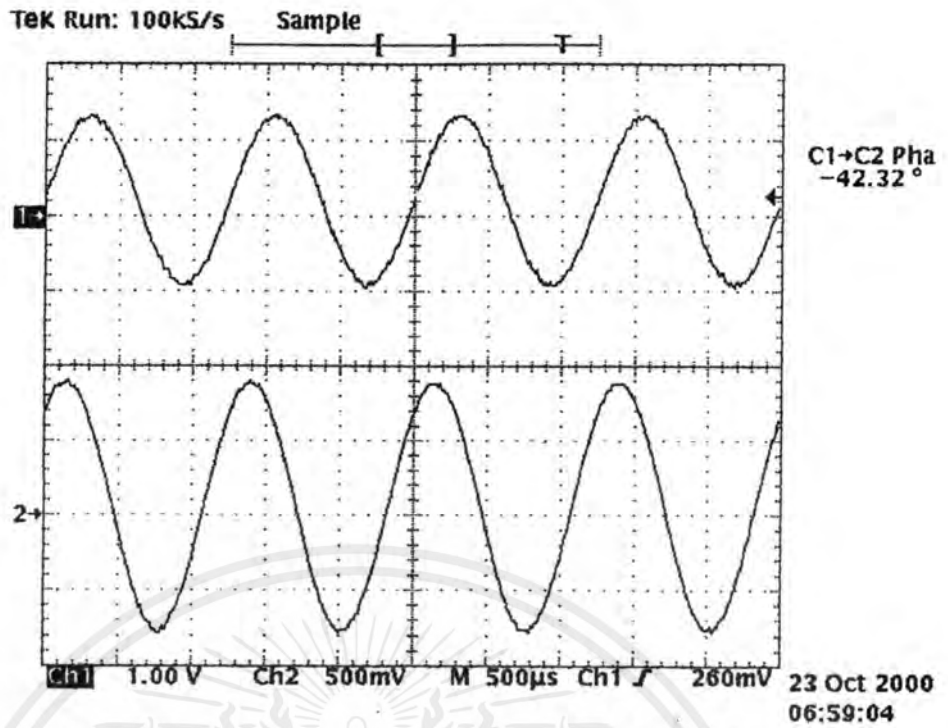
รูปที่ 5.73 รูปแสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรคอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค และความราบเรียบของวงจร, เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.66 โดยใช้โปรแกรม Pspice



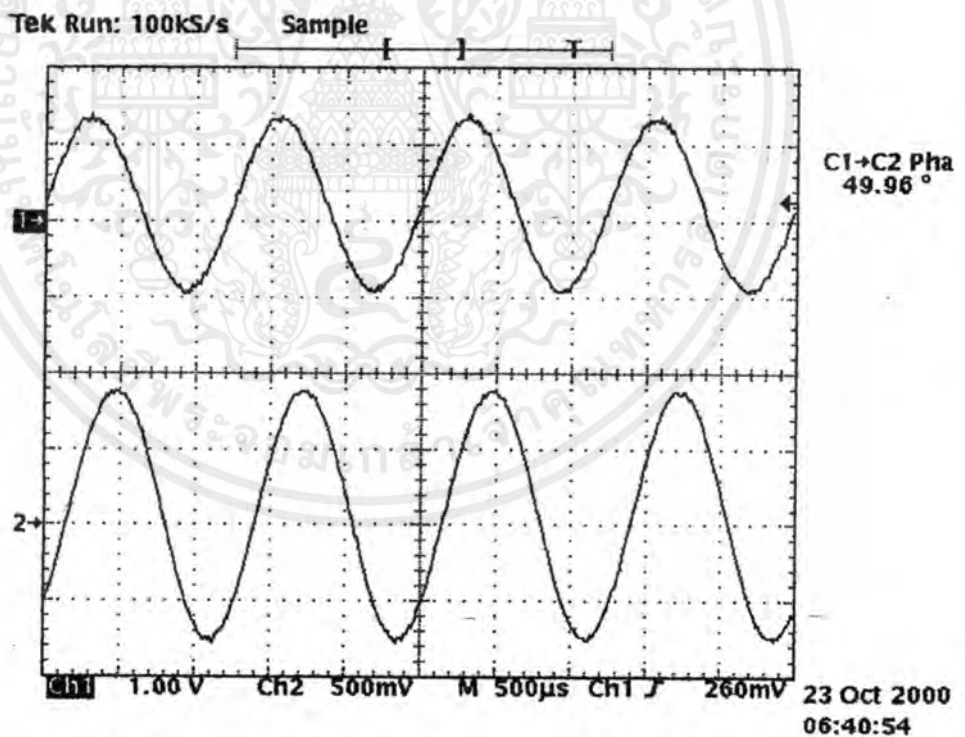
ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงความราบเรียบของวงจร เมื่อใช้วงจรคั้งรูปที่ 5.66 จากการทดลองจริง

จากรูปที่ 5.73 และตาราง 5.7 จะเห็นได้ว่าความราบเรียบของวงจรที่ได้ทั้งการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice และการวิเคราะห์ด้วยการทดลองจริงจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันคือการวิเคราะห์ด้วย Pspice มีค่าสูงสุดประมาณ 1.7dB และการทดลองจริงมีค่าสูงสุดที่ 1.81 dB ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าถ้าเรานำวงจรคั้งรูปที่ 5.66 มาต่อแอสเตคทางด้าน Highpass จะมีผลต่อความราบเรียบของวงจรไม่มากเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.74 เป็นความต่างเฟสของวงจรกรองความถี่สูงเทียบกับอินพุท
โดยใช้คิิจิตอลออสซิลโลสโคปวัด



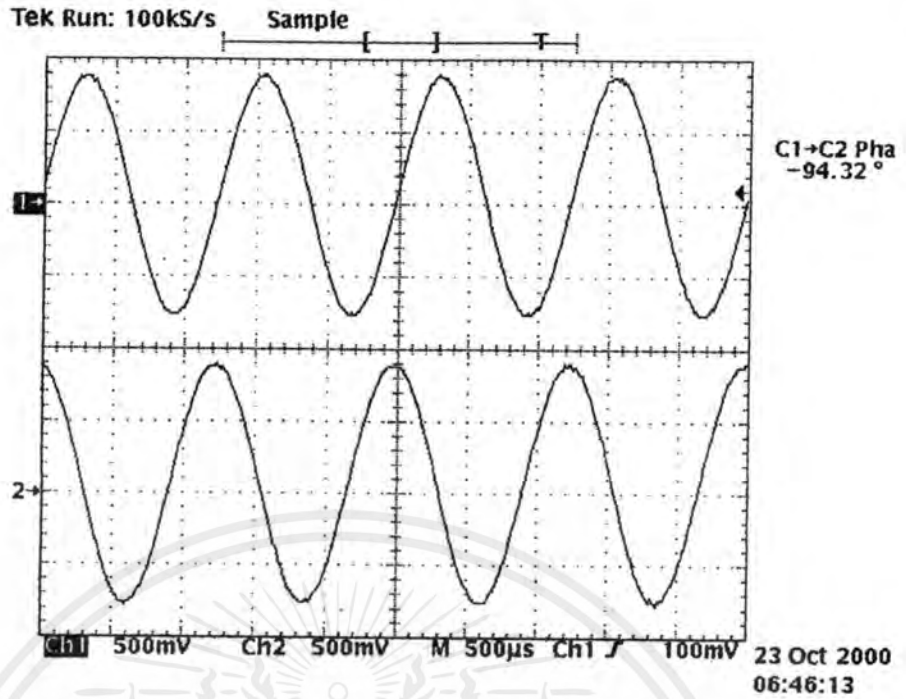
รูปที่ 5.75 เป็นความต่างเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำเทียบกับอินพุท
โดยใช้คิิจิตอลออสซิลโลสโคปวัด

จากรูปที่ 5.74 และ 5.75 จะเห็นว่าเป็นการใช้เครื่องคิิจิตอลออสซิลโลสโคปวัด โดยดูความ

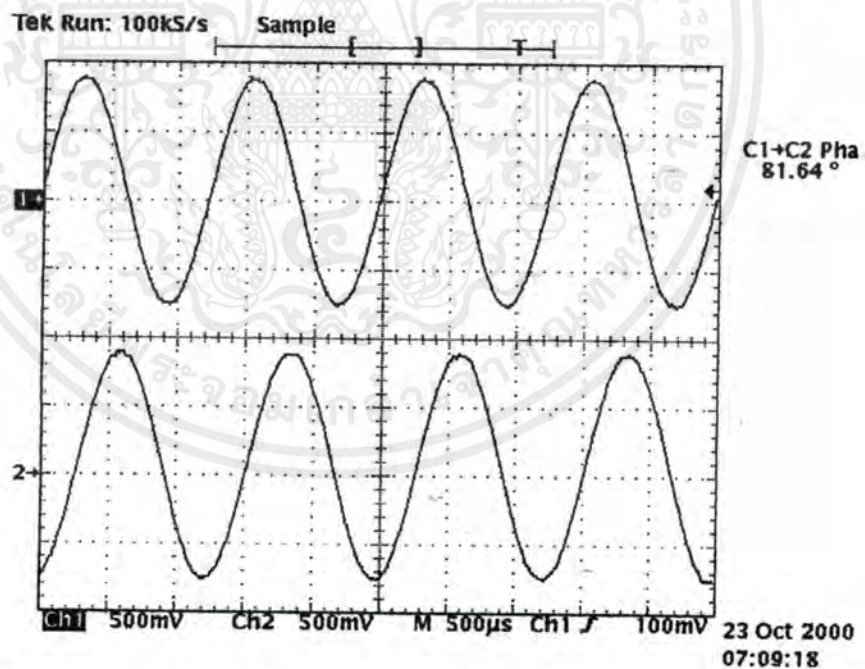
ต่างเฟสที่ความถี่ 800 Hz จะให้ทางHighpassมีค่า-42.32 องศา และทางLowpassมีค่า49.96องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงานในสาขาหรับการเขงานเพื่อกการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาดเห็นไปเขประเขษนดานการค้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.76 เป็นความต่างเฟสของวงจรรองความถี่ต่ำเทียบกับวงจรรองความถี่สูง โดยใช้คิวิตอลออสซิลโลสโคปวัด

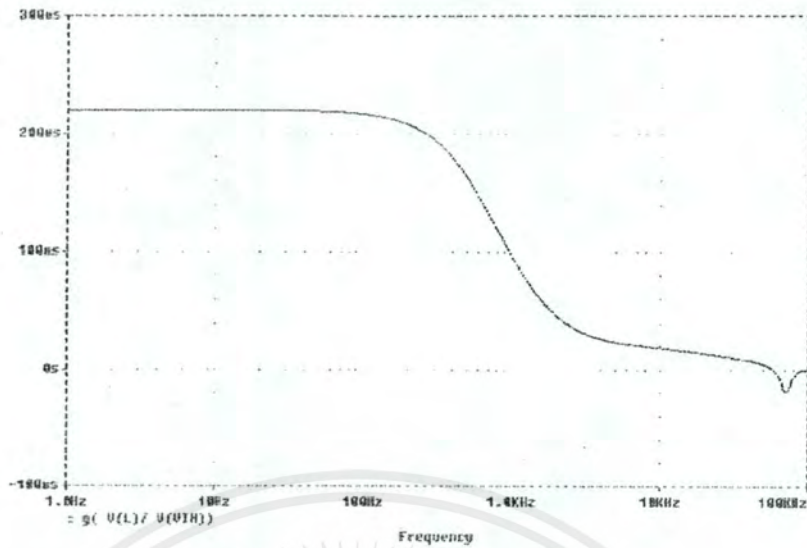


รูปที่ 5.77 เป็นความต่างเฟสของวงจรรองความถี่ต่ำเทียบกับวงจรรองความถี่สูง เมื่อปรับเฟสดังรูปที่ 5.66 โดยใช้คิวิตอลออสซิลโลสโคปวัด

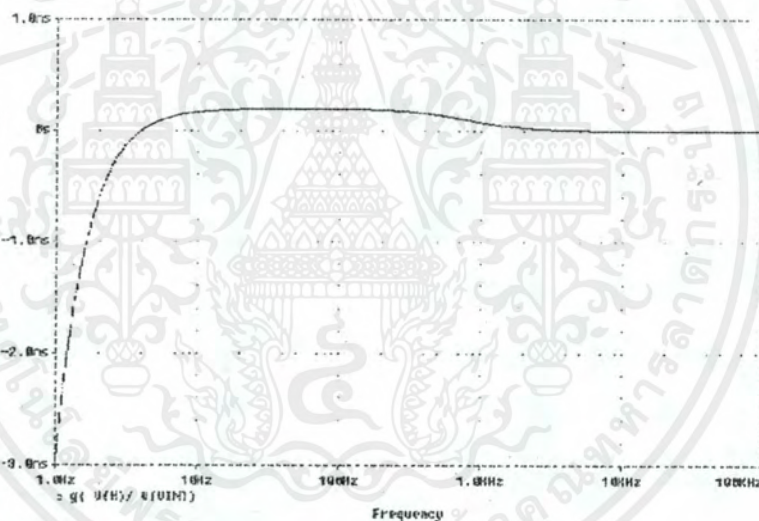
จากรูปที่ 5.76 และ 5.77 เป็นความต่างเฟสที่ความถี่ 800 Hz โดยรูปที่ 5.76 ยังไม่ได้ปรับเฟส

จะมีความต่างเฟส -94 องศา แต่รูปที่ 5.77 ได้ปรับเฟสแล้ว จะมีความต่างเฟส 81.64 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.78 รูปแสดงผลตอบสนองทางกรุปิตีเลี่ยทางวงจรรองความถี่ต่ำ



รูปที่ 5.79 รูปแสดงผลตอบสนองทางกรุปิตีเลี่ยทางวงจรรองความถี่สูง

รูปที่ 5.78 และ 5.79 เป็นผลตอบสนองทางกรุปิตีเลี่ยของวงจรรอสไฮเวอร์เน็ตเวอร์คแบบที่ 1 ทางด้านความถี่สูง และ ทางด้านความถี่ต่ำ โดยจะเห็นได้ว่าค่ากรุปิตีเลี่ยที่ได้ไม่สูงมากนักเหมาะจะนำไปทำวงจรรอสไฮเวอร์เน็ตเวอร์ค

