

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค  
ACTIVE CROSSOVER NETWORK CAD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....

เลขทะเบียน..... 36840

วัน, เดือน, ปี..... 29 ส.ค. 2543

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
หากพบการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ACTIVE CROSSOVER NETWORK CAD

Mr. ANUCHIT THIPTANASUAN

Mr. ALONGKORN SUPHANPAYAK

**Project Report Submitted in Partial Fulfillment of the requirement**

**For the Bachelor's Degree**

**Department of Industrial Technology**

**Faculty of Engineering**

**King Mongkul's institute of Technology Ladkrabang**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เนทเวอร์ค  
Active Crossover Network CAD

โดย

นายอนุชิต ทิพย์ธเนศวร  
นายอลงกรณ์ สุพรรณพยัคฆ์

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
นับปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( )

.....กรรมการ

( )

.....กรรมการ

( )

.....กรรมการ

( )

.....กรรมการ

( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Project Report

ACTIVE CROSSOVER NETWORK CAD

By

Mr. ANUCHIT THIPTANASUAN  
Mr. ALONGKORN SUPHANPAYAK

Department

Department of Industrial Technology

Advisor

Asst. Prof. UTHAI SRITHEERAVIROJANA

Accepted by the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang in partial Fulfillment for the Bachelor's degree

Project Report Committee

.....Chairman

( )

.....Member

( )

.....Member

( )

.....Member

( )

.....Member

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค  
ACTIVE CROSSOVER NETWORK CAD

โดย

นายอนุชิต ทิพย์ธเนศวร  
นายอลงกรณ์ สุพรรณพยัคฆ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยใช้ เคลไฟ และ โปรแกรมเมทแลป, โปรแกรม Pspice ช่วยในการเขียนโปรแกรมและจำลองผลการออกแบบ โดยกำหนดกำหนดรูปแบบวงจรกรองให้เลือก 2 แบบ คือวงจรลิ่งค์วีรซ์ไลต์และ วงจรขุดร่าสเพียริคัลเงินเนอร์ไลซเบสเสด สามารถเลือกจุดตัดความถี่ได้ทั้ง 2 ทางหรือ 3 ทาง และเลือกความลาดชันได้ 2 ระดับคือ 12db/ออกเตฟ และ 24dB/ ออกเตฟ

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้ทำการสร้างเครื่องแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค โดยเลือกใช้วงจรลิ่งค์วีรซ์ไลต์แบบ 2 ทาง ความชัน 24dB/ออกเตฟ เพื่อเป็นการทดสอบผลที่ได้ในทางปฏิบัติ และวัดผลการทดลองด้วยเครื่องออดิโออานาไลเซอร์. Am700

## ACTIVE CROSSOVER NETWORK CAD

By

Mr. ANUCHIT THIPTANASUAN  
Mr. ALONGKORN SUPHANPAYAK

Advisor

Asst. Prof. UTHAI SRITHEERAVIROJANA

### ABSTRACT

This project present an Active Crossover Network Programming using Delphi , MATLAB and Pspice to simulate the designing result. There are two of standard circuit configuration ,“Linkwitz-Riley” and “Transitional Ultraspherical-Generalized Bessel Polynomail (T.U.G)”. The crossover frequency can be selected by two way or three way and the frequency cut off slop by 12dB/octave or 24dB/octave

For the experiment we also construct an active crossover network circuit by selected three way crossover frequency of Linkwitz-Riley configuration ,slop 24dB/octave. The result of an experiment are measured by Audio Analyzer AM700

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ดีทั้งด้านทฤษฎี ข้อมูลต่างๆ การปฏิบัติและองค์ประกอบอื่นอีกมากมาย พร้อมทั้งคำแนะนำ และความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาทางด้านเทคนิคต่างๆ ตลอดจนความร่วมมือของบุคคลหลายๆท่าน

ขอขอบคุณ ผศ. อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ รศ.ดร. กนก เจริญระพงค์เวช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชาและการความรู้ ตลอดจนการให้คำแนะนำ การให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องมืออุปกรณ์และห้องปฏิบัติการในการทำโครงการ และให้คำปรึกษา ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้คำชี้แนะ และการช่วยเหลือในทุกเรื่องจนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

นายอนุชิต ทิพย์เนศวร

นายอลงกรณ์ สุพรรณพยัคฆ์

## บทนำ

โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เนทเวอร์ค ชุดนี้ออกแบบมาสำหรับผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้งานแทนการคำนวณด้วยทฤษฎี โดยผู้ใช้งานสามารถทำตามขั้นตอนต่างๆในการใช้โปรแกรมของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ เนื้อหาจะเริ่มจากทฤษฎีในการออกแบบ การออกแบบโปรแกรม และการใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมตัวนี้ ผู้ใช้ควรจะทำความเข้าใจกับทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบให้เข้าใจ เพราะจะเป็นแนวทางที่จะเข้าใจเพื่อใช้ในการสร้างโปรแกรม หลังจากเข้าใจในส่วนของทฤษฎีแล้ว ก็จะเป็นการสะดวกที่ทำให้การสร้างโปรแกรมได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งในส่วนของโปรแกรมได้ใช้โปรแกรม Delphiมาทำการสร้าง รวมถึงการใช้โปรแกรม Microsim53 มาทำการวิเคราะห์สัญญาณผลตอบสนองของวงจรที่ใช้ออกแบบ และในส่วนของโปรแกรม Delphi สามารถที่ link ไปยังโปรแกรม Microsim53 ได้ เพราะฉะนั้นผู้ใช้ควรจะมีความรู้ในส่วนของในส่วนของโปรแกรม Delphi และ Microsim53 อยู่บ้าง เพื่อความเข้าใจในส่วนของโปรแกรมช่วยออกแบบวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เนทเวอร์ค ได้ดียิ่งขึ้น

ด้วยการนำเสนอข้างต้นนี้ คณะผู้จัดทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เนทเวอร์ค พอจะเป็นแนวทางที่ใช้ในการออกแบบ โปรแกรมตัวนี้ได้ไม่ยากลำบาก และผู้ใช้งานสามารถนำโปรแกรมไปใช้ออกแบบวงจรได้จริง ซึ่งเป็นการประหยัดเวลาได้มาก และสะดวกสำหรับบุคคลที่ต้องการสร้างวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เนทเวอร์ค