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้เป็นการออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค 3 แบบ โดยแบบแรกเป็นการต่อครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คโดยใช้วงจรกรองความถี่สูงและวงจรกรองความถี่ต่ำมาต่อ และแบบที่ 2 เป็นการเพิ่มความชันทางด้านวงจรกรองความถี่สูงโดยจะมีการนำวงจรกรองความถี่สูงมาต่อแคสเคดกัน 2 ตัว และแบบที่ 3 เป็นการนำวงจรกรองความถี่ต่ำมาลบกับอินพุทจะได้เป็นวงจรกรองความถี่สูงออกมา โดยจะเห็นได้ว่าวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 และแบบที่ 3 นั้นจะมีความราบเรียบของวงจรที่ดีคือจะมีความราบเรียบของวงจรเป็น 1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค และความต่างเฟสของวงจรที่ได้นั้นยังไม่ดีเท่าที่ควรดังนั้นจึงต้องมีการปรับมุมเฟสให้น้อยที่สุดโดยการต่อวงจร inverting แคสเคดทางวงจรกรองความถี่สูงพร้อมทั้งมีค่า C คัปปลิงเพื่อให้เฟสทางด้านวงจรกรองความถี่สูงมีความมูฟเฟสมีค่าใกล้เคียงกับทางด้านวงจรกรองความถี่ต่ำที่สุดจากมุมเฟสที่ได้นั้น จะทำให้ผลของความล่าช้า (Group delay) ของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คมีความราบเรียบสูงหรือมีค่าน้อยตามไปด้วย และจากผลตอบสนองทางขนาดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 ในส่วนทางด้านวงจรกรองความถี่สูงยังไม่ดีทำให้ปรับความชันได้เป็นวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 2 โดยจะเห็นได้ว่าถึงความชันจะดีแต่ความราบเรียบของวงจรยังไม่ดีเท่าวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 1 และแบบที่ 2 และในการปรับค่าความต่างเฟสของวงจรให้มีค่าน้อยที่สุดนั้นเราจะใช้วงจร inverting เพียงอย่างเดียวโดยจะมาต่อทางด้านวงจรกรองความถี่สูงทำให้มีความต่างเฟสของวงจรกรองความถี่สูงและวงจรกรองความถี่ต่ำของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 น้อยที่สุด และจากการทดลองโดยโปรแกรม Matlab นั้นจะใช้กำหนดให้ค่า K เท่ากับ 1 ทุกวงจร และจากวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ 3 นั้นจะนำมาต่อเป็นวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คที่ใช้งานจริงโดยจะมีการต่อ ซูบารซี ให้ต่ออุปกรณ์อยู่ในรูปช็อกเกตไอซี ซึ่งลดปัญหาการเกิดการรบกวนของอุปกรณ์ขึ้นได้

6.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่เกิดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คทั้ง 3 แบบก็คือผลตอบสนองทางขนาดของวงจรยังไม่ดีเท่าที่ควรเกิดจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวงจรยังไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดค่า α ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในปรับผลตอบสนองต่าง ๆ ของวงจรกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ โดยที่การปรับ α ของวงจรกรองความถี่สูงและวงจรกรองความถี่ต่ำนั้นจะแปรผกผันกันอยู่ กล่าวคือถ้าเป็นวงจรกรองความถี่สูงจะปรับค่า α มีค่าสูง ทำให้ในวงจรกรองความถี่ต่ำจึงต้องปรับค่าของ α มีค่าต่ำ ดังนั้นจึงควรปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมจึงจะทำให้วงจรมีความชันมากยิ่งขึ้น และปัญหาที่พบอีกก็คือในการทดลองจริงนั้นถ้าต่ออุปกรณ์เป็นแบบช็อกเก็ตจะมีข้อเสียคือไม่สามารถที่จะต่อค่า C ที่มีค่าสูงได้ เพราะถ้า C มีค่าสูงนั้นจะมีลักษณะที่ใหญ่ไม่สามารถใส่ช็อกเก็ตได้ และจากผลการทดลองจริงนั้นผลที่ได้มีค่าที่ผิดพลาดไปจากทฤษฎีบ้างเนื่องจากตัวอุปกรณ์ที่นำมาต่อนั้นทำให้สัญญาณเกิดการลดทอนขึ้นในวงจร และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่ามุมเฟสที่วัดได้จากเครื่องออสซิโลสโคปไม่ตรงกับค่ามุมเฟสที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Pspice เนื่องจากเครื่องออสซิโลสโคปมีข้อจำกัดตรงที่มุมเฟสที่วัดได้ไม่เกิน 180 องศา เมื่อมุมเฟสมีค่าเกิน 180 ก็จะย้อนกลับไปทับที่เดิมทันทีจึงต้องทำความเข้าใจกับเครื่องนี้ให้ดีเสียก่อน

6.3 แนวทางการพัฒนา และการวิจัย

ในปริิญาณานิพนธ์นี้สามารถพัฒนาต่อได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ให้มีความเหมาะสมที่สุดโดยจะเป็นการปรับความชันพร้อมทั้งมุมเฟสให้ดียิ่งขึ้น และยังพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นโดยการนำมอสเฟต หรือ ซิโมสมาทำเป็นชัวร์ซี โดยข้อดีของการนำมอสเฟตมาต่อก็คือจะทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงและทำให้เกิดการลดทอนน้อยที่สุด พร้อมทั้งยังสามารถใช้กับความถี่สูงได้ และยังสามารถปรับเปลี่ยนค่า C ของชัวร์ซีได้ โดยการปรับแรงดันไบอัสที่ขาเกตของมอสเฟต ซึ่งมีผลทำให้ค่า C ภายในมอสเฟตเปลี่ยนแปลงได้

บรรณานุกรม

- รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช ไพศาล สิทธิโยภาสกุลและ M.Teramoto (2533:157-166) “การออกแบบวงจร อีควอไลเซอร์โดยใช้วงจรยูนิฟอร์มคิสทรีบิวท์อาร์ซี”, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- มงคล ครุรัตนาวุฒิ และสรพงษ์ แซ่เตีย (2541:1-45) ปรินญาณินพนธ์ “การออกแบบวงจร ครอส โอเวอร์เน็ตเวอร์คโดยใช้ ยูนิฟอร์มคิสทรีบิวท์ อาร์ซี ฟิลเตอร์”
- V.G.Bello and M.S.Ghuasi(1969:526-530)“Design of Linear Phase Active Distributed RC Networks”,IEEE Trans.Circuit Theory, vol.CT-16
- M.S.Ghausi and V.G.Bello(1969:346-358)“Active Distributed RC Realization of Low Pass Magnitude Specifications”,IEEE Trans.Vol.CT-16
- Gabor C.Temes and Jack W.LaPATRA (1977) “Introduction to Circuit Synthesis and Design”,McGRAW HILL Book Company
- M.Teramoto S.Sudou and K.Janchit rapongvej (1989) “Realization of an Active Low Pass Filter using Uniformly Distributed RC Lines”,ICEE,CAS 89-54
- Pookaiyudom K.Dejhan and C.Watanachaiprateep (521-527) “Electronically tunable filter blocks”,INT.J.Electronics,vol.46

Home pages อ้างอิง

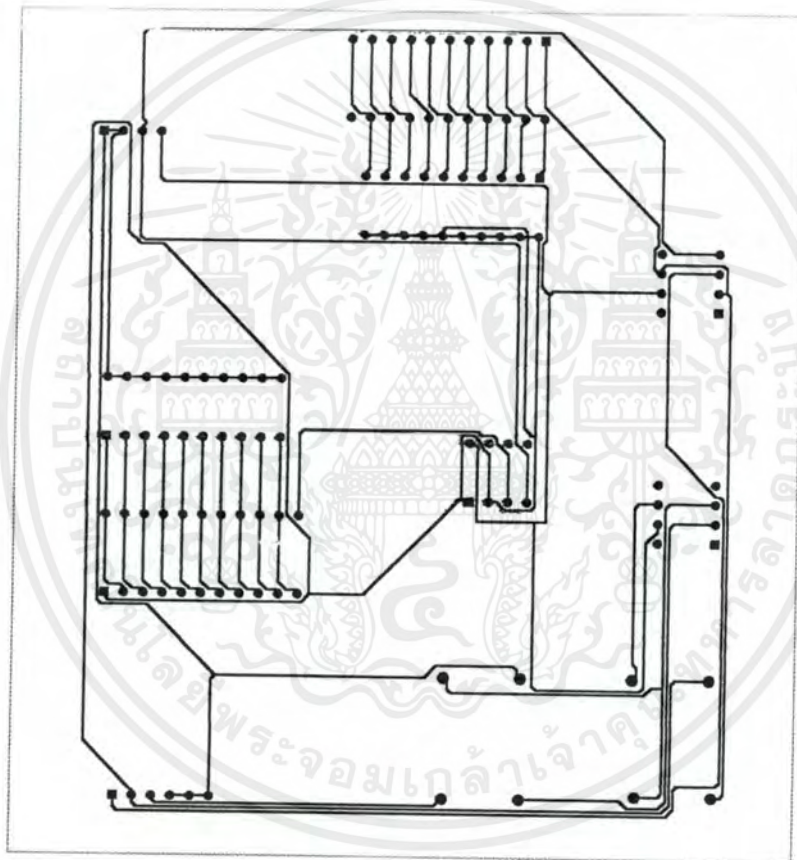
1. <http://www.afn.org/~afn.org06011/databook.htm> :Data sheet Links
2. <http://www.nation.com/semiconductor> :National Semiconductor Company
3. <http://www.ieee.com> :IEEE Company
4. <http://www.dsp.rice.edu/software/RU-FILTER/butter/> :Butterworth Home page



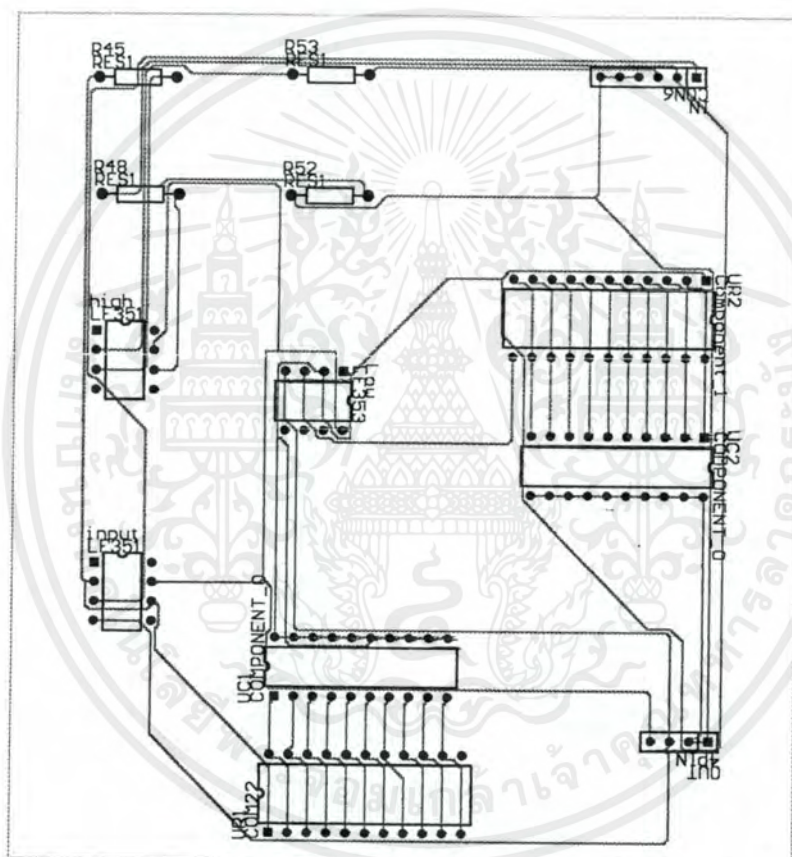
ภาคผนวก ก

รายละเอียดของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์แบบที่1
wl=1:100:1e7;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
kh=input('insert kh=');
rh=input('insert rh= ');
ch=input('insert ch=');
alh=input('insert alh= ');
ph=sqrt(s.*rh.*ch);
kl=input('insert kl=');
rl=input('insert rl= ');
cl=input('insert cl=');
all=input('insert all= ');
pl=sqrt(s.*rl.*cl);
nh = alh.*kh.*(cosh(ph)-1);
dh = (alh.*cosh(ph))+cosh(ph)-(kh.*(alh-1+cosh(ph)));
h=abs(nh/dh);
hh=nh/dh;
Th=20.*log10(h);
fh=angle(nh/dh);
fih=unwrap(fh);
fh1=(180./pi).*fih;
nl = all.*kl;
dl = (all.*cosh(pl))+cosh(pl)-(kl.*((all.*(cosh(pl)-1))+1));
l=abs(nl/dl);
ll=nl/dl;
Tl=20.*log10(l);
fl=angle(nl/dl);
fil=unwrap(fl);
fl1=(180./pi).*fil;
oph1=fl1-90;
lh=ll+hh;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Tlh=20.*log10(abs(lh));
ft=f11-fh1;
opt=f11-oph1;
figure(1)
semilogx(w,Tl,'g',w,Th,'r',w,Tlh,'b'),...
axis([1,10e7,-60,3]);
title('Crossover Network By using URC 1')
xlabel('frequency')
ylabel('Tranferfunction(dB)')
grid;
figure(2)
semilogx(w,f11,'g',w,fh1,'r',w,ft,'b'),...
axis([10,10e4,-200,200]);
gtext('-----lowpass')
gtext('-----highpass')
gtext('-----difference')
title(' Phase Crossover Network By using URC 1')
xlabel('frequency')
ylabel('deg')
grid;
figure(3)
semilogx(w,f11,'g',w,oph1,'r',w,opt,'b'),...
axis([10,10e4,-200,100]);
gtext('-----lowpass')
gtext('-----highpass')
gtext('-----difference')
title(' Phase Crossover Network By using URC 1')
xlabel('frequency')
ylabel('deg')
grid;

```

```

%โปรแกรมการคำนวณครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์แบบที่2
f=1:100:10e6;
w=f./(2.*pi);
s=j.*w;
kh=input('insert kh=');
rh=input('insert rh= ');
ch=input('insert ch=');
alh=input('insert alh= ');
ph=sqrt(s.*rh.*ch);
kl=input('insert kl=');
rl=input('insert rl= ');
cl=input('insert cl=');
all=input('insert all= ');
pl=sqrt(s.*rl.*cl);
nh1 = alh.*kh.*(cosh(ph)-1);
dh1 = (alh.*cosh(ph))+cosh(ph)-(kh.*(alh-1+cosh(ph)));
nh2 = alh.*kh.*(cosh(ph)-1);
dh2 = (alh.*cosh(ph))+cosh(ph)-(kh.*(alh-1+cosh(ph)));
h1=nh1./dh1;
h2=nh2./dh2;
ht=h1.*h2;
Th=20.*log10(abs(ht));
Ph=angle(ht);
PH=unwrap(Ph);
PH1=(180./pi).*PH;
OPH1=PH1-180;
nl1 = all.*kl;
dl1 = (all.*cosh(pl))+cosh(pl)-(kl.*((all.*(cosh(pl)-1))+1));
l1=nl1./dl1;
lt=l1;
Tl=20.*log10(abs(lt));
Pl=angle(nl1./dl1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PL=unwrap(Pl);
PL1=(180./pi).*PL;
OPL1=PL1;
lh=lt+ht;
Tlh=20.*log10(abs(lh));
PT=PL1-PH1;
OPT=OPL1-OPH1;
figure(1)
semilogx(w,Tl,'g',w,Th,'r',w,Tlh,'b'),...
axis([1,10e5,-60,5]);
title('Crossover Network By using URC 2')
xlabel('frequency')
ylabel('Tranferfunction(dB)')
grid
figure(2)
semilogx(w,PL1,'g',w,PH1,'r',w,PT,'b'),...
axis([1,10e4,-200,200]);
gtext('-----lowpass')
gtext('-----highpass')
gtext('-----difference')
title(' Phase Crossover Network By using URC 2')
xlabel('frequency')
ylabel('deg')
grid;
figure(3)
semilogx(w,OPL1,'g',w,OPH1,'r',w,OPT,'b'),...
axis([1,10e4,-200,200]);
gtext('-----lowpass')
gtext('-----highpass')
gtext('-----difference')
title(' Phase Crossover Network By using URC 2')
xlabel('frequency')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ylabel('deg')

grid;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% โปรแกรมการคำนวณครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์แบบที่3
wl=1:100:10e6;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k=input('insert k=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
a=input('insert a= ');
p=sqrt(s.*r.*c);
nl=a.*k;
dl=((1+a-(a.*k)).*cosh(p))+(k.*(a-1));
Tl=nl./dl;
Gl=abs(Tl);
Ll=20.*log10(Gl);
fl=angle(nl./dl);
fll=unwrap(fl);
fl1=(180./pi).*fll;
nh=((1+a-(a.*k)).*cosh(p))-k;
dh=((1+a-(a.*k)).*cosh(p))+k.*(a-1);
Th=nh./dh;
Gh=abs(Th);
Hh=20.*log10(Gh);
fh=angle(nh./dh);
fhh=unwrap(fh);
fh1=(180./pi).*fhh;
oph1=fh1-90;
T=Tl+Th;
TT=20.*log10(abs(T));
ft=fll-fh1;
opt=fll-oph1;
figure(1)
semilogx(w,Ll,'g',w,Hh,'r',w,TT,'b'),...

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

axis([1 10e6 -60 3]);
title('Crossover Network By using URC 3')
xlabel('frequency')
ylabel('Tranferfunction(dB)')
grid;
figure(2)
semilogx(w,fl1,'g',w,fh1,'r',w,ft,'b'),...
axis([10,10e4,-200,200]);
gtext('-----lowpass')
gtext('-----highpass')
gtext('-----difference')
title(' Phase Crossover Network By using URC 3')
xlabel('frequency')
ylabel('deg')
grid;
figure(3)
semilogx(w,fl1,'g',w,oph1,'r',w,opt,'b'),...
axis([10,10e4,-200,100]);
gtext('-----lowpass')
gtext('-----highpass')
gtext('-----difference')
title(' Phase Crossover Network By using URC 3')
xlabel('frequency')
ylabel('deg')
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่สูง
f=1:10:100000;
w=f.*(2.*pi);
s=j.*w;
k=input('insert k=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al1=input('insert al1= ');
al2=input('insert al2= ');
al3=input('insert al3= ');
p=sqrt(s.*r.*c);
nh1 = al1.*k.*(cosh(p)-1);
dh1 = (al1.*cosh(p))+cosh(p)-(k.*(al1-1+cosh(p)));
h1=abs(nh1./dh1);
Th1=20.*log10(h1);
nh2 = al2.*k.*(cosh(p)-1);
dh2 = (al2.*cosh(p))+cosh(p)-(k.*(al2-1+cosh(p)));
h2=abs(nh2./dh2);
Th2=20.*log10(h2);
nh3 = al3.*k.*(cosh(p)-1);
dh3 = (al3.*cosh(p))+cosh(p)-(k.*(al3-1+cosh(p)));
h3=abs(nh3./dh3);
Th3=20.*log10(h3);
semilogx(w,Th1,'g',w,Th2,'r',w,Th3,'b'),...
axis([1,10e5,-50,10]);
gtext('-----alpha=1')
gtext('-----alpha=3')
gtext('-----alpha=5')
title('URC Highpass Filter ')
xlabel('frequency')
ylabel('Tranferfunction(dB)')

grid

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% โปรแกรมการคำนวณเฟสของวงจรกรองความถี่สูง
wl=1:100:1e7;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
kh=input('insert kh=');
rh=input('insert rh= ');
ch=input('insert ch=');
ph=sqrt(s.*rh.*ch);
alh1=input('insert alh1= ');
alh2=input('insert alh2= ');
alh3=input('insert alh3= ');
nh1 = alh1.*kh.*(cosh(ph)-1);
dh1 = (alh1.*cosh(ph))+cosh(ph)-(kh.*(alh1-1+cosh(ph)));
fh1=angle(nh1./dh1);
fhh1=unwrap(fh1);
fh11=(180./pi).*fhh1;
nh2 = alh2.*kh.*(cosh(ph)-1);
dh2 = (alh2.*cosh(ph))+cosh(ph)-(kh.*(alh2-1+cosh(ph)));
fh2=angle(nh2./dh2);
fhh2=unwrap(fh2);
fh12=(180./pi).*fhh2;
nh3 = alh3.*kh.*(cosh(ph)-1);
dh3 = (alh3.*cosh(ph))+cosh(ph)-(kh.*(alh3-1+cosh(ph)));
fh3=angle(nh3./dh3);
fhh3=unwrap(fh3);
fh13=(180./pi).*fhh3;
semilogx(w,fh11,'g',w,fh12,'r',w,fh13,'b'),...
axis([10,10e4,-5,100]);
gtext('-----alpha=1')
gtext('-----alpha=3')
gtext('-----alpha=5')
title('Phase URC Highpass filter ')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xlabel('frequency')
```

```
ylabel('deg')
```

```
grid;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%โปรแกรมการคำนวณ Groupdelay ของวงจรของความถี่สูง

```
wl=0.1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
k=input('insert k=');
r=input('insert r=');
c=input('insert c=');
al1=input('insert al1=');
al2=input('insert al2=');
al3=input('insert al3=');
t=sqrt((w.*r.*c)/2);
a1=(((al1.*k)+(al1.^2).*(k.^2)).*((r.*c.*sinh(t).*cos(t))+sin(t).*cosh(t).*r.*c))./(4.*t);
b11=(((al1.^2).*(k)+(al1.*k)-(al1.*k)-(al1.*k)-(al1.*k).^2)).*r.*c.*((cosh(t).*sinh(t).*sin(t).*((cosh(t).^2))-(cos(t).*sinh(t).*((cosh(t).^2)))/(2.*t);
b21=(((2.*al1.*(k.^2)-(al1.*k)-(al1.^2).*(k.^2)).*(al1.^3)).*r.*c.*((cos(t).*sinh(t))-sin(t).*cosh(t)))/(4.*t);
b31=(((al1.^2).*(k)+(al1.*k)-(al1.*k)-(al1.*k).^2)).*r.*c.*((sin(t).*cos(t).*((sinh(t).^2))+sin(t).*cosh(t).*((sin(t).^2)))/(2.*t);
b1=b11+b21+b31;
d1=((al1.*k).*((cosh(t).*cos(t))-1).*(al1+1-k).*((cosh(t).*cos(t)-(k.*al1+k))+(al1.*k.*sin(t).*sinh(t).*(al1+1-k).*sinh(t).*sin(t)));
e1=((al1+1-k).*((cosh(t).*cos(t))-(k.*al1+k).*al1.*k.*sin(t)).*sinh(t))-al1.*k.*((cosh(t).*cos(t))-1).*(al1+1-k).*sinh(t).*sin(t);
f1=((d1.*a1)-(e1.*b1))./(d1.^2);
g1=e1./d1;
```

```

h1=(1/(1+(g1.^2))).*f1;
a2=((al2.*k)+(al2.^2).*k^2).*(k.^2)).*(r.*c.*sinh(t).*cos(t)+(sin(t).*cosh(t).*r.*c))./(4.*t);
b12=(((al2.^2).*k)+(al2.*k)-(al2.*k)-(al2.*k).^2)).*r.*c.*((cosh(t).*sinh(t).^2)-(cos(t).*sin(t).*((cosh(t).^2)))./(2.*t);
b22=(((2.*al2.*k.^2)-(al2.*k)-(al2.^2).*k)-(k.^2)).*r.*c.*((cos(t).*sinh(t))-(sin(t).*cosh(t)))./(4.*t);
b32=(((al2.^2).*k)+(al2.*k)-(al2.*k).^2)).*r.*c.*((sinh(t).^2)+(sin(t).*cosh(t).*((sin(t).^2)))./(2.*t);
b2=b12+b22+b32;
d2=((al2.*k).*((cosh(t).*cos(t))-1).*(al2+1-k).*((cosh(t).*cos(t))-(k.*al2+k)))+(al2.*k.*sin(t).*sinh(t).*(al2+1-k).*sinh(t).*sin(t));
e2=((al2+1-k).*((cosh(t).*cos(t))-(k.*al2+k)).*al2.*k.*sin(t).*sinh(t))-(al2.*k.*((cosh(t).*cos(t))-1).*(al2+1-k).*sinh(t).*sin(t));
f2=((d2.*a2)-(e2.*b2))./(d2.^2);
g2=e2./d2;
h2=(1/(1+(g2.^2))).*f2;
a3=(((al3.*k)+(al3.^2).*k)-(al3.^2).*k.^2)).*(r.*c.*sinh(t).*cos(t)+(sin(t).*cosh(t).*r.*c))./(4.*t);
b13=(((al3.^2).*k)+(al3.*k)-(al3.*k)-(al3.*k).^2)).*r.*c.*((cosh(t).*sinh(t).^2)-(cos(t).*sin(t).*((cosh(t).^2)))./(2.*t);
b23=(((2.*al3.*k.^2)-(al3.*k)-(al3.^2).*k)-(k.^2)).*r.*c.*((cos(t).*sinh(t))-(sin(t).*cosh(t)))./(4.*t);
b33=(((al3.^2).*k)+(al3.*k)-(al3.*k).^2)).*r.*c.*((sin(t).*cos(t).*((sinh(t).^2)+(sin(t).*cosh(t).*((sin(t).^2)))./(2.*t);
b3=b13+b23+b33;
d3=((al3.*k).*((cosh(t).*cos(t))-1).*(al3+1-k).*((cosh(t).*cos(t))-(k.*al3+k)))+(al3.*k.*sin(t).*sinh(t).*(al3+1-k).*sinh(t).*sin(t));
e3=((al3+1-k).*((cosh(t).*cos(t))-(k.*al3+k)).*al3.*k.*sin(t).*sinh(t))-(al3.*k.*((cosh(t).*cos(t))-1).*(al3+1-k).*sinh(t).*sin(t));
f3=((d3.*a3)-(e3.*b3))./(d3.^2);

```

```

g3=e3./d3;
h3=(1./(1+(g3.^2))).*f3;
semilogx(w,h1,'b',w,h2,'b',w,h3,'b'),...
axis([0.1,10e5,-0.005,0.005]);
gtext('-----alpha=2.2')
gtext('-----alpha=1.9')
gtext('-----alpha=2.5')
title('Group delay URC Highpass filter')
xlabel('frequency')
ylabel('time')
grid;

```



```

%โปรแกรมการคำนวณไนควิสต์ของวงจกรองความถี่สูง
wl=input('insert w=');
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al= ');
f=-wl:100:wl;
w=f./(2.*pi);
t=sqrt((w.*r.*c)/2);
a1=((al+1-k1).*cosh(t).*cos(t)-(k1.*al)+k1)+(j.*sinh(t).*sin(t).*(al+1-k1));
b1=real(a1);
c1=imag(a1);
a2=((al+1-k2).*cosh(t).*cos(t)-(k2.*al)+k2)+(j.*sinh(t).*sin(t).*(al+1-k2));
b2=real(a2);
c2=imag(a2);
a3=((al+1-k3).*cosh(t).*cos(t)-(k3.*al)+k3)+(j.*sinh(t).*sin(t).*(al+1-k3));
b3=real(a3);
c3=imag(a3);
plot(b1,c1,'g',b2,c2,'r',b3,c3,'b'),...
axis([-40,10,-10,10]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=2')
gtext('-----K=3')
title('Nyquist URC Highpass filter ')
xlabel('real')
ylabel('image')
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of K ของวงจรกรองความถี่สูง
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a1=(1./k1);
b1=(1-al-cosh(p))./((al.*(cosh(p)-k1))+cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1));
d1=k1.*(a1-b1);
a2=(1./k2);
b2=(1-al-cosh(p))./((al.*(cosh(p)-k2))+cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2));
d2=k2.*(a2-b2);
a3=(1./k3);
b3=(1-al-cosh(p))./((al.*(cosh(p)-k3))+cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3));
d3=k3.*(a3-b3);
semilogx(w,d1,'g',w,d2,'r',w,d3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=2')
gtext('-----K=3')
title(' sensitivity URC Highpass filter at K')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;
-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of R1 ของวงจรรองความถี่สูง
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-1));
a21=(cosh(p)-1).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a31=2.*sinh(p).*(cosh(p)-1);
a1=(a11-a21)./a31;
b11=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-k1));
b21=(cosh(p)-k1).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
b31=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k1))+cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1));
b1=(al.*(b11-b21))./b31;
d1=a1-b1;
a12=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-1));
a22=(cosh(p)-1).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a32=2.*sinh(p).*(cosh(p)-1);
a2=(a12-a22)./a32;
b12=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-k2));
b22=(cosh(p)-k2).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
b32=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k2))+cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2));
b2=(al.*(b12-b22))./b32;
d2=a2-b2;
a13=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-1));
a23=(cosh(p)-1).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a33=2.*sinh(p).*(cosh(p)-1);