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทนำ	ง
บทที่ 1 ทฤษฎีของลิงควิตซ์ไรเลย์(Theory of Linkwitz-Riley)	1
-วงจรกรองความถี่ที่มีเฟสคงที่และความชันสูงด้วยTime Delay	1
-วงจรคอสโอเวอร์ธรรมดาทั่วไป	2
-แนวความคิดในการสร้างวงจร Active Phase Linear Cross-over Network	5
-ความราบเรียบทางเฟส(Phase Linearity) กับรูปแบบของวงจร	5
-หลักของระบบ 2 ทาง	5
-หลักของระบบ 3 ทาง	6
-วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านตลอดหรือเฟสชิฟติง(All pass filter or shifting)	7
บทที่ 2 ทฤษฎีของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบทรานซิชันเนลอูลตราสเฟียรีคัล และเงินเนอรัไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล (Transition Ultraspherical-Generalized Bessel Polynomail , T.U.G)	10
-วงจรกรองความถี่ต่ำแบบอูลตราสเฟียรีคัล โพลีโนเมียล	10
-วิธีการหาค่าโพลของอูลตราสเฟียรีคัล	12
-คุณสมบัติของเงินเนอรัไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล (Generalized Bessel Polynomail)	14
-วิธีการหาค่าโพลของเงินเนอรัไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล	14
-การทรานซิชันกันระหว่างอูลตราสเฟียรีคัลและเงินเนอรัไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล	16
-การนอร์มอลไลซ์ทางขนาด	17
-การนอร์มอลไลซ์ทางความถี่	18
บทที่ 3 การสร้างวงจร	19
-การสร้างวงจรลิงควิตซ์ไรเลย์	19
-การสร้างวงจรอูลตราสเฟียรีคัลเงินเนอรัไลซ์เบสเสล	19
บทที่ 4 การใช้โปรแกรม Pspice และ Probe มาใช้ในการซิมูเลทและพลอตกราฟ	22
บทที่ 5 การใช้งานโปรแกรม	26
-การติดตั้งโปรแกรม	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การใช้งาน	26
-การใช้โปรแกรม Porbe	28
บทที่ 6 แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม	31
-การหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรอุตรัสต์เฟิรคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสเสลโพลิโนเมียล โดยการเปลี่ยนค่าอัลฟา	31
-การหาค่าโพลของอุตรัสต์เฟิรคัล	31
-การหาค่าโพลของเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล	32
-การเลือกโพลมาทรานซิชั่น	32
-การทรานซิชั่นกันระหว่างอุตรัสต์เฟิรคัลและเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล	32
-การหาค่าโพลโพลิโนเมียลของทรานซิชั่นอุตรัสต์เฟิรคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล	33
-การนอร์มอลไลซ์	34
บทที่ 7 ผลการทดลอง	36
-ผลการทดลองจากการใช้เครื่องออกซิโอนาไลเซอร์ (Audio Analyzer)	36
-ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Pspice	40
-ผลการเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรม Excel	45
-สรุปผลการทดลอง	47
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
-การเขียนโปรแกรม	
-โปรแกรมเมทแลป	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 4 ชนิด 3 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 4 ชนิด 2 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 2 ชนิด 3 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 2 ชนิด 2 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 2 ชนิด 3 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 2 ชนิด 2 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 2 ชนิด 3 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 2 ชนิด 2 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 1 ชนิด 3 ทาง	
-รูปวงจรถึงค้วีรชี่ไรเลย์อันดับ 1 ชนิด 2 ทาง	
-รูปถ่ายวงจรของถึงค้วีรชี่ไรเลย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 1 รูปที่ 1.1 ระบบ2ทาง	5
รูปที่ 1.2 ระบบ3ทาง	7
รูปที่ 1.3 All Pass Filter	8
บทที่ 5 รูปที่ 5.1 แสดง โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค	26
รูปที่ 5.2 แสดงการใส่ค่าความถี่กลาง,อัลฟายู,อัลฟายีและแสดงค่าอุปกรณ์ ที่ใช้ในการออกแบบ	27
รูปที่ 5.3 แสดงเมื่อคลิกที่ Open Schematic	28
รูปที่ 5.4 แสดงฟอร์มของโปรแกรม Probe	28
รูปที่ 5.5 แสดงการเลือกตำแหน่งที่จะวัดผลตอบสนองความถี่	29
รูปที่ 5.6 แสดงผลของการวัดผลตอบสนองความถี่	29
รูปที่ 5.7 แสดงการเลือกตำแหน่งที่จะวัดผลตอบสนองทางเฟส	30
รูปที่ 5.8 แสดงผลของการวัดผลตอบสนองทางเฟส	30
บทที่ 6 รูปที่ 6.1 แสดงการหาค่าโพลของอูดครัสเฟียริคัล	31
รูปที่ 6.2 แสดงการหาค่าโพลของเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล	32
รูปที่ 6.3 แสดงค่าโพลที่ได้จากการทรานซิชั่นกันระหว่างอูดครัสเฟียริคัล และเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล	33
รูปที่ 6.4 แสดงการหาค่าโพลโนเมียลของทรานซิชั่นอูดครัสเฟียริคัล เงินเนอร์ไลซ์เบสเสล	34
รูปที่ 6.5 แสดงการหาค่าโพลโนเมียลของทรานซิชั่นอูดครัสเฟียริคัล เงินเนอร์ไลซ์เบสเสลที่ผ่านการนอร์มอลไลซ์	35
บทที่ 7 รูปที่ 7.1 กราฟตอบสนองความถี่โลพาสของวงจรถึงคัวิธซ์ไรเลย์	36
รูปที่ 7.2 กราฟตอบสนองความถี่แบนด์พาสของวงจรถึงคัวิธซ์ไรเลย์	37
รูปที่ 7.3 กราฟตอบสนองความถี่ไฮพาสของวงจรถึงคัวิธซ์ไรเลย์	38
รูปที่ 7.4 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่คัคตอฝของวงจรถึงคัวิธซ์ไรเลย์	39
รูปที่ 7.5 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรถึงคัวิธซ์ไรเลย์จากเครื่อง ออดิโออนาไลเซอร์	39
รูปที่ 7.6 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่คัคตอฝของวงจรถึงคัวิธซ์ไรเลย์จาก โปรแกรม Pspice	40

	หน้า
รูปที่ 7.7 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรลิ่งค์วิเศษไโรเลย์จาก โปรแกรม Pspice	40
รูปที่ 7.8 แสดงผลของวงจรลิ่งค์วิเศษไโรเลย์ เมื่อนำมา Cross กัน โดยใช้ โปรแกรม Pspice	41
รูปที่ 7.9 $\alpha_V = 0.05 \quad \alpha_G = 2.0$	41
รูปที่ 7.10 $\alpha_V = 0.05 \quad \alpha_G = 3.0$	41
รูปที่ 7.11 $\alpha_V = 0.05 \quad \alpha_G = 4.0$	42
รูปที่ 7.12 $\alpha_V = 0.10 \quad \alpha_G = 2.0$	42
รูปที่ 7.13 $\alpha_V = 0.10 \quad \alpha_G = 3.0$	42
รูปที่ 7.14 $\alpha_V = 0.10 \quad \alpha_G = 4.0$	42
รูปที่ 7.15 $\alpha_V = 0.15 \quad \alpha_G = 2.0$	42
รูปที่ 7.16 $\alpha_V = 0.15 \quad \alpha_G = 3.0$	42
รูปที่ 7.17 $\alpha_V = 0.15 \quad \alpha_G = 4.0$	43
รูปที่ 7.18 $\alpha_V = 0.20 \quad \alpha_G = 2.0$	43
รูปที่ 7.19 $\alpha_V = 0.20 \quad \alpha_G = 3.0$	43
รูปที่ 7.20 $\alpha_V = 0.20 \quad \alpha_G = 4.0$	43
รูปที่ 7.21 $\alpha_V = 0.25 \quad \alpha_G = 2.0$	43
รูปที่ 7.22 $\alpha_V = 0.25 \quad \alpha_G = 3.0$	43
รูปที่ 7.23 $\alpha_V = 0.25 \quad \alpha_G = 4.0$	44
รูปที่ 7.24 $\alpha_V = 0.30 \quad \alpha_G = 2.0$	44
รูปที่ 7.25 $\alpha_V = 0.30 \quad \alpha_G = 3.0$	44
รูปที่ 7.26 $\alpha_V = 0.30 \quad \alpha_G = 4.0$	44
รูปที่ 7.27 การเปรียบเทียบผลของ LPF จากเครื่องออกดิไอออนนาไลเซอร์ กับโปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel	45
รูปที่ 7.27 การเปรียบเทียบผลของ BPF จากเครื่องออกดิไอออนนาไลเซอร์ กับโปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel	45
รูปที่ 7.27 การเปรียบเทียบผลของ HPF จากเครื่องออกดิไอออนนาไลเซอร์ กับโปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel	45

	หน้า
รูปที่ 7.30 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่ตัดออฟของวงจรลิ่งค์วิเศษไร้เลย์ จากเครื่องออกดีไออณาไลเซอร์โดยใช้โปรแกรม Excel	46
รูปที่ 7.31 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่ตัดออฟของวงจรลิ่งค์วิเศษไร้เลย์ จากโปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel	46



## สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 1 ตารางที่ 1.1 Normalized butterworth polynomials $B_K(s_N)$ ของอันดับ 1 ถึง 6	4
ตารางที่ 1.2 Normalized Linkwitz – Riley polynomials $L_{2K}(s_N) \equiv (B_K(s_N))^2$ ของอันดับที่ 2 ถึง 6	4
บทที่ 2 ตารางที่ 2.1 แสดงค่าอัตรารีดเพียริคัลโพลีโนเมียล	12
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าโพลของอัตรารีดเพียริคัล อันดับที่ 4	14
ตารางที่ 2.3 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ของเงินเนอร์ไลซ์เบสเซล โพลีโนเมียลต่อจำนวนอันดับ	15
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าโพลของเงินเนอร์ไลซ์เบสเซลโพลีโนเมียล อันดับที่ 4	16
ตารางที่ 2.5 แสดงโพลีโนเมียลของ T.U.G Low-Pass Filter เมื่อกำหนดค่า $\alpha_u = 0.05, \alpha_G = 3.0$ และ normalized ที่จุด $-3\text{dB}$	18
บทที่ 7 ตารางที่ 7.1 แสดงค่าโพลของวงจรถึงคี่วีทซ์ไรเลย์	36
ตารางที่ 7.2 แสดงค่าแบนด์พาสของวงจรถึงคี่ไรเลย์	37
ตารางที่ 7.3 แสดงค่าไฮพาสของวงจรถึงคี่วีทซ์ไรเลย์	38

## บทที่ 1

### ทฤษฎีของลิงควิตซ์ไรเลย์ (Theory of Linkwitz-Riley)

วงจรรองความถี่ที่มีเฟสคงที่และความชันสูงด้วย Time Delay

วงจรรอสโอเวอร์เนทเวอร์คที่มีคุณภาพดีนั้น จะประกอบไปด้วย

1) ขนาด (Magnitude) ในการรวมกันของโลพาสและไฮพาส จะต้องราบเรียบดังสมการ  $M_S(\omega) = |H_L(j\omega) + H_H(j\omega)| = 1$  เพื่อที่จะควบคุมเสียงที่เอาท์พุทให้คงที่

2) อัตราการตัดออฟ (Cut-off Rate) จะต้องสูงชันมากพอ ทั้งในวงจรโลพาส และไฮพาส ฟิลเตอร์ (Low-pass and High-pass Filter)  $H_L(j\omega)$  และ  $H_H(j\omega)$  ในย่านสตัดอปแบนด์ (Stop band)

3) การตอบสนองของขั้วที่ยอมรับได้ ในการรวมเอาท์พุท (Output) ทั้งสอง ปกติต้องทำให้เกิดการอินเฟส (Inphase) กัน ทั้งโลพาสและไฮพาส ( $\phi_L(\omega) + \phi_H(\omega)$ )

4) การตอบสนองทางเฟส (Phase response) ในการรวมเอาท์พุททั้งสอง  $\phi_S(\omega) = \arg(H_L(j\omega) + H_H(j\omega))$  และลักษณะที่เราต้องการมากที่สุดจะต้องให้เฟสเป็นแนวตรง (Phase linearity)  $\phi_S(\omega) = -\tau\omega$  ซึ่งค่าของ  $\tau$  จะเทียบเท่ากับค่าของความล่าช้าของเวลา (Time Delay) ในการเชื่อมวงจร

ต่อจากนั้นเราจะใช้ค่า  $H_L(s)$  และ  $H_H(s)$  แสดงค่าของทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรโลพาสและไฮพาสฟิลเตอร์ตามลำดับ ส่วนในรูปแบบของความถี่  $s = \sigma + j\omega$  ซึ่ง  $\omega = 2\pi f$  เป็นความถี่เชิงเรเดียน (Radian) ส่วนในรูปแบบของโพลาร์ (Polar Form) เราจะเขียนเป็นสมการของ

$$H(j\omega) = M(\omega)e^{j\phi(\omega)} \quad (1.1)$$

ซึ่งค่า  $M(\omega)$  เป็นขนาด และ  $\phi(\omega)$  เป็นเฟสของ  $H(j\omega)$  ซึ่งตัวห้อย L หรือ H จะแสดงถึงโลพาสและไฮพาสฟังก์ชัน ตามลำดับ ส่วนตัวห้อย S จะแสดงถึงการเชื่อม ซิสเต็มฟังก์ชัน (System Function)

ความต้องการในขนาดที่ราบเรียบเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งจะกำหนดโดยความรู้สึกรับรู้ในการได้ยินเสียงของมนุษย์ และสิ่งนี้เป็นความต้องการพื้นฐานในการทำวงจรรอสโอเวอร์ที่จะให้ได้คุณภาพที่ดี ในการออกแบบวงจรรอสโอเวอร์ เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมี อัตราความชันของ คัทออฟดีพ การตอบสนองของขั้ว (Pole Response) การตอบสนองทางเฟส อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้นยังมีข้อเสียอยู่ ในการพิจารณาของเฟสลิเนียร์ หลักการขั้นพื้นฐานจะตอบสนองต่อเครื่องดนตรีต่างๆนั้นยังไม่กระจ่างดีพอ แต่สิ่งเหล่านี้เหมาะที่จะกล่าวถึง สัญญาณที่เป็นชนิดออลพาสเฟสคาร์แรกเทอร์ริสติก

ค (All Pass Phase Characteristic) ด้วยครอสโอเวอร์ธรรมดาได้เป็นที่มียุทธศาสตร์มากในการที่รับรู้ โครงสร้างของวงจรครอสโอเวอร์ชนิดใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรครอสโอเวอร์ที่สามารถสร้างขึ้น ได้จริงในห้องทดลอง ที่มีค่าโงมาตรฐานอยู่ ซึ่งเราพบว่าวงจรครอสโอเวอร์ จะต้องพิถีพิถัน ในเรื่องความราบเรียบ ในเชิงของขนาดและอัตราการคัทออฟ และการตอบสนองทางเฟส และจะต้องปรับปรุงให้ดีขึ้นในด้านการตอบสนองของขั้วและสิ่งที่เป็นจุดมุ่งหมายที่ว่า ทำไมต้องมีการนำ เสนอตระกูลวงจรครอสโอเวอร์ที่มีเฟสคงที่ ความชันสูงด้วยความล่าช้าของเวลานี้ สิ่งแรกที่เราจะ อย่างคร่าวๆ เกี่ยวกับวงจรครอสโอเวอร์ธรรมดาสามัญทั่วไปพบว่าวงจรเหล่านี้ต้องการ อัตราการ คัทออฟที่มีความชันสูง การตอบสนองต่อขั้วดีเยี่ยม และการตอบสนองทางเฟสเพียงพอที่จะยอมรับ ได้ และเราจะไม่พิจารณาถึง วงจรอันดับสองชนิดบัตเตอร์เวิร์ททั้งโลพาสและไฮพาสฟิลเตอร์ (Second Order Low and High Pass Butterworth Filter) ซึ่งไม่พบขนาดที่ราบเรียบ ตามความ ต้องการในหัวข้อที่ 1

วงจรครอสโอเวอร์ธรรมดาทั่วไป

วงจรครอสโอเวอร์เบื้องต้นที่เป็นอันดับหนึ่งทั้ง โลพาสและไฮพาสฟิลเตอร์ ประกอบด้วย ความถี่เรเดียน  $\omega_0$  กล่าวคือ

$$H_L = \frac{\omega_0}{\omega_0 + s} = \frac{1}{1 + s_n} \quad (1.2)$$

$$H_H = \frac{s}{\omega_0 + s} = \frac{s_n}{1 + s_n} \quad (1.3)$$

$$H_s = H_L \pm H_H = \frac{1 + s_n}{1 + s_n} = \begin{cases} 1 & \text{inphase connection} \\ \frac{1 - s_n}{1 + s_n} & \text{out-off-phase connection} \end{cases} \quad (1.4)$$