```

```

a3=(a13-a23)/a33;
b13=sinh(p).*((p.*sinh(p))+(cosh(p)-k3));
b23=(cosh(p)-k3).*((p.*cosh(p))+(2.*sinh(p)));
b33=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k3))+(cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3));
b3=(al.*(b13-b23))/b33;
d3=a3-b3;
semilogx(w,d1,'g',w,d2,'r',w,d3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=2')
gtext('-----K=3')
title(' sensitivity URC Highpass filter at R1')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;

```

```

% โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of R2 ของวงจรกรองความถี่สูง
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=p.*sinh(p).*((sinh(p).*(1-k1))+((cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1)./p));
a21=(cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a31=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k1))+((cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1)));
a1=(-1).*((a11-a21)/a31);
a12=p.*sinh(p).*((sinh(p).*(1-k2))+((cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2)./p));
a22=(cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a32=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k2))+((cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2)));
a2=(-1).*((a12-a22)/a32);
a13=p.*sinh(p).*((sinh(p).*(1-k3))+((cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3)./p));
a23=(cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a33=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k3))+((cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3)));
a3=(-1).*((a13-a23)/a33);
semilogx(w,a1,'g',w,a2,'r',w,a3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=2')
gtext('-----K=3')
title(' sensitivity URC Highpass filter at R2')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of C1 ของวงจรกรองความถี่สูง
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-1);
a21=p.*(cosh(p)-1).*cosh(p);
a31=2.*sinh(p).*(cosh(p)-1);
a1=(a11-a21)./a31;
b11=a1;
b21=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-k1));
b31=p.*cosh(p).*(cosh(p)-k1);
b41=2.*sinh(p).*(((cosh(p)-k1).*al)+(cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1));
b1=(b11.*(b21-b31))./b41;
d1=a1-b1;
a12=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-1);
a22=p.*(cosh(p)-1).*cosh(p);
a32=2.*sinh(p).*(cosh(p)-1);
a2=(a12-a22)./a32;
b12=a1;
b22=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-k2));
b32=p.*cosh(p).*(cosh(p)-k2);
b42=2.*sinh(p).*(((cosh(p)-k2).*al)+(cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2));
b2=(b12.*(b22-b32))./b42;
d2=a2-b2;
a13=sinh(p).*((p.*sinh(p))+cosh(p)-1);
a23=p.*(cosh(p)-1).*cosh(p);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a33=2.*sinh(p).*(cosh(p)-1);
a3=(a13-a23)./a33;
b13=a1;
b23=sinh(p).*((p.*sinh(p))+(cosh(p)-k3));
b33=p.*cosh(p).*(cosh(p)-k3);
b43=2.*sinh(p).*(((cosh(p)-k3).*a1)+(cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3));
b3=(b13.*(b23-b33))./b43;
d3=a3-b3;
semilogx(w,d1,'b',w,d2,'b',w,d3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=2')
gtext('-----K=3')
title(' sensitivity URC Highpass filter at C1')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of C2 ของวงจรกรองความถี่สูง
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=sinh(p).*((p.*sinh(p).*(1-k1))+cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1);
a21=(p.*cosh(p)).*(cosh(p)-(p.*cosh(p))+k1);
a31=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k1))+cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1);
a1=(-1).*(a11-a21)./a31;
a12=sinh(p).*((p.*sinh(p).*(1-k2))+cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2);
a22=(p.*cosh(p)).*(cosh(p)-(p.*cosh(p))+k2);
a32=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k2))+cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2);
a2=(-1).*(a12-a22)./a32;
a13=sinh(p).*((p.*sinh(p).*(1-k3))+cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3);
a23=(p.*cosh(p)).*(cosh(p)-(p.*cosh(p))+k3);
a33=2.*sinh(p).*((al.*(cosh(p)-k3))+cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3);
a3=(-1).*(a13-a23)./a33;
semilogx(w,a1,'g',w,a2,'r',w,a3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=2')
gtext('-----K=3')
title(' sensitivity URC Highpass filter  at C2')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% โปรแกรมการคำนวณผลตอบสนองทางขนาดของวงจรรองความถี่ต่ำ
f=0.1:10:100000;
w=f.*(2.*pi);
s=j.*w;
k=input('insert k=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al1=input('insert al1= ');
al2=input('insert al2= ');
al3=input('insert al3= ');
p=sqrt(s.*r.*c);
nl1 = al1.*k;
dl1 = (al1.*cosh(p))+cosh(p)-(k.*((al1.*(cosh(p)-1))+1));
l1=abs(nl1./dl1);
Tl1=20 .* log10(l1);
nl2 = al2.*k;
dl2 = (al2.*cosh(p))+cosh(p)-(k.*((al2.*(cosh(p)-1))+1));
l2=abs(nl2./dl2);
Tl2=20 .* log10(l2);
nl3 = al3.*k;
dl3 = (al3.*cosh(p))+cosh(p)-(k.*((al3.*(cosh(p)-1))+1));
l3=abs(nl3./dl3);
Tl3=20 .* log10(l3);
semilogx(w,Tl1,'g',w,Tl2,'r',w,Tl3,'b'),...
axis([1,10e4,-60,10]);
gtext('-----alpha=1')
gtext('-----alpha=3')
gtext('-----alpha=5')
title ('URC Lowpass Filter ')
xlabel('frequency')
ylabel("Tranferfunction(dB)")
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำ
wl=1:100:1e7;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
kl=input('insert kl=');
rl=input('insert rl= ');
cl=input('insert cl=');
pl=sqrt(s.*rl.*cl);
all1=input('insert all1= ');
all2=input('insert all2= ');
all3=input('insert all3= ');
nl1 = all1.*kl;
dl1 = (all1.*cosh(pl))+cosh(pl)-(kl.*((all1.*(cosh(pl)-1))+1));
fl1=angle(nl1./dl1);
fl1=unwrap(fl1);
fl11=(180./pi).*fl1;
nl2 = all2.*kl;
dl2 = (all2.*cosh(pl))+cosh(pl)-(kl.*((all2.*(cosh(pl)-1))+1));
fl2=angle(nl2./dl2);
fl2=unwrap(fl2);
fl12=(180./pi).*fl2;
nl3 = all3.*kl;
dl3 = (all3.*cosh(pl))+cosh(pl)-(kl.*((all3.*(cosh(pl)-1))+1));
fl3=angle(nl3./dl3);
fl3=unwrap(fl3);
fl13=(180./pi).*fl13;
semilogx(w,fl11,'g',w,fl12,'r',w,fl13,'b'),...
axis([10,10e4,-100,5]);
gtext('-----alpha=1')
gtext('-----alpha=3')
gtext('-----alpha=5')
title('Phase URC Lowpass filter ')
xlabel('frequency')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ylabel('deg')

grid;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณ Groupdelayของวงจรความถี่ต่ำ
wl=0.11:100:10e6;
w=wl./(2.*pi);
k=input('insert k=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al1=input('insert al1=');
al2=input('insert al2=');
al3=input('insert al3=');
t=sqrt((w.*r.*c)/2);
a1=((al1+1-(k.*al1)).*r.*c.*((sinh(t).*cos(t))+sin(t).*cosh(t)))/(4.*t);
b1=((1+al1-(k.*al1)).*r.*c.*((cos(t).*sinh(t))-(cosh(t).*sin(t)))/(4.*t);
d1=sinh(t).*sin(t).*(al1+1-(k.*al1));
e1=(cosh(t).*cos(t).*(1+al1-(k.*al1)))+(k.*al1)-k;
f1=((e1.*a1)-(d1.*b1))/(e1.^2);
g1=d1./e1;
h1=(1./(1+(g1.^2))).*f1;
a2=((al2+1-(k.*al2)).*r.*c.*((sinh(t).*cos(t))+sin(t).*cosh(t)))/(4.*t);
b2=((1+al2-(k.*al2)).*r.*c.*((cos(t).*sinh(t))-(cosh(t).*sin(t)))/(4.*t);
d2=sinh(t).*sin(t).*(al2+1-(k.*al2));
e2=(cosh(t).*cos(t).*(1+al2-(k.*al2)))+(k.*al2)-k;
f2=((e2.*a2)-(d2.*b2))/(e2.^2);
g2=d2./e2;
h2=(1./(1+(g2.^2))).*f2;
a3=((al3+1-(k.*al3)).*r.*c.*((sinh(t).*cos(t))+sin(t).*cosh(t)))/(4.*t);
b3=((1+al3-(k.*al3)).*r.*c.*((cos(t).*sinh(t))-(cosh(t).*sin(t)))/(4.*t);
d3=sinh(t).*sin(t).*(al3+1-(k.*al3));
e3=(cosh(t).*cos(t).*(1+al3-(k.*al3)))+(k.*al3)-k;
f3=((e3.*a3)-(d3.*b3))/(e3.^2);
g3=d3./e3;
h3=(1./(1+(g3.^2))).*f3;
semilogx(w,h1,'b',w,h2,'b',w,h3,'b'),...

```

```
gtext('-----alpha=0.5')  
gtext('-----alpha=0.7')  
gtext('-----alpha=1.2')  
title('Group delay URC lowpass filter ')  
xlabel('frequency')  
ylabel('time')  
grid;
```



```

% โปรแกรมการคำนวณในควิซของวงจรกรองความถี่ต่ำ
w1=input('insert w=');
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al= ');
f=w1:100:w1;
w=f./(2.*pi);
t=sqrt((w.*r.*c)/2);
a1=((cosh(t).*cos(t).*(1+al-(k1.*al)))+(k1.*al)-k1)+(j.*(sinh(t).*sin(t)).*(al+1-(k1.*al)));
b1=real(a1);
c1=imag(a1);
a2=((cosh(t).*cos(t).*(1+al-(k2.*al)))+(k2.*al)-k2)+(j.*(sinh(t).*sin(t)).*(al+1-(k2.*al)));
b2=real(a2);
c2=imag(a2);
a3=((cosh(t).*cos(t).*(1+al-(k3.*al)))+(k3.*al)-k3)+(j.*(sinh(t).*sin(t)).*(al+1-(k3.*al)));
b3=real(a3);
c3=imag(a3);
plot(b1,c1,'g',b2,c2,'r',b3,c3,'b'),...
axis([-20,5,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=1.5')
gtext('-----K=2')
title ('Nyquist URC Lowpass filter ')
xlabel('real')
ylabel('image')
grid;
-----

```

```

%โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of K ของวงจรกรองความถี่ต่ำ
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=(al.*(cosh(p)-1))+1;
a21=(al.*(cosh(p)+1))-(k1.*(al.*(cosh(p)-1))+1);
a1=1+(a11./a21);
a12=(al.*(cosh(p)-1))+1;
a22=(al.*(cosh(p)+1))-(k2.*(al.*(cosh(p)-1))+1);
a2=1+(a12./a22);
a13=(al.*(cosh(p)-1))+1;
a23=(al.*(cosh(p)+1))-(k3.*(al.*(cosh(p)-1))+1);
a3=1+(a13./a23);
semilogx(w,a1,'g',w,a2,'r',w,a3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=1.5')
gtext('-----K=2')
title(' sensitivity URC Lowpass filter at K')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;

```

```

% โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of R1 ของวงจรกรองความถี่ต่ำ
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=sinh(p)-((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a21=2.*sinh(p);
a1=a11/a21;
b11=sinh(p).*(((p-k1).*sinh(p))+cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1));
b21=(cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
b31=2.*sinh(p).*(cosh(p).*(al+1))-(k1.*((al.*(cosh(p)-1))+p));
b1=(al.*(b11-b21))./b31;
d1=a1-b1;
a12=sinh(p)-((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a22=2.*sinh(p);
a2=a12/a22;
b12=sinh(p).*(((p-k2).*sinh(p))+cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2));
b22=(cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
b32=2.*sinh(p).*(cosh(p).*(al+1))-(k2.*((al.*(cosh(p)-1))+p));
b2=(al.*(b12-b22))./b32;
d2=a2-b2;
a13=sinh(p)-((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a23=2.*sinh(p);
a3=a13/a23;
b13=sinh(p).*(((p-k3).*sinh(p))+cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3));
b23=(cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
b33=2.*sinh(p).*(cosh(p).*(al+1))-(k3.*((al.*(cosh(p)-1))+p));

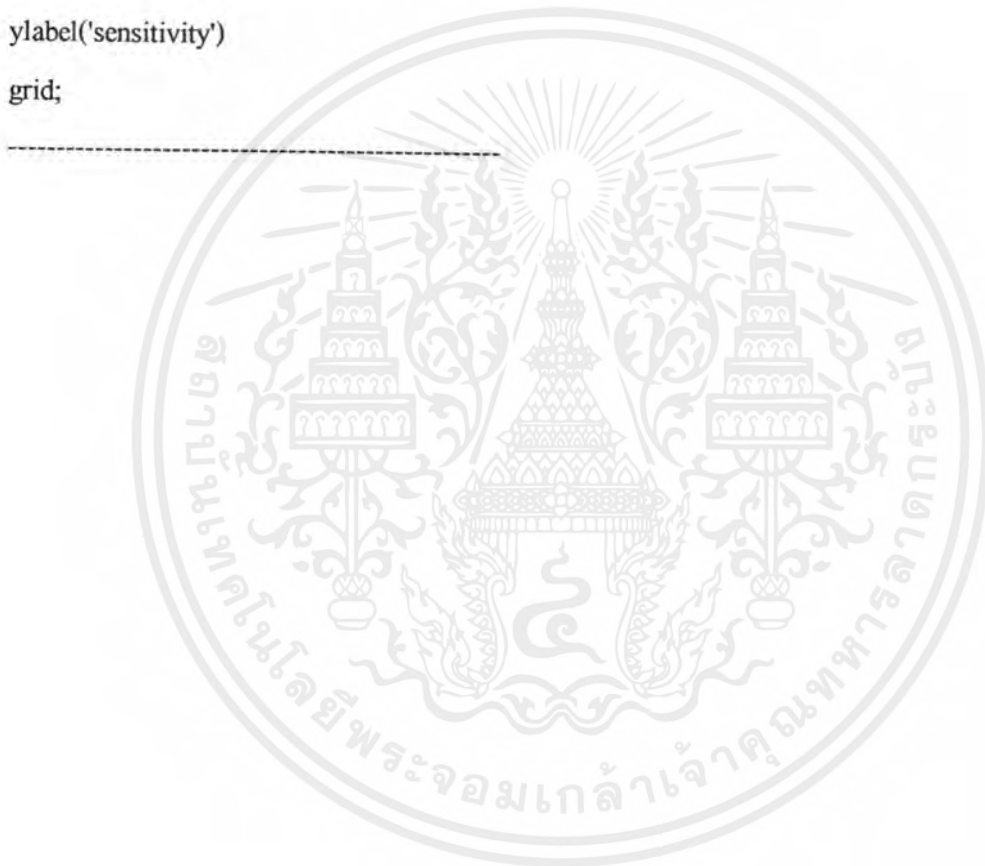
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

b3=(a1.*(b13-b23))./b33;
d3=a3-b3;
semilogx(w,d1,'g',w,d2,'r',w,d3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=1.5')
gtext('-----K=2')
title(' sensitivityt URC Lowpass Filter of R1')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;

```



```

% โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of R2 ของวงจรกรองความถี่ต่ำ
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=sinh(p).*(p+(cosh(p)-k1));
a21=(cosh(p)-k1).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a31=2.*sinh(p).*((cosh(p).*(al+1))-(k1.*(((cosh(p)-1).*al)+1)));
a1=((-1).*(a11-a21))./a31;
a12=sinh(p).*(p+(cosh(p)-k2));
a22=(cosh(p)-k2).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a32=2.*sinh(p).*((cosh(p).*(al+1))-(k2.*(((cosh(p)-1).*al)+1)));
a2=((-1).*(a12-a22))./a32;
a13=sinh(p).*(p+(cosh(p)-k3));
a23=(cosh(p)-k3).*((p.*cosh(p))+2.*sinh(p));
a33=2.*sinh(p).*((cosh(p).*(al+1))-(k3.*(((cosh(p)-1).*al)+1)));
a3=((-1).*(a13-a23))./a33;
semilogx(w,a1,'g',w,a2,'r',w,a3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=1.5')
gtext('-----K=2')
title(' sensitivity URC Lowpass Filter of R2')
xlabel('frequency')
ylabel('sensitivity')
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of CI ของวงจรรองความถี่ต่ำ
wl=1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a1=(sinh(p)-(p.*cosh(p)))/(2.*sinh(p));
b11=sinh(p).*((p.*sinh(p).*(1-k1))+cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1);
b21=p.*cosh(p).*(cosh(p)-(k1.*cosh(p))+k1);
b31=2.*sinh(p).*((cosh(p).*(al+1))-(k1.*(((cosh(p)-1).*al)+1)));
b1=(al.*(b11-b21))/b31;
d1=a1-b1;
a2=(sinh(p)-(p.*cosh(p)))/(2.*sinh(p));
b12=sinh(p).*((p.*sinh(p).*(1-k2))+cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2);
b22=p.*cosh(p).*(cosh(p)-(k2.*cosh(p))+k2);
b32=2.*sinh(p).*((cosh(p).*(al+1))-(k2.*(((cosh(p)-1).*al)+1)));
b2=(al.*(b12-b22))/b32;
d2=a2-b2;
a3=(sinh(p)-(p.*cosh(p)))/(2.*sinh(p));
b13=sinh(p).*((p.*sinh(p).*(1-k3))+cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3);
b23=p.*cosh(p).*(cosh(p)-(k3.*cosh(p))+k3);
b33=2.*sinh(p).*((cosh(p).*(al+1))-(k3.*(((cosh(p)-1).*al)+1)));
b3=(al.*(b13-b23))/b33;
d3=a3-b3;
semilogx(w,d1,'g',w,d2,'r',w,d3,'b'),...
axis([1,10e4,-5,5]);
gtext('-----K=1')
gtext('-----K=1.5')