แบบเฟสที่ไม่ตรงกัน แบบอันดับหนึ่งธรรมดา ๆ โลพาสและไฮพาสจะอินเฟส (Inphase) กันทุก ๆ ที่ (ซึ่งจะลดทอนขั้วให้เข้าใกล้  $\omega_0$ ) และจะได้ความชัน 20 dB/decade ( 6 dB/octave) ซึ่ง ไม่เพียงพอในการเบี่ยงเบนของตัวจับความถี่สูง ภายใต้ความถี่ครอสโอเวอร์ เราพลอตขนาด  $M_L(\omega_n)$  และ  $M_H(\omega_n)$  และ  $\phi_L(\omega_n)$  และ  $\phi_H(\omega_n)$  ของ  $H_L$  และ  $H_H$  ซึ่งแสดงในสมการใน รูปแบบของความถี่ เรเดียน  $\omega_n = \omega / \omega_0$

ในวงจรครอสโอเวอร์ที่มีความชันสูง การจัดรูปแบบของสมการแบบบัตเตอร์เวิร์ทสำหรับ ออเคอร์คี่ดังนี้

$$H_L = \frac{1}{B_{2r+1}(s_n)} \quad (1.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_H = \frac{(-1)^r s_n^{2r+1}}{B_{2r+1}(s_n)} \quad (1.6)$$

มีอันดับ  $(2r+1)$ ,  $r=0,1,2,\dots$ , ซึ่งมีขนาดที่ราบเรียบ และอัตราการโรลออฟ (Roll-off rate) ประมาณ  $(2r+1)*20$  dB/decade แต่สำหรับเฟสทั้งหมดที่ผ่านได้สำหรับอันดับที่น้อยสุดของ  $r$  และเฟสระหว่าง  $H_L$  และ  $H_H$  มากเราจะแสดงด้วย  $B_k(s_n)$  ซึ่งเป็นอันดับที่  $K$  ของบัตเตอร์เวิร์ทโพลิโนเมียล (Butterworth polynomial) ตัวที่ให้ในตารางที่ 1 สำหรับ  $K=1,\dots,6$  ซึ่งจะใช้แสดงถึงจุดประสงค์ในเนื้อหาเรื่องนี้ ฟิเตอร์ที่อันดับสูงขึ้น ๆ ไปนี้ ต้องการคือขนาดที่ราบเรียบและอัตราการทอออฟที่ชัน แต่การยอมรับการตอบสนองของเฟส จะลดลงเมื่ออันดับเพิ่มขึ้น

ได้มีการคิดค้นนอมอลไลซ์ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Normalized transfer function) แบบลิงค์วิเศษไรเลย์ฟิเตอร์ขึ้นมา ซึ่งได้ทำเป็นผลสำเร็จแล้ว ฟิเตอร์เหล่านี้จะใช้ ส่วนของโลพาสและไฮพาส แต่ละส่วนประกอบไปด้วยบัตเตอร์เวิร์ทสองตัวต่อคาสเคด (Cascade) กันอยู่ ยกตัวอย่างของลิงค์วิเศษไรเลย์อันดับ 2 คือ

$$H_L = \frac{1}{(B_r(s_n))^2} = \frac{1}{L_{2r}(s_n)} \quad (1.7)$$

$$H_H = \frac{(-1)^r s_n^{2r}}{(B_r(s_n))^2} = \frac{(-1)^r s_n^{2r}}{L_{2r}(s_n)} \quad (1.8)$$

$r = 1,2,3,\dots$  รูปแบบของลิงค์วิเศษไรเลย์จะแสดงด้วย  $L_{2r}(s_n)$  ซึ่งเป็นสมการของบัตเตอร์เวิร์ทอันดับที่  $r$  ยกกำลังสอง

ลิงค์วิเศษไรเลย์โพลิโนเมียล ที่มีอันดับ 2,4 และ 6 แสดงในตารางที่ 3.2 ฟิเตอร์อันดับคู่เหล่านี้มีคุณสมบัติ  $H_L$  และ  $H_H$  ทุกอินเฟสกัน และมีค่าที่ดีที่สุด ของจุดกลาง (Polar response) ซึ่งความชันคือทอออฟ 40 dB/decade

$$H_s = H_L \pm H_H = \frac{B_r(-s_n)}{B_r(s_n)} \quad (1.9)$$

$$B_1(s_n) = 1 + s_n$$

$$B_2(s_n) = 1 + \sqrt{2}s_n + s_n^2$$

$$B_3(s_n) = 1 + 2s_n + 2s_n^2 + s_n^3$$

$$= (1 + s_n)(1 + s_n + s_n^2)$$

$$B_4(s_n) = 1 + 2.613s_n + 3.414s_n^2 + 2.613s_n^3 + s_n^4$$

$$= (1 + 1.848s_n + s_n^2)(1 + 0.7654s_n + s_n^2)$$

$$B_5(s_n) = 1 + 3.236s_n + 5.236s_n^2 + 5.236s_n^3 + 3.236s_n^4 + s_n^5$$

$$= (1 + s_n)(1 + 1.618s_n + s_n^2)(1 + 0.6180s_n + s_n^2)$$

$$B_6(s_n) = 1 + 3.864s_n + 7.464s_n^2 + 9.142s_n^3 + 7.464s_n^4 + 3.864s_n^5 + s_n^6$$

To denormalizes  $s_n = s / \omega_0$   $T_g(0) = b_1 / \omega_0$

ซึ่ง  $\omega_0 =$  nominal crossover radian frequency ( low – pass filter –3 dB point)

$b_1 =$  coefficient of  $s_n$  in unfactorized polynomial

ตารางที่ 1.1 Normalized butterworth polynomials  $B_K(s_N)$  ของอันดับ 1 ถึง 6

$$L_2(s_n) = 1 + 2s_n + s_n^2$$

$$L_4(s_n) = 1 + 2\sqrt{2}s_n + 4s_n^2 + 2\sqrt{2}s_n^3 + s_n^4$$

$$= (1 + \sqrt{2}s_n + s_n^2)^2$$

$$L_6(s_n) = 1 + 4s_n + 8s_n^2 + 10s_n^3 + 8s_n^4 + 5s_n^5 + s_n^6$$

$$= (1 + s_n)^2(1 + s_n + s_n^2)^2$$

To denormalizes  $s_n = s / \omega_0$   $T_g(0) = b_1 / \omega_0$

ซึ่ง  $\omega_0 =$  nominal crossover radian frequency ( low – pass filter –3 dB point)

$b_1 =$  coefficient of  $s_n$  in unfactorized polynomial

ตารางที่ 1.2 Normalized Linkwitz – Riley polynomials  $L_{2K}(s_N) \equiv (B_K(s_N))^2$

ของอันดับที่ 2 ถึง 6

แนวความคิดของการแบ่งย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงของการตอบสนองของเฟส ได้แสดงเป็นตัวอย่างแล้วด้วย ลิงควีทซ์ ไรเลย์ การจัดวางตามสมการลิงควีทซ์ ไรเลย์แสดงถึงสิ่งที่ดีที่สุดใน การประนีประนอม และการที่สมควรที่จะได้รับคุณภาพที่สูงของลำโพง

แนวความคิดในการสร้างวงจร Active Phase Linear Cross-over Network

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค (Active Croccover Network)

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค ซึ่งมักเกิดขึ้นกับวงจร 2 ทางหรือ 3 ทาง ซึ่งประกอบด้วยวงจร LPF, HPF BPF นั้นเกิดขึ้นจากความล่าช้าทางเวลาของวงจร โดยที่วงจร LPF ทำให้สัญญาณช้าลง ส่วน HPF จะทำให้สัญญาณเร็วขึ้น อันจะเป็นผลให้เกิดปัญหาที่วงจร แอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คที่จุดตัด คือ

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

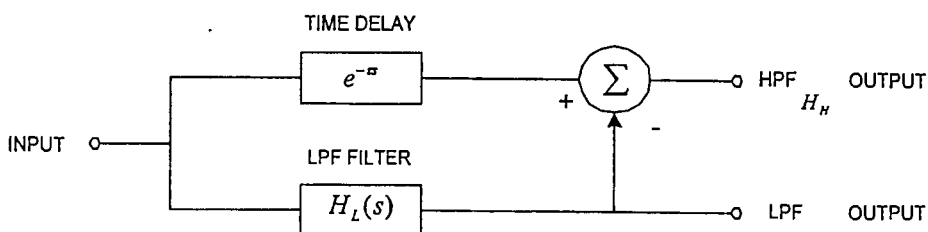
ในบทความของสแตนเลย์ พี ลิปชิทซ์และจอห์นแวนเดอร์คอย(Stanley Lipshiz and John Van Derlooy) เสนอแนวทางเพื่อแก้ปัญหาจากข้อบกพร่องดังกล่าว โดยใช้วงจรที่เรียกว่าเฟสลิเนียร์ครอส โอเวอร์เน็ตเวิร์ค(Phase Linear Cross-over Network)

การทำให้เฟสลิเนียร์ โดยใช้วงจร LPF ที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งสามารถทำความถี่สูงได้ในขณะ เดียวกัน ด้วยวิธีเพิ่มวงจรหน่วงเวลา(Time Delay Circuit) แล้วนำมาลบกันเข้าช่วย ถึงแม้วงจรหน่วง เวลา จะไม่สามารถทำความถี่ได้คงที่ตลอดย่านความถี่อย่างแน่แท้ แต่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ที่ช้ามาก ผลที่จะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของเฟส ระหว่างเอาต์พุทของสัญญาณทั้งสองโดย เฉพาะในย่านความถี่ที่จุดตัด (Cross-over Point)

ความราบเรียบทางเฟส(Phase Linearity) กับรูปแบบของวงจร

หลักของระบบ 2 ทาง

ตามรูปวงจร 2 ทาง วงจรหน่วงเวลา (Time Delay Circuit) เป็นวงจรที่สำคัญที่จะช่วยให้



รูปที่ 1.1 ระบบ 2 ทาง

ความราบเรียบทางเฟส (Phase Linearity) เมื่อนำสัญญาณทั้งสองมารวมกันเป็นลักษณะวงจรจะเป็นผลให้ได้ความถี่ 2 ทางตามต้องการ คือสัญญาณความถี่ต่ำ และสัญญาณความถี่สูง โดยที่วงจร LPF ในอันดับที่ 4 รับสัญญาณเข้า ผ่านสัญญาณความถี่ต่ำออกทางเอาต์พุท ขณะที่สัญญาณเข้าอีกด้านหนึ่งผ่านวงจรหน่วงเวลา ที่ออกแบบวงจรให้มีเฟส เดียวกับวงจร LPF และทำงานเป็นวงจรกรองความถี่ผ่านตลอด (All Pass Filter) เมื่อสัญญาณผ่านวงจรหน่วงเวลาสัญญาณรวมกันจะเหลือสัญญาณเป็นสัญญาณของ HPF ซึ่งมีเฟสเดียวกับวงจร LPF

สามารถที่จะเขียนออกมาให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\text{จาก } H_L(S) + H_H(S) = 1 \quad (1.10)$$

$$H_H(S) = 1 - H_L(S) \quad (1.11)$$

วงจรกรองความถี่ต่ำมีความชันสูง ซึ่งเราทราบว่าวงจรกรองความถี่ต่ำจะมีผลทำให้สัญญาณเกิดล่าช้า เราจึงทำการชดเชยสัญญาณเพื่อที่จะทำให้ผลรวมของวงจรมีค่าเท่ากับการชดเชยความล่าช้าของสัญญาณมาได้โดยใช้วงจรหน่วงเวลา หรือ วงจรกรองความถี่ผ่านทั้งหมดค่าของความล่าช้าของเวลาที่เรทำการชดเชย กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $e^{-s\tau}$  แทนลงในสมการ

$$H_H(S) = e^{-s\tau} - H_L(S) \quad (1.12)$$

เราจะได้วงจรกรองความถี่สูงผ่าน โดยการลบวงจรกรองความถี่ต่ำออกจากค่าความล่าช้าของเวลา ทำให้ได้ขนาดที่สมบูรณ์และเป็นเชิงเส้น

ค่าความล่าช้าทางเวลา (Time Delay)  $\tau$  ควรจะกำหนดให้เท่ากับ  $0 \text{ Hz}$  ค่าของเฟสและกรุปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านคือ

$$\tau = -\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\phi_L(\omega)}{\omega} = -\frac{d\phi_L(0)}{d\omega} \quad (1.13)$$

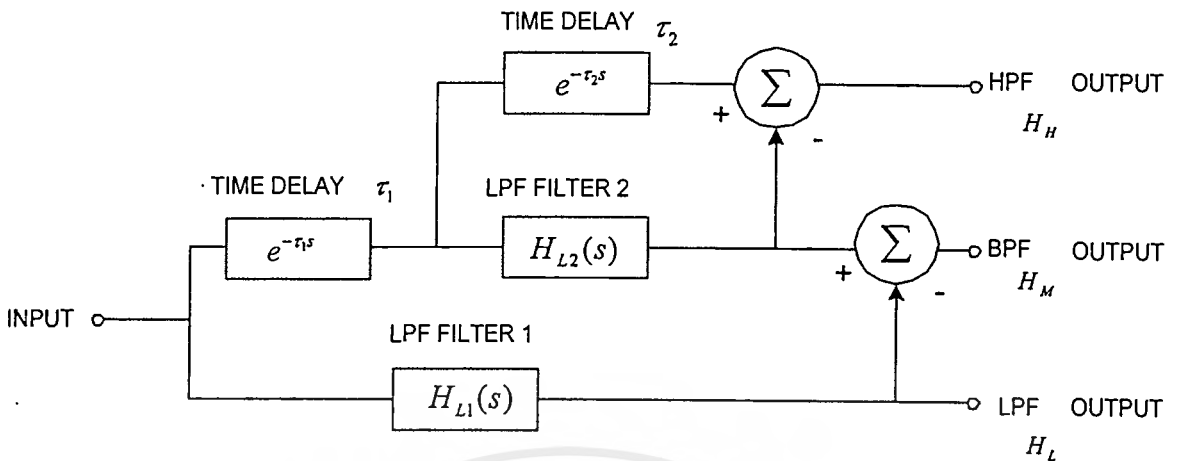
ที่ความล่าช้าทางเฟส (Phase Delay)  $\tau_p(\omega)$  และกรุปดีเลย์ (Group Delay)  $\tau_g(\omega)$  หาได้จาก

$$\tau_p(\omega) = -\frac{\phi(\omega)}{\omega} \quad (1.14)$$

$$\tau_g(\omega) = -\frac{d\phi(\omega)}{d\omega} \quad (1.15)$$

### หลักการของระบบ 3 ทาง

ในวงจร 3 ทางตามรูป ทำการออกแบบโดยการวางส่วน LPF เข้าที่ตรงกลางเพื่อต้องการให้ได้สัญญาณเสียงกลาง หรือ BPF วงจรนี้ต้องชดเชย โดยวงจรหน่วงเวลา ส่วนที่ 2 ดังนั้นในวงจร 3 ทาง  $Z_1$  เป็นตัวทำให้ความล่าช้าทางเวลาของ BPF มีความล่าช้าขึ้น ในขณะที่  $Z_2$  เป็นตัวทำให้ความล่าช้าทางเวลาของสัญญาณลักษณะ LPF ในช่วงความถี่กลาง



รูปที่ 1.2 ระบบ 3 ทาง

จากรูป เราทำการเพิ่มวงจร LPF เข้ามาอีก 1 ตัวเพื่อสร้างวงจรแบนด์พาส

$$\text{Low-pass} = H_L(s) = H_{L1}(s) \quad (1.16)$$

$$\text{Band-pass} = H_B(s) = e^{-\tau_1 s} * H_{L2}(s) - H_{L1}(s) \quad (1.17)$$

$$\text{High-pass} = H_H(s) = e^{-\tau_1 s} * [e^{-\tau_2 s} - H_{L2}(s)] \quad (1.18)$$

หลักการโดยทั่วไปก็จะเหมือนกับของระบบ 2 ทาง โดยที่จะต้องกำหนดค่าให้ความถี่ของ  $H_{L2}(s)$  จะมากกว่าของ  $H_{L1}(s)$  เราจะได้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมีความถี่คutoff เท่ากับความถี่ของวงจร  $H_{L1}(s)$  และจะได้วงจรกรองความถี่สูงผ่านมีความถี่คutoff เท่ากับความถี่ของวงจร  $H_{L2}(s)$  และจะวงจรกรองความถี่สูงผ่านเป็นช่วงมีความถี่คutoff เท่ากับความถี่ของวงจร  $H_{L2}(s) - H_{L1}(s)$

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านตลอดหรือเฟสชิฟติง (All pass filter or shifting)

เป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่งที่จะผ่านสัญญาณทุกความถี่เท่าๆกัน โดยไม่มีการลดทอนสัญญาณ ขณะเดียวกันจะเปลี่ยนหรือชิฟเฟสสัญญาณไปด้วย ความถี่ที่ชิฟไปเป็นแบบเนกกะติฟเทียบกับการหน่วงเวลาขณะที่สัญญาณผ่านฟิลเตอร์

ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชัน จะเป็นอัตราส่วนของ O/P โวลต์แดงต่อ I/P โวลต์แดง  $V_2 / V_1$  ที่  $\omega_0$  (หรือ  $H_z, f_0$ ) ถ้าเฟสชิฟเป็นจำนวนลบ เราจะได้  $\phi(\omega_0) = -\phi_0$  ดังนั้นที่  $\omega_0$  เฟสของอินพุต  $V_1$  จะมากกว่าเอาท์พุต  $V_2$  เป็นจำนวน  $\phi_0$  ดีกรี ดังนั้นถ้าดูเวฟฟอร์มทั้งสองตัวในช่วงเวลาเดียวกัน คลื่น I/P จะมาถึง จุดยอดหรือจุดต่ำสุด  $\phi_0$  ก่อนคลื่น O/P จะถึงจุดยอดหรือจุดต่ำสุด  $\phi_0$  เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นสัญญาณ I/P จะนำหน้าสัญญาณ O/P  $\phi_0$  ดีกรี ดังนั้นผลต่างของเวลาทั้งสองระหว่างจุดยอดหรือจุดต่ำสุด ของคลื่น I/P และนำหน้าจุดยอดหรือต่ำสุดของคลื่น O/P ที่แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองพล็อตบนแกนเวลาหรือไทม์ดีเลย์เหมือนว่าเฟสชิฟ  $-\phi_0$  เท่ากับเฟสชิฟ  $360^\circ - \phi_0$  ยกตัวอย่างถ้าคลื่น I/P นำหน้า O/P  $270^\circ$  ( $\phi = -\phi_0 = -270^\circ$ ) ดังนั้นเราจะเรียกว่า I/P นำหน้า  $-90^\circ$  ( $\phi = -\phi_0 = +90^\circ$ ) ซึ่งในกรณีนี้ O/P นำหน้า  $+90^\circ$

การตอบสนองความถี่ของทรานเฟอร์ฟังก์ชันของออลพาสฟิลเตอร์ทางอุดมคติจะคงที่ตลอดทุกความถี่ และในการนำมาประยุกต์ใช้กับงาน จะมีค่าใกล้เคียงกับย่านที่ใช้งานการตอบสนองทางเฟส โดยปกติจะแสดงได้ดังรูปที่ ซึ่งพล็อตค่าตั้งแต่  $0 > \phi > 360^\circ$  ค่านี้จะได้จากการบวกหรือคูณของมุม  $360^\circ$  รูปที่ นี้จะแสดงถึงคลื่น O/P จะล่าหลังกว่ารูป I/P (หรือรูปคลื่น I/P จะนำหน้ารูปคลื่น O/P) เท่ากับ  $\phi_0$  ถ้าให้เห็นแกนทางแนวนอนเป็นแกนเวลา (วินาที) ความแตกต่างของทุกๆช่วงจะเป็นค่าของเวลาที่หน่วง

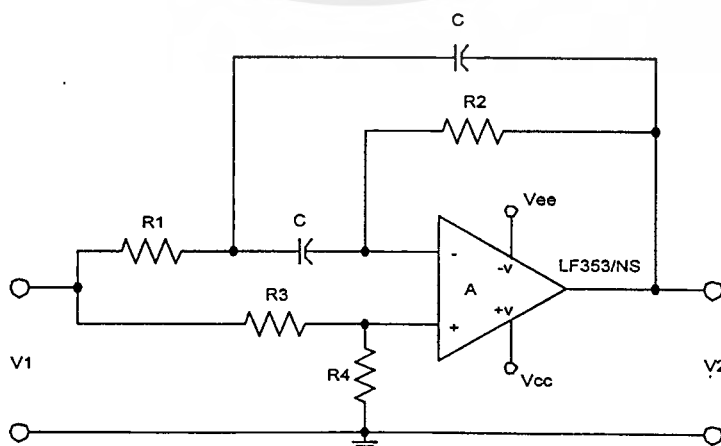
ค่าประมาณของวงจรออลพาสฟิลเตอร์อันดับสอง(All-pass filter order 2)สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ได้ดังนี้

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{K(s^2 - as + b)}{s^2 + as + b} \quad (1) \quad (1.19)$$

เมื่อค่า a และ b เป็นค่าคงที่ที่เลือกให้เหมาะสมกับการคำนวณ ในส่วนของเฟสชิฟ  $\phi(\omega)$  ซึ่งจะสามารถแทนได้ในเทอมของ  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  ( $H_z$ ) จะได้ว่า

$$\phi(\omega) = -2 \tan^{-1} \left( \frac{a\omega}{b - \omega^2} \right) \quad (1.20)$$

แอมพลิจูดคือ  $|H(j\omega)| = K$  ซึ่งเป็นอัตราขยายของวงจรองความถี่นั่นเอง



รูปที่ 1.3 All Pass Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบวงจรออลพาส (All-pass) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันดังสมการที่ (1) สำหรับค่าอุปกรณ์ที่ต่อเป็นวงจรออลพาสฟิลเตอร์ ดังรูปที่ สำหรับค่าของอุปกรณ์ในวงจรสามารถวิเคราะห์ห้วงจรออกมาได้

$$a = \frac{2}{R_2 C} \quad (1.21)$$

$$b = \frac{1}{R_1 R_2 C^2} \quad (1.22)$$

และอัตราขยาย  $K = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$  กำหนดให้  $R_2 R_3 = 4 R_1 R_4$



## บทที่ 2

ทฤษฎีของวงจรรองความถี่ต่ำแบบทรานซิชันแนลอุดรรัสเฟียริคัล และเงินเนอร์ไลซ์เบสเซลโพลิโนเมียล (Transition Ultraspherical-Generalized Bessel Polynomail , T.U.G)

การสร้างวงจรรองความถี่ต่ำที่สร้างจากการนำโพลิโนเมียล 2 ชนิด นำมาทรานซิชัน (Transitional) เข้าด้วยกันซึ่งโพลิโนเมียลทั้ง 2 ชนิด นี้ต่างก็มีดั่งแปรที่สามารถปรับค่าสัมประสิทธิ์ได้อย่างอิสระต่อกันโพลิโนเมียล 2 ชนิดนี้เรียกว่า อุดรรัสเฟียริคัลโพลิโนเมียล (Ultraspherical Polynomail) และ เงินเนอร์ไลซ์เบสเซลโพลิโนเมียล (Generalized Bessel Polynomail)

วงจรรองความถี่ต่ำแบบอุดรรัสเฟียริคัลโพลิโนเมียล

วงจรรองความถี่ต่ำแบบอุดรรัสเฟียริคัลโพลิโนเมียล มีทรานเฟอร์ฟังก์ชันซึ่งเขียนอยู่ในรูปของขนาดกำลังสอง (Magnitude Square) คือ

$$H(s)H(-s)|_{s=j\omega} = |H_n(j\omega)|^2 = \frac{1}{1+U_n^\alpha(\omega^2)} \quad (2.1)$$

โดยที่  $U_n^\alpha(\omega^2)$  เป็นขนาดกำลังสอง (Magnitude Square) ของอุดรรัสเฟียริคัลโพลิโนเมียล และ  $n$  เป็นอันดับของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

สูตรทั่วไปของอุดรรัสเฟียริคัลโพลิโนเมียล  $U_n^\alpha(\omega)$  ที่ใช้คือ

$$U_n^\alpha(\omega) = \frac{n!}{(1+\alpha)_n} P_n^{(\alpha,\alpha)}(\omega) \quad (2.2)$$

โดยที่  $(1+\alpha)_n = (1+\alpha)(1+\alpha)\dots(n+\alpha)$

$$n=1,2,3,\dots;\alpha > -1$$

$\alpha$  เป็นค่าพารามิเตอร์ของอุดรรัสเฟียริคัลโพลิโนเมียล และโพลิโนเมียล  $P_n^{(\alpha,\alpha)}(\omega)$  ได้มาจาก จาโคบี โพลิโนเมียล (Jacobi Polynomail) โดยที่จาโคบี โพลิโนเมียล  $P_n^{(\alpha,\beta)}(\omega)$  กำหนดไว้ดังนี้

$$P_n^{(\alpha,\beta)}(\omega) = \frac{(1+\alpha)_n}{n!} {}_2F_1 \left[ \begin{matrix} -n, \alpha+n+1; \\ 1+\alpha; \end{matrix} \frac{1-\omega}{2} \right] \quad (2.3)$$

โดยที่  ${}_2F_1$  เป็นไฮเปอร์จีโอมेटริกฟังก์ชัน (Hypergeometric Function) ซึ่งมีสูตรทั่วไปดังนี้

$${}_2F_1 \left( \begin{matrix} a, b; \\ c; \end{matrix} x \right) = \sum_{k=0}^n \frac{(a)_k (b)_k}{k! (c)_k} x^k \quad (2.4)$$

เมื่อ  $\beta = \alpha = 0$  ค่าโพลิโนเมียลในสมการที่ (2.3) กลายเป็นเลอว์จองด์ โพลิโนเมียล (Legendre Polynomail) จากสมการที่ (2.3) จะเห็นได้ว่าค่า  $P_n^{(\alpha,\beta)}(\omega)$  เป็นโพลิโนเมียลของอันดับที่  $n$  และเมื่อ  $\omega = 1$  จะได้

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = P_n^{(\alpha+\beta)}(1) = \frac{(1+\alpha)_n}{n!} \quad (2.5)$$

ในกรณีของจาโคบี โพลีโนเมียล ค่าของ  ${}_2F_1$  สามารถประยุกต์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = \frac{(1+\alpha)_n}{n!} \left(\frac{\omega+1}{2}\right)^2 {}_2F_1\left(\begin{matrix} -n, -\beta+n; \\ 1+\beta; \end{matrix} \frac{\omega-1}{\omega+1}\right) \quad (2.6)$$

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = \frac{(-1)^n (1+\beta)_n}{n!} {}_2F_1\left(\begin{matrix} -n, \beta+\alpha+n+1; \\ 1+\beta; \end{matrix} \frac{1+\omega}{2}\right) \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.3), (2.6) และ (2.7) ถ้าให้ผลลัพธ์อยู่ในรูปของอนุกรมอนันต์ (Finite Series) สำหรับค่า  $P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega)$  จะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = \sum_{k=0}^n \frac{(1+\alpha)_n (1+\alpha+\beta)_{n+k}}{k!(n-k)!(1+\alpha)_k (1+\alpha+\beta)_n} \left(\frac{\omega-1}{2}\right)^k \quad (2.8)$$

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = \sum_{k=0}^n \frac{(1+\alpha)_n (1+\beta)_{n+k}}{k!(n-k)!(1+\alpha)_k (1+\beta)_n} \left(\frac{\omega-1}{2}\right)^k \left(\frac{\omega+1}{2}\right)^{n-k} \quad (2.9)$$

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^{n-k} (1+\beta)_n (1+\alpha+\beta)_{n+k}}{k!(n-k)!(1+\beta)_k (1+\alpha+\beta)_n} \left(\frac{\omega+1}{2}\right)^k \quad (2.10)$$

ในกรณีที่ใช้กับสมการที่ที่อันดับมาก จากสมการข้างต้นสามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการต่อไปนี้ตามลำดับ

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = \sum_{k=0}^n \frac{(1+\alpha+\beta)_{2n}}{n!(1+\alpha+\beta)_n} \left(\frac{\omega-1}{2}\right)^n {}_2F_1\left(\begin{matrix} -n, -\alpha-n; \\ -\alpha-\beta-2n; \end{matrix} \frac{2}{1-\omega}\right) \quad (2.11)$$

$$P_n^{(\alpha+\alpha)}(\omega) = \frac{(1+\beta)_n}{n!} \left(\frac{\omega-1}{2}\right)^2 {}_2F_1\left(\begin{matrix} -n, -\alpha-n; \\ 1+\beta; \end{matrix} \frac{\omega+1}{\omega-1}\right) \quad (2.12)$$

$$P_n^{(\alpha+\beta)}(\omega) = \sum_{k=0}^n \frac{(1+\alpha+\beta)_{2n}}{n!(1+\alpha+\beta)_n} \left(\frac{\omega+1}{2}\right)^n {}_2F_1\left(\begin{matrix} -n, -\alpha-n; \\ -\alpha-\beta-2n; \end{matrix} \frac{2}{1+\omega}\right) \quad (2.13)$$

จากสมการการข้างต้นเป็นความสัมพันธ์ของฟังก์ชันจาโคบี โพลีโนเมียล และถ้ากำหนดให้  $\beta = \omega$  แล้วจากสมการที่ (2.3) จะได้โพลีโนเมียล  $P_n^{(\alpha+\alpha)}(\omega)$  ดังนี้

$$P_n^{(\alpha+\alpha)}(\omega) = \frac{(1+\alpha)_n}{n!} {}_2F_1\left(\begin{matrix} -n, 2\alpha+n+1; \\ 1+\alpha; \end{matrix} \frac{1-\omega}{2}\right) \quad (2.14)$$

ฉะนั้นถ้าแทนค่าสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่ (2.14) จะได้

$$P_n^{(\alpha+\alpha)}(\omega) = \frac{(1+\alpha)_n}{n!} \sum_{k=0}^n \frac{(-n)_k (2\alpha+n+1)_k}{k!(1+\alpha)_k} \left(\frac{1-\omega}{2}\right)^k \quad (2.15)$$

ฉะนั้นถ้าแทนค่าสมการที่ (2.15) ลงในสมการที่ (2.1) จะได้

$$U_n^\alpha(\omega) = \sum_{k=0}^n \frac{(-n)_k (2\alpha+n+1)_k}{k!(1+\alpha)_k} \left(\frac{1-\omega}{2}\right)^k \quad (2.16)$$

$$\text{โดยที่ } (-n)_k = (-1)^k \frac{n!}{(n-k)!} \quad (2.17)$$

โดยการแทนค่าสมการที่ (2.17) ลงในสมการที่ (2.16) จะได้

$$U_n^\alpha(\omega) = \sum_{k=0}^n (-1)^k C_k^n \frac{(2\alpha+n+1)_k}{(1+\alpha)_k} \left(\frac{1-\omega}{2}\right)^k \quad (2.18)$$

โดยที่  $C_k^n$  เป็นสัมประสิทธิ์ของไบโนเมียล (Binomial) ซึ่งเท่ากับ  $\frac{n!}{(n-k)!k!}$

จากสมการที่ (2.18) ถ้า  $n = 1, 2, 3, 4$  และ  $5$  ค่า  $U_n^\alpha(\omega)$  เขียนได้ดังแสดงในตาราง ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสูตรพีริคัลโพลีโนเมียล

n	$U_n^\alpha(\omega)$
0	1
1	$\omega$
2	$\frac{(2\alpha+3)\omega^2 - 1}{2\alpha+2}$
3	$\frac{(2\alpha+5)\omega^3 - 3\omega}{2\alpha+2}$
4	$\frac{(4\alpha^2 + 24\alpha + 35)\omega^4 - (12\alpha + 30)\omega^2 + 3}{4\alpha^2 + 12\alpha + 8}$
5	$\frac{(8\alpha^3 + 84\alpha^2 + 286\alpha + 315)\omega^5 - (40\alpha^2 + 240\alpha + 350)\omega^3 + (30\alpha + 75)\omega}{8\alpha^3 + 44\alpha^2 + 76\alpha + 40}$

### วิธีการหาค่าโพลของสูตรพีริคัล

จากตารางการกระจายค่าสัมประสิทธิ์ของสูตรพีริคัลโพลีโนเมียลต่อจำนวนอันดับ เราสามารถหาค่าโพลของสูตรพีริคัลได้โดยการใช้สมการการตอบสนองทางขนาดทั่วไป (Magnitude Square) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 [U_n^\alpha(\omega)]^2}} \quad (2.19)$$

โดยในที่นี้เรากำหนดให้  $U_n^\alpha(\omega) = \frac{n!}{(1+\alpha)_n} P_n^{(\alpha,\alpha)}(\omega)$

เมื่อ  $n = 0, 1, 2, \dots$  และ  $\alpha > -1$

ซึ่งสมการ  $P_n^{(\alpha,\alpha)}(\omega)$  คือ อุลตราสเฟียริคัล โพลีโนเมียล เมื่อ  $\varepsilon$  คือค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งสมการ  $P_n^{(\alpha,\alpha)}(\omega)$  นี้เป็นกรณีพิเศษที่ได้มาจากจาโคบี โพลีโนเมียล  $P_n^{(\alpha,\beta)}(\omega)$

เมื่อ  $\alpha = \beta$  และ

$$(1+\alpha)_n = (1+\alpha)(2+\alpha)\dots(n+\alpha) \quad ; n = 1, 2, 3, \dots$$

$$(1+\alpha)_0 = 1$$

โดยที่ค่าของ  $[U_n^\alpha(\omega)]^2$  เราได้มาจากตารางการกระจายค่าสัมประสิทธิ์ของอุลตราสเฟียริคัล โพลีโนเมียล ยกตัวอย่างเช่น

$$\text{ที่อันดับ 4 สมการ } [U_n^\alpha(\omega)]^2 = \frac{(4\alpha^2 + 24\alpha + 35)\omega^4 - (12\alpha + 30)\omega^2 + s}{4\alpha^2 + 12\alpha + 8}$$

เมื่อเราต้องการค่า  $\alpha$  ใดๆ ก็แทนค่าลงในสมการ  $[U_n^\alpha(\omega)]^2$  จากนั้นแทนลงในสมการ เรา ก็จะได้เทอมเศษมีค่าเป็น 1 และเทอมส่วนเป็นรากของโพลีโนเมียลอันดับ 8 เราก็ใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ (RP, Matlab) ดอกรากสมการออกมา จะได้ค่าที่เป็นบวก 4 ค่า และค่าที่เป็นลบอีก 4 ค่า เราก็เลือกเอาค่ารากที่เป็นลบทั้ง 4 ค่าเป็นค่าโพลของอุลตราสเฟียริคัล สาเหตุที่เราเลือกเอาค่าลบ เนื่องจากว่าจากความรู้เรื่องระบบควบคุม การเลือกค่าโพล (Pole) ที่เป็นลบจะทำให้ระบบเสถียร และค่าโพลที่เป็นบวกจะทำให้ระบบไม่เสถียร

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าโพลของอูลตราสเฟียริคัล อันดับที 4

$\alpha$	$S_u$
0.5	$-0.4632 \pm j0.3771, -0.1885 \pm j0.9262$
0.4	$-0.4461 \pm j0.3771, -0.1815 \pm j0.9268$
0.3	$-0.4277 \pm j0.3773, -0.1740 \pm j0.9275$
0.2	$-0.4775 \pm j0.3776, -0.1658 \pm j0.9284$
0.1	$-0.3860 \pm j0.3781, -0.1570 \pm j0.9295$
0.0	$-0.3744 \pm j0.3784, -0.1523 \pm j0.9302$
5	$-0.3363 \pm j0.3799, -0.1370 \pm j0.9326$
-0.1	$-0.2766 \pm j0.3839, -0.1132 \pm j0.9277$
-0.3	$-0.2052 \pm j0.3920, -0.0850 \pm j0.9463$
-0.5	$-0.1233 \pm j0.4072, -0.0520 \pm j0.9609$
-0.7	$-0.0618 \pm j0.4703, -0.0410 \pm j0.7083$

คุณสมบัติของเงินเนอรัไลซ์เบสเซลโพลีโนเมียล (Generalized Bessel Polynomial)

เงินเนอรัไลซ์เบสเซลโพลีโนเมียลสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

คือ

$$s^2 \left( \frac{d^2 Y_n}{ds^2} \right) + (as + 2) \left( \frac{dY_n}{ds} \right) - n(n + a - 1)Y_n = 0 \quad (2.20)$$

ซึ่งคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์นี้จะเป็นเงินเนอรัไลซ์เบสเซลโพลีโนเมียลนั้นคือ

$$Y_n(a, 2, s) = \sum_{k=0}^n (-n)_k \frac{(a + n - 1)_k}{k!} \left( \frac{-s}{2} \right)^k \quad (2.21)$$

เมื่อ  $(a)_n = (a + i - 1)$

คุณสมบัติทางขนาดของเงินเนอรัไลซ์เบสเซลโพลีโนเมียลทรานเฟอร์ฟังก์ชันสามารถหาได้โดยใช้ผลคูณ 2 ฟังก์ชันของ ซึ่งกำหนดโดย

$$H_n(x)H_n(y) = \sum_{k=0}^n (-1)^k (-n)_k \frac{(a + n - 1)_k}{k! 2^k} (xy)^{n-k} H_k(x + y) \quad (2.22)$$

$$A_n(s) = \sum_{k=0}^n C_{n-k}^n \frac{(a + 2n - k - 2)!(a + 2n - 2k - 2)!(-s^2)^k}{(a + nn - 2)!(a + n - k - 2)! 2^{2(n-k)}} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $C_{n-k}^n$  เป็นสัมประสิทธิ์แบบไบโนเมียลและจาก สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของไฮเปอร์ จีโอเมตริกฟังก