```

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
gtext('-----K=2')  
title(' sensitivity URC Lowpass Filter of C1')  
xlabel('frequency')  
ylabel('sensitivity')  
grid;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%โปรแกรมการคำนวณ sensitivity of C2 ของวงจรรองความถี่ต่ำ
wl=0.1:100:10e5;
w=wl./(2.*pi);
s=j.*w;
k1=input('insert k1=');
k2=input('insert k2=');
k3=input('insert k3=');
r=input('insert r= ');
c=input('insert c=');
al=input('insert al=');
p=sqrt(s.*r.*c);
a11=sinh(p).*(p.*sinh(p))+(cosh(p)-k1);
a21=p.*(cosh(p)-k1).*cosh(p);
a1=(-1).*(a11-a21);
b11=cosh(p).*(al+1);
b21=k1.*((al.*(cosh(p)-1))+1);
b1=2.*sinh(p).*(b11-b21);
d1=a1./b1;
a12=sinh(p).*(p.*sinh(p))+(cosh(p)-k2);
a22=p.*(cosh(p)-k2).*cosh(p);
a2=(-1).*(a12-a22);
b12=cosh(p).*(al+1);
b22=k2.*((al.*(cosh(p)-1))+1);
b2=2.*sinh(p).*(b12-b22);
d2=a2./b2;
a13=sinh(p).*(p.*sinh(p))+(cosh(p)-k3);
a23=p.*(cosh(p)-k3).*cosh(p);
a3=(-1).*(a13-a23);
b13=cosh(p).*(al+1);
b23=k3.*((al.*(cosh(p)-1))+1);
b3=2.*sinh(p).*(b13-b23);
d3=a3./b3;

```

เอกสารนี้เป็นของบุคคลอื่นที่นำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
axis([1,10e4,-5,5]);  
gtext('-----K=1')  
gtext('-----K=1.5')  
gtext('-----K=2')  
title(' sensitivity URC Lowpass Filter of C2')  
xlabel('frequency')  
ylabel('sensitivity')  
grid;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF353 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

General Description

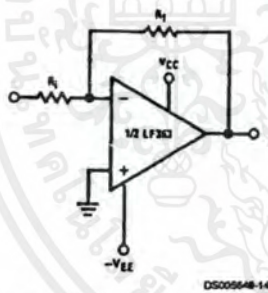
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF353 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and LM358 designs.

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

Features

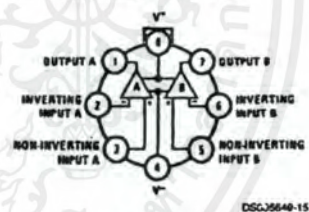
- Internally trimmed offset voltage: 10 mV
- Low input bias current: 50pA
- Low input noise voltage: 25 nV/√Hz
- Low input noise current: 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth: 4 MHz
- High slew rate: 13 V/μs
- Low supply current: 3.6 mA
- High input impedance: 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion A_v=10,: <0.02%
RL=10k, V_O=20Vp-p, BW=20 Hz-20 kHz
- Low 1/f noise corner: 50 Hz
- Fast settling time to 0.01%: 2 μs

Typical Connection



Connection Diagrams

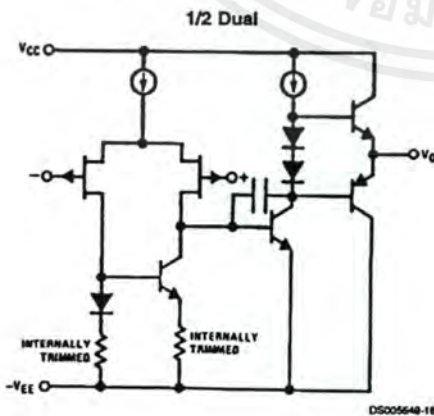
Metal Can Package



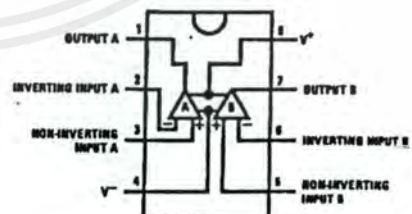
Top View

Order Number LF353H
See NS Package Number H08A

Simplified Schematic



Dual-In-Line Package



Top View

Order Number LF353M or LF353N
See NS Package Number M08A or N08E

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation	(Note 2)
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T _J (MAX)	150°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 3)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	260°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C

Small Outline Package

Vapor Phase (60 sec.)

215°C

Infrared (15 sec.)

220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD Tolerance (Note 8)

1700V

θ_{JA} M Package

TBD

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

DC Electrical Characteristics

(Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S =10kΩ, T _A =25°C		5	10	mV
		Over Temperature			13	mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average 1°C of Input Offset Voltage	R _S =10 kΩ		10		μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	T _J =25°C, (Notes 5, 6)		25	100	pA
		T _J ≤70°C			4	nA
I _B	Input Bias Current	T _J =25°C, (Notes 5, 6)		50	200	pA
		T _J ≤70°C			8	nA
R _{IN}	Input Resistance	T _J =25°C		10 ¹²		Ω
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S =±15V, T _A =25°C	25	100		V/mV
		V _O =±10V, R _L =2 kΩ Over Temperature	15			V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S =±15V, R _L =10kΩ	±12	±13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S =±15V	±11	+15		V
				-12		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤ 10kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 7)	70	100		dB
I _S	Supply Current			3.6	6.5	mA

AC Electrical Characteristics

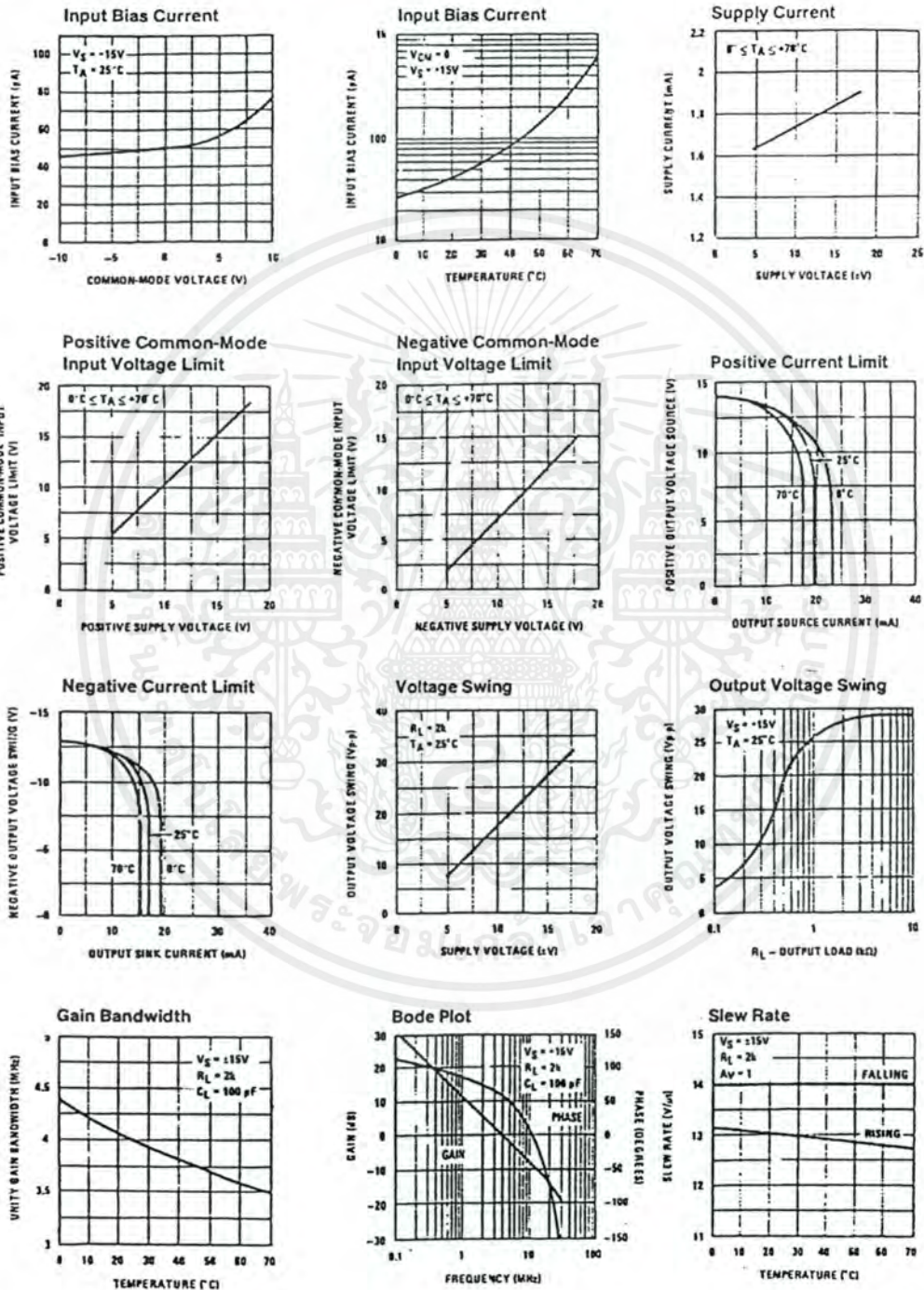
(Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T _A =25°C, f=1 Hz–20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	V _S =±15V, T _A =25°C	8.0	13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V _S =±15V, T _A =25°C	2.7	4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A =25°C, R _S =100Ω, f=1000 Hz		16		nV/√Hz
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _J =25°C, f=1000 Hz		0.01		pA/√Hz

Note 2: For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W typ junction to ambient for the N package, and 158°C/W typ junction to ambient for the H package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

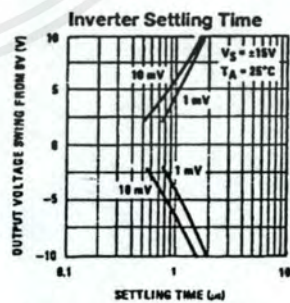
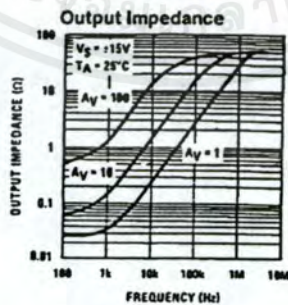
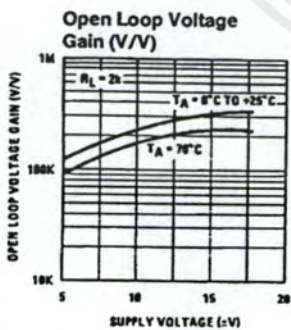
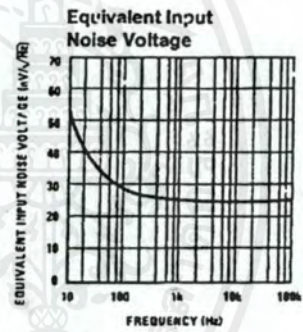
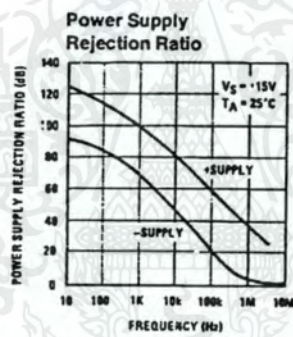
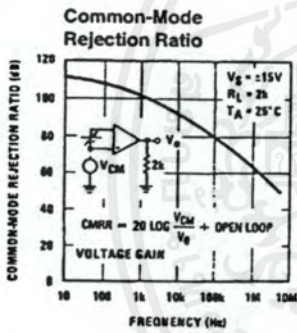
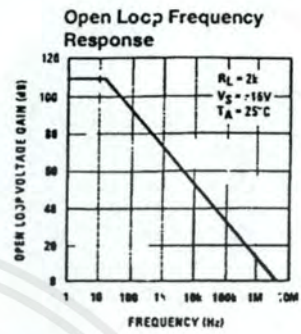
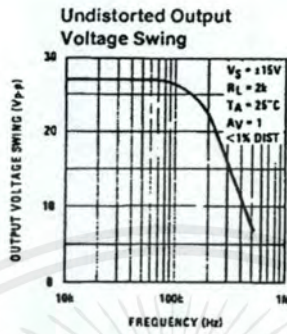
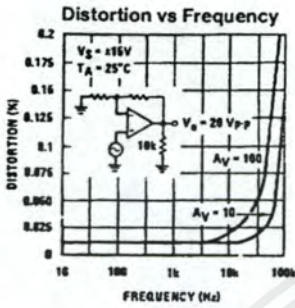
Typical Performance Characteristics



TL/H/5648-2

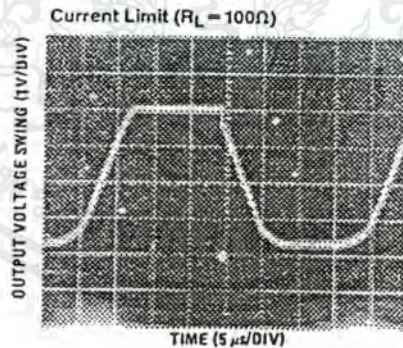
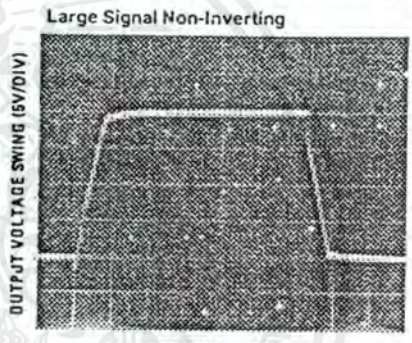
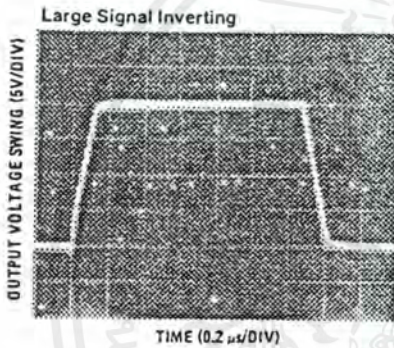
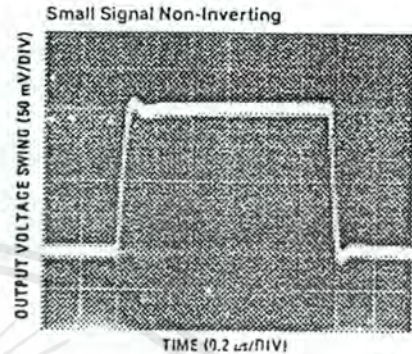
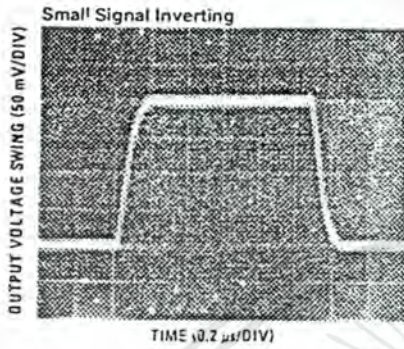
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/5648-3

Pulse Response



Application Hints

The LF351 is an op amp with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II™). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will

cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output.

Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the

Application Hints (Continued)

common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

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

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

The LF351 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 4V$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The LF351 will drive a $2\text{ k}\Omega$ load resistance to $\pm 10V$ over the full temperature range of 0°C to $+70^\circ\text{C}$. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

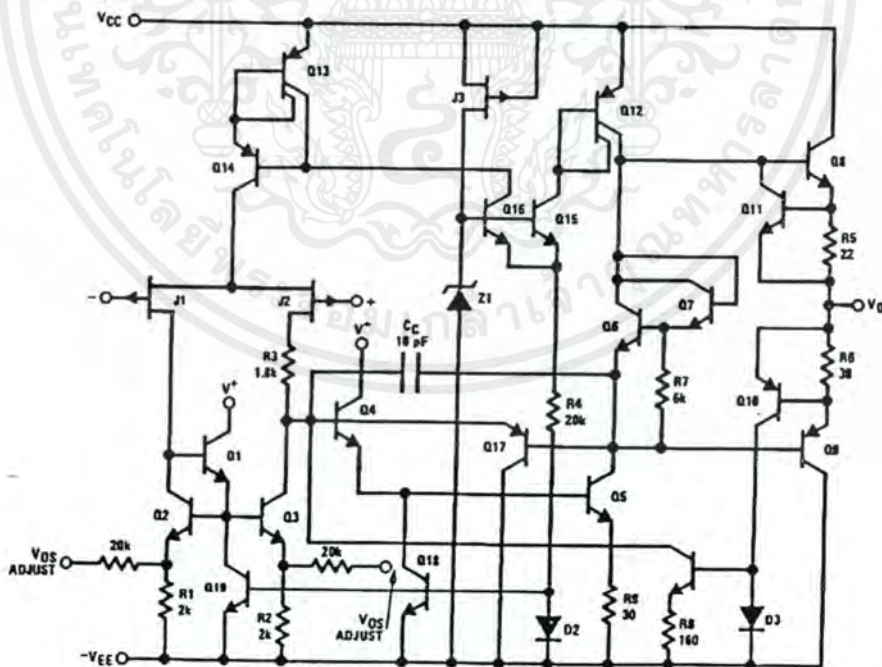
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed back-

wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

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

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

Detailed Schematic

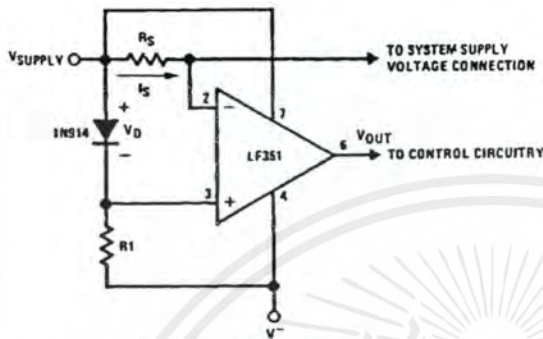


TL/H/5648-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

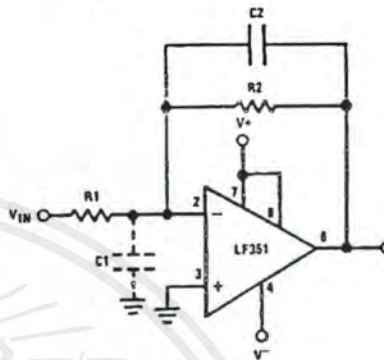
Typical Applications

Supply Current Indicator/Limiter



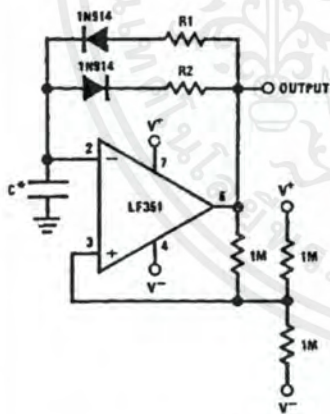
* V_{OUT} switches high when $R_S I_S > V_D$

Hi- Z_{IN} Inverting Amplifier



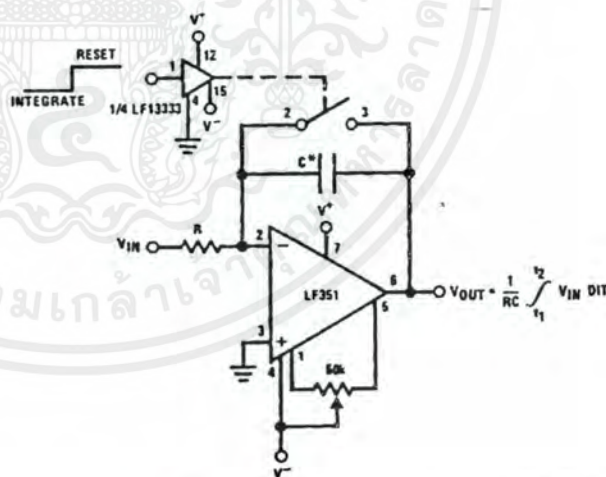
Parasitic input capacitance $C_1 \approx (3 \text{ pF for LF351 plus any additional layout capacitance})$ interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add C_2 such that: $R_2 C_2 \approx R_1 C_1$.

Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



* $I_{OUTPUT \text{ HIGH}} \approx R_1 C \ln \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$
 * $I_{OUTPUT \text{ LOW}} \approx R_2 C \ln \frac{2V_S - 7.8}{V_S - 7.8}$
 where $V_S = V^+ + |V^-|$
 * low leakage capacitor

Long Time Integrator

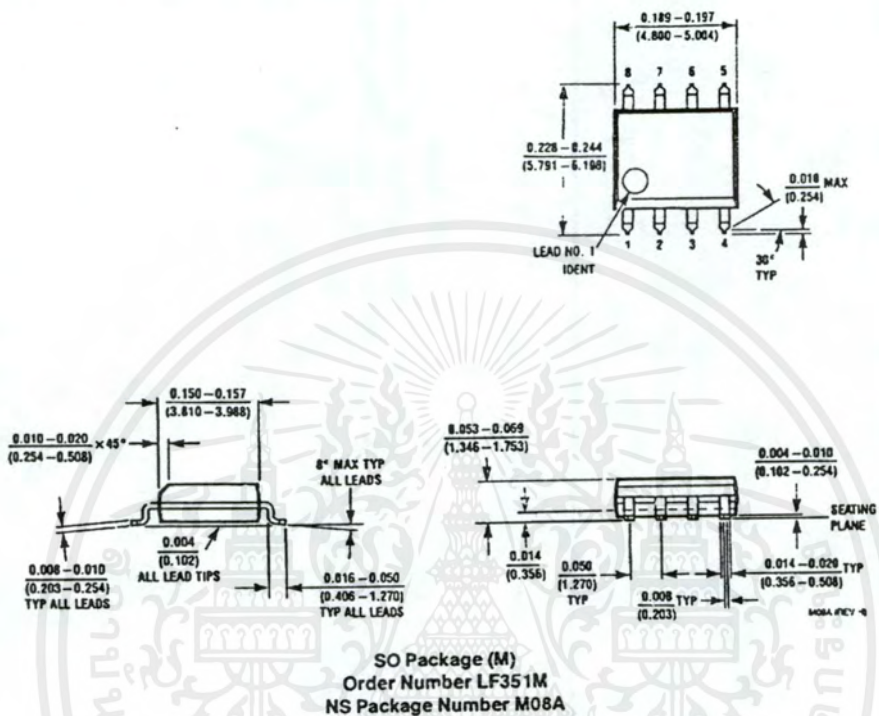


* Low leakage capacitor
 * 50k pot used for less sensitive V_{OS} adjust

TU/H/5648-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

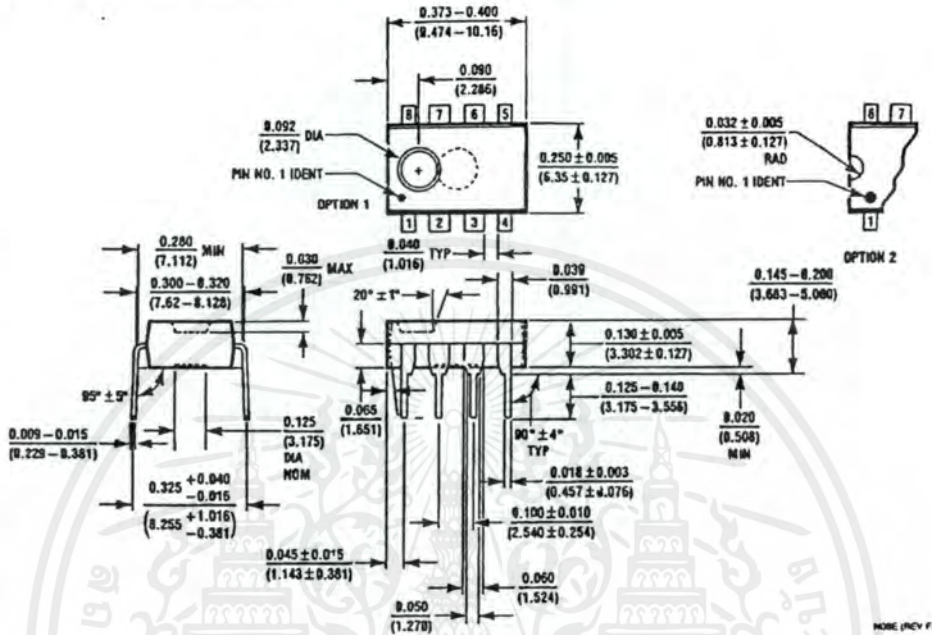
Physical Dimensions inches (millimeters)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number LF351N
 NS Package Number N08E

NOTE (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

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

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



National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9959
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86
 Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1800
 Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

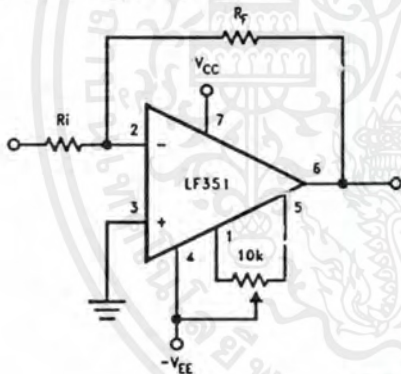
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

Features

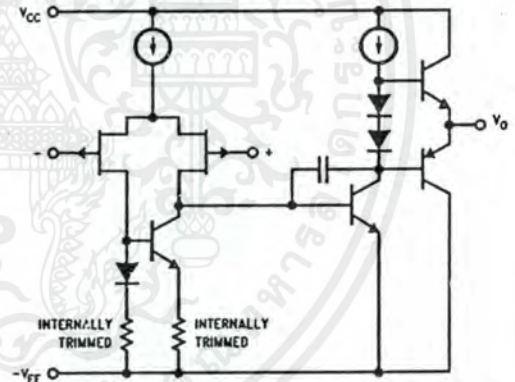
- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, BW = 20 Hz–20 kHz < 0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



TL/H/5648-11

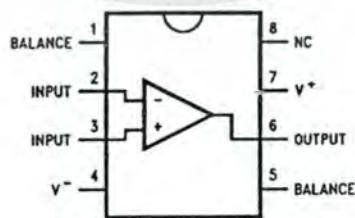
Simplified Schematic



TL/H/5648-12

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



TL/H/5648-13

Order Number LF351M or LF351N
See NS Package Number M08A or N08E

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	$\pm 18V$
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
$T_{j(MAX)}$	$115^{\circ}C$
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage Range (Note 2)	$\pm 15V$
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	$300^{\circ}C$
DIP	$260^{\circ}C$

θ_{JA}	N Package	$120^{\circ}C/W$
	M Package	TBD
Soldering Information		
	Dual-In-Line Package	
	Soldering (10 sec.)	$260^{\circ}C$
	Small Outline Package	
	Vapor Phase (60 sec.)	$215^{\circ}C$
	Infrared (15 sec.)	$220^{\circ}C$
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD rating to be determined.		

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^{\circ}C$ Over Temperature		5	10 13	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$		10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{OS}	Input Offset Current	$T_j = 25^{\circ}C$, (Notes 3, 4) $T_j \leq 70^{\circ}C$		25	100 4	pA nA
I_B	Input Bias Current	$T_j = 25^{\circ}C$, (Notes 3, 4) $T_j \leq \pm 70^{\circ}C$		50	200 8	pA nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_j = 25^{\circ}C$		10^{12}		Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^{\circ}C$ $V_O = \pm 10V$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$ Over Temperature	25	100		V/mV
			15			V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	± 12	± 13.5		V
V_{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 11	+15		V
					-12	
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I_S	Supply Current			1.8	3.4	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		13		V/ μs
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		4		MHz
e_n	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega, f = 1000 \text{ Hz}$		25		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
i_n	Equivalent Input Noise Current	$T_j = 25^\circ C, f = 1000 \text{ Hz}$		0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance, θ_{JA} .

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$. V_{OS} , I_B and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every $10^\circ C$ increase in the junction temperature, T_j . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D . $T_j = T_A + \theta_{JA} P_D$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From $\pm 15V$ to $\pm 5V$.

Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

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

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

Note 5: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$. V_{OS} , I_{b} and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

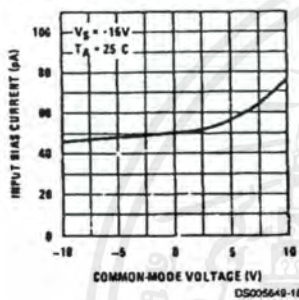
Note 6: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every $10^\circ C$ increase in the junction temperature, T_J . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction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

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

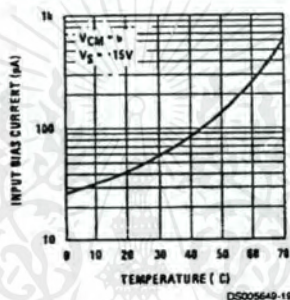
Note 8: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Typical Performance Characteristics

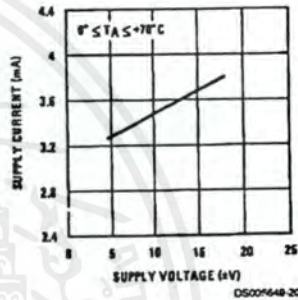
Input Bias Current



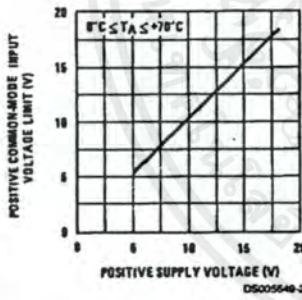
Input Bias Current



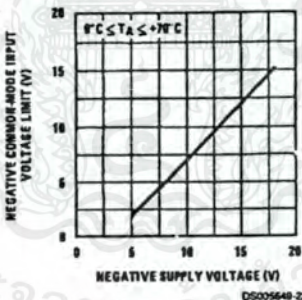
Supply Current



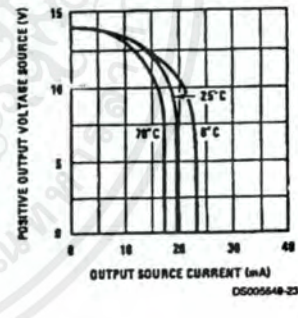
Positive Common-Mode Input Voltage Limit



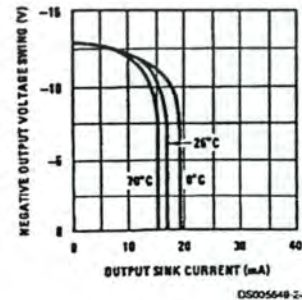
Negative Common-Mode Input Voltage Limit



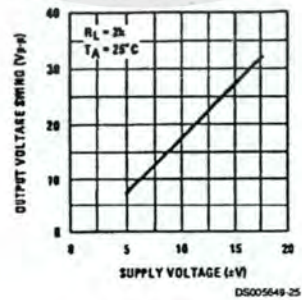
Positive Current Limit



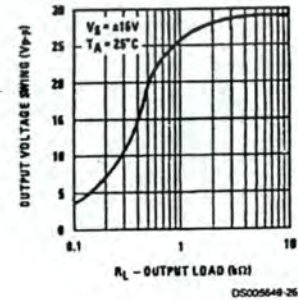
Negative Current Limit



Voltage Swing



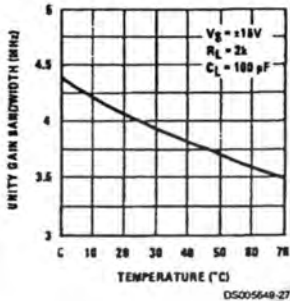
Output Voltage Swing



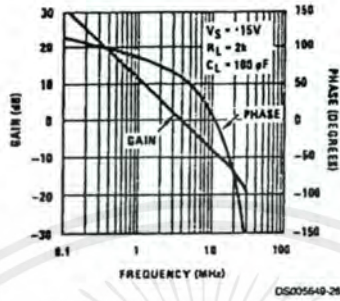
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

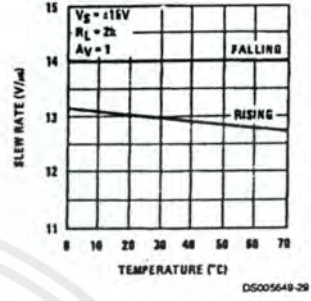
Gain Bandwidth



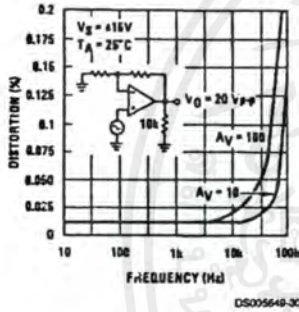
Bode Plot



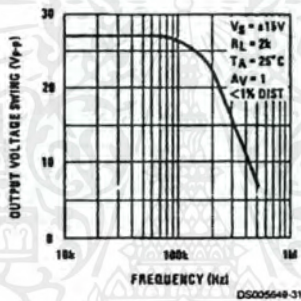
Slew Rate



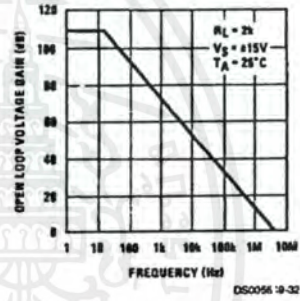
Distortion vs Frequency



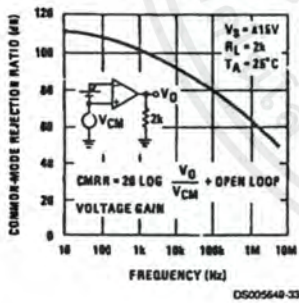
Undistorted Output Voltage Swing



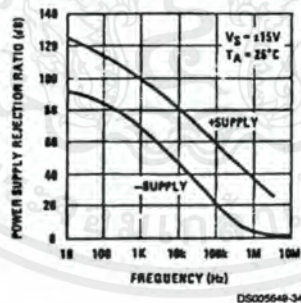
Open Loop Frequency Response



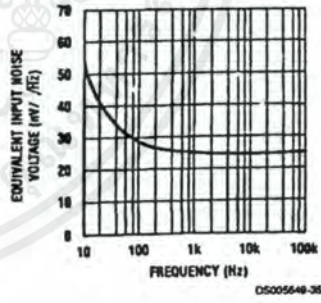
Common-Mode Rejection Ratio



Power Supply Rejection Ratio



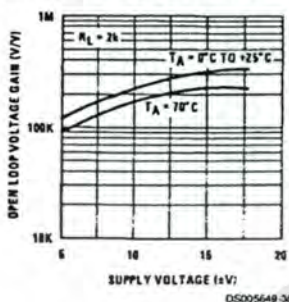
Equivalent Input Noise Voltage



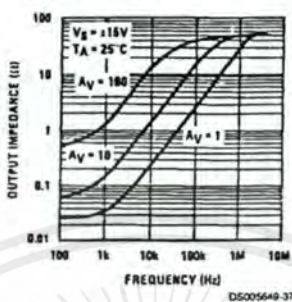
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

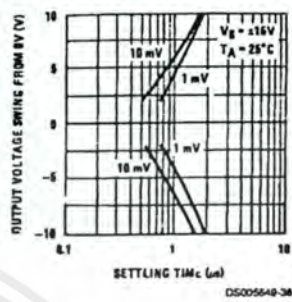
Open Loop Voltage Gain (V/V)



Output Impedance

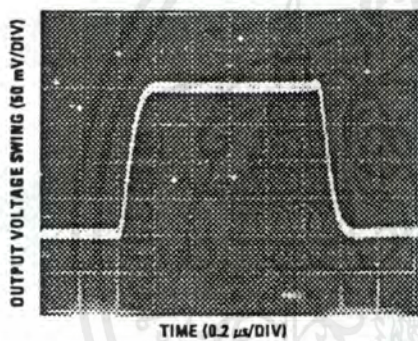


Inverter Settling Time

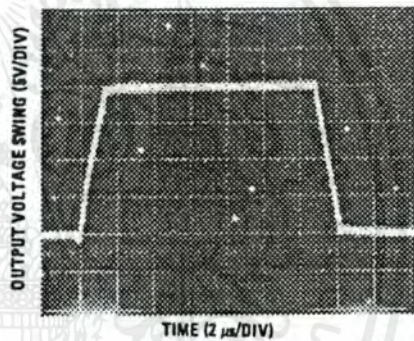


Pulse Response

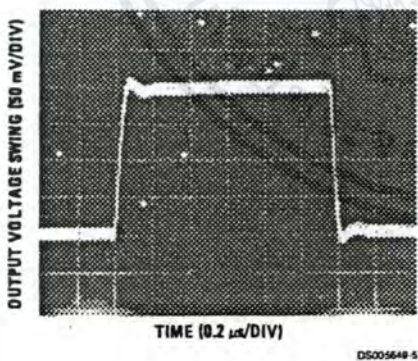
Small Signaling Inverting



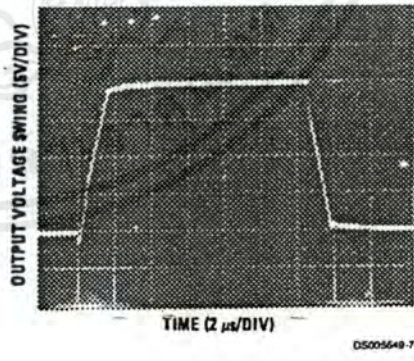
Large Signal Inverting



Small Signal Non-Inverting

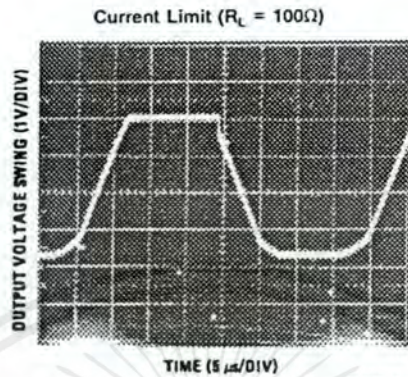


Large Signal Non-Inverting



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulse Response (Continued)



Application Hints

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

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

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

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

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

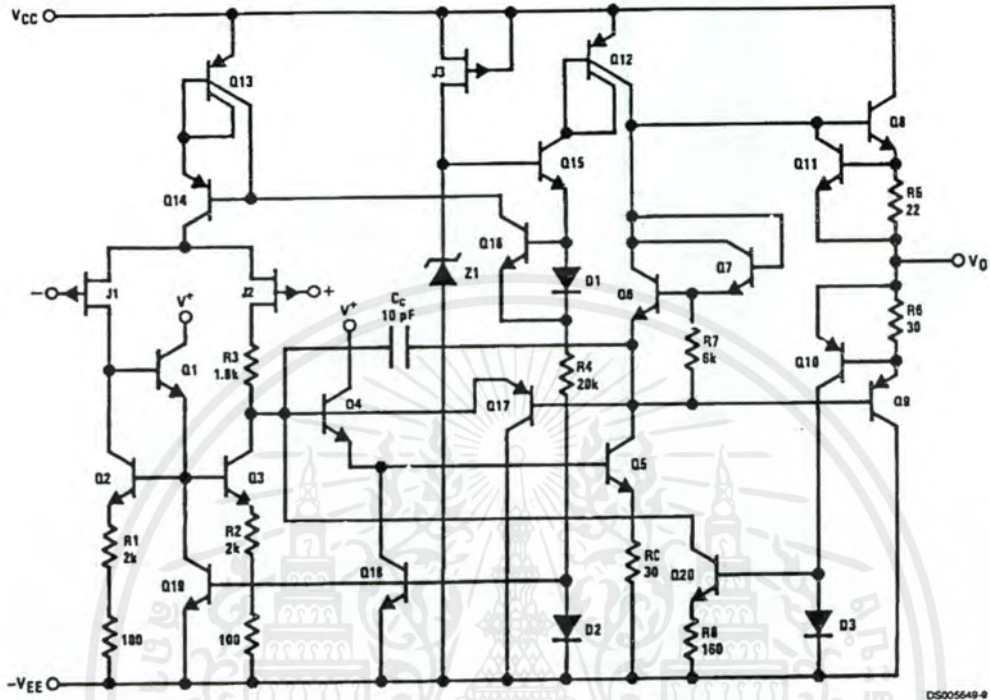
The amplifiers will drive a $2\text{ k}\Omega$ load resistance to $\pm 10V$ over the full temperature range of 0°C to $+70^\circ\text{C}$. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach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

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

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

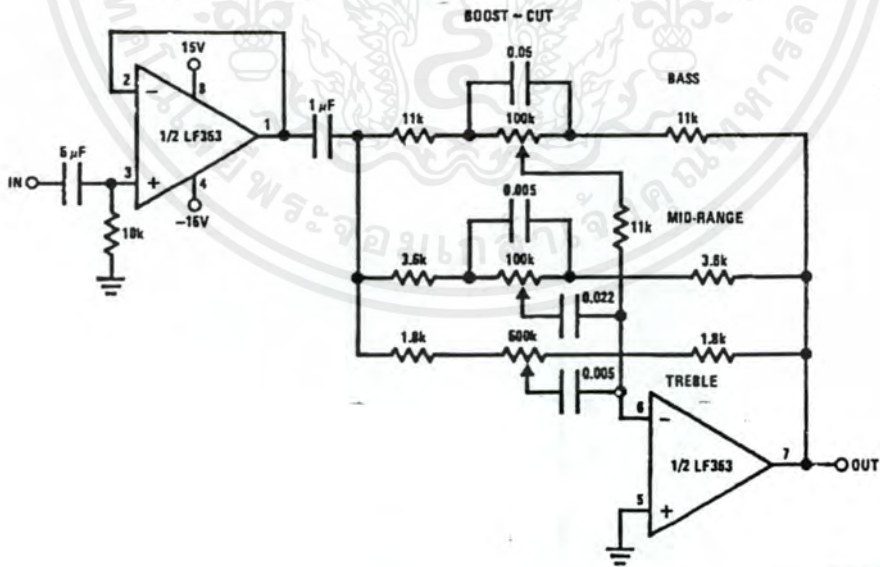
A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected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

Detailed Schematic



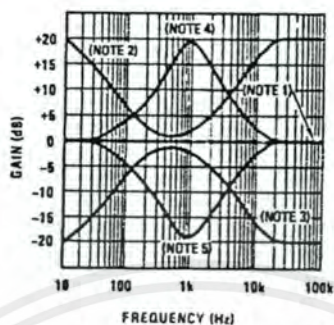
Typical Applications

Three-Band Active Tone Control



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

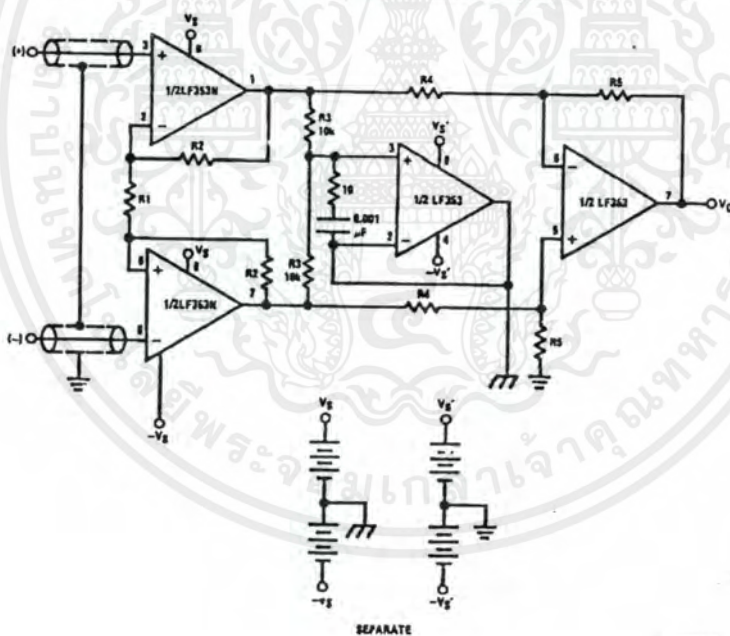
Typical Applications (Continued)



DS005648-40

- Note 1: All controls flat.
- Note 2: Bass and treble boost, mid flat.
- Note 3: Bass and treble cut, mid flat.
- Note 4: Mid boost, bass and treble flat.
- Note 5: Mid cut, bass and treble flat.
- All potentiometers are linear taper
- Use the LF347 Quad for stereo applications

Improved CMRR Instrumentation Amplifier



DS005648-41

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

⏏ and ⏏ are separate isolated grounds

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

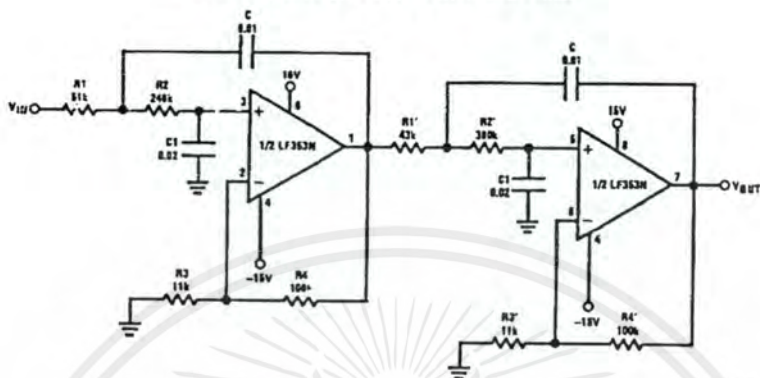
With $A_{VT} = 1400$, resistor matching = 0.01%: CMRR = 136 dB

- Very high input impedance
- Super high CMRR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

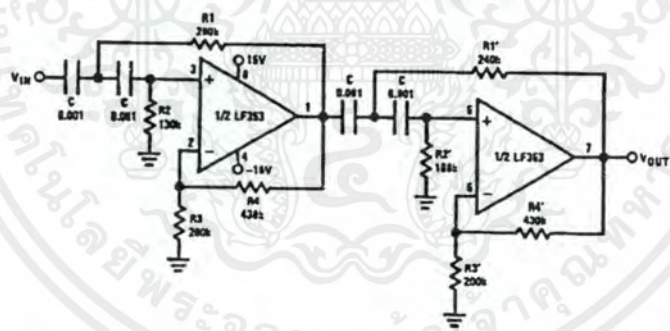
Fourth Order Low Pass Butterworth Filter



DS705649-42

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

Fourth Order High Pass Butterworth Filter



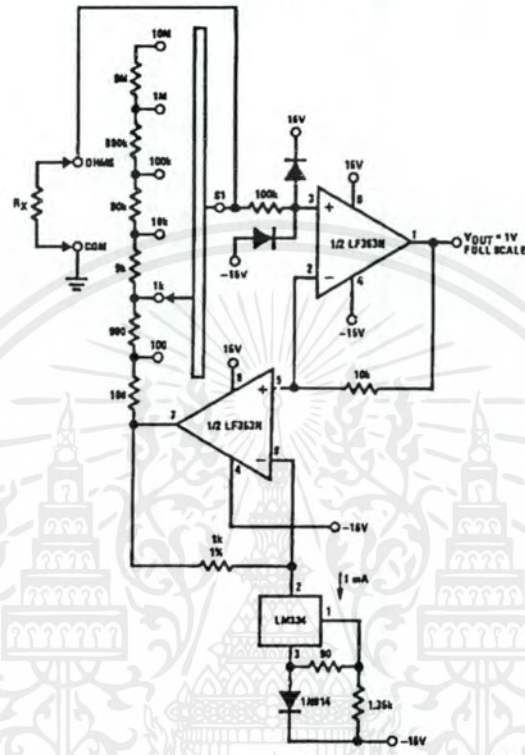
DS005648-43

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Ohms to Volts Converter



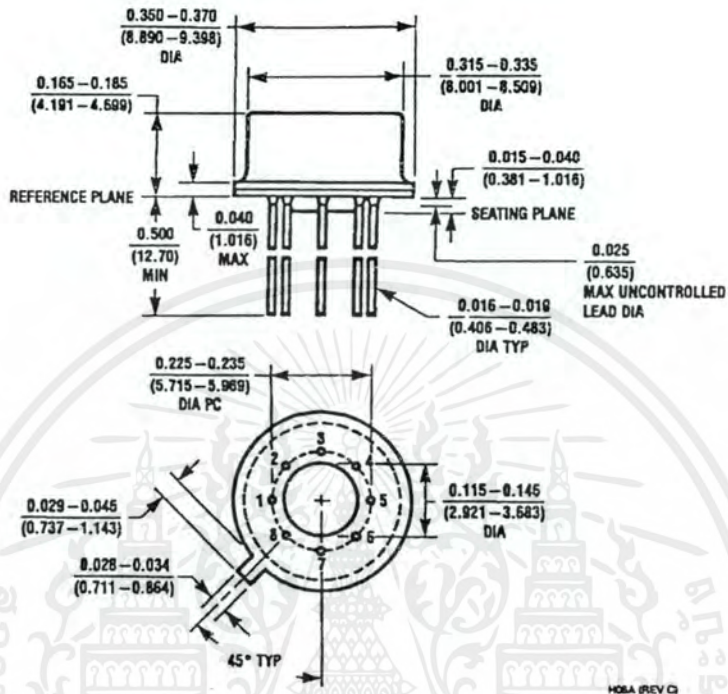
DS005648-44

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

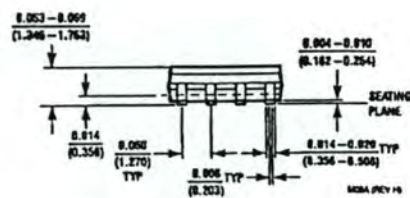
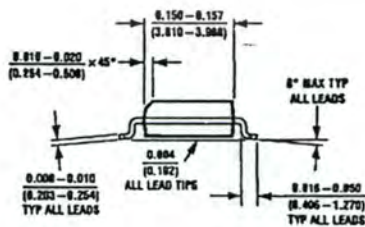
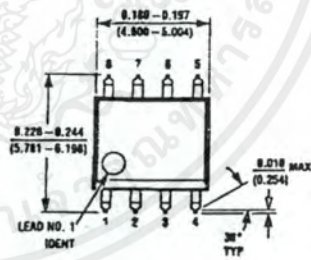
Where R_{LADDER} is the resistance from switch S1 pole to pin 7 of the LF353.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



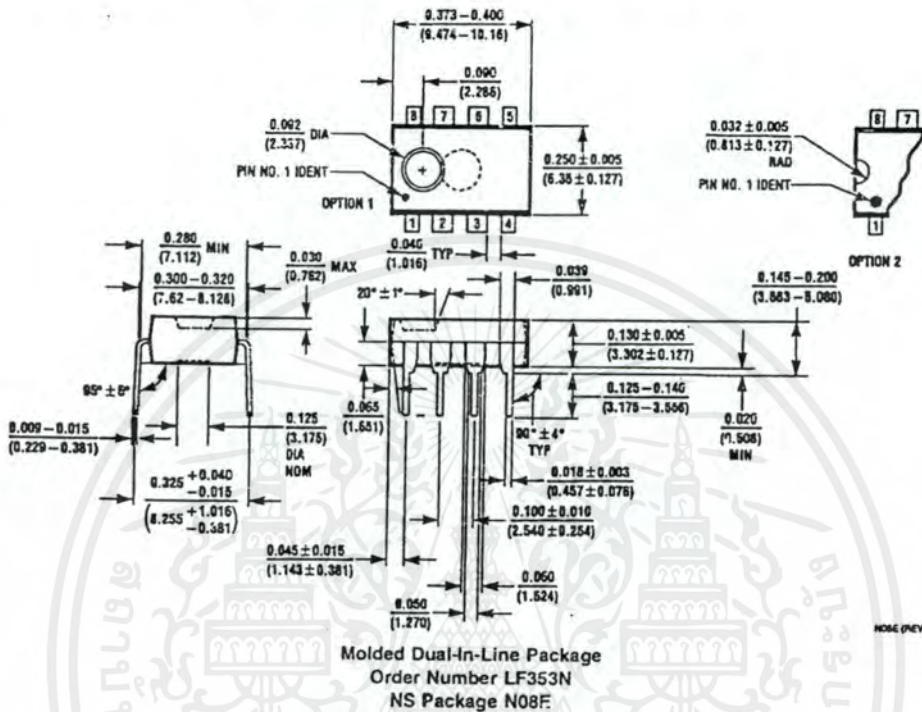
Metal Can Package (H)
Order Number LF353H
NS Package Number H08A



Order Number LF353M
NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

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

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

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

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

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

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

www.national.com

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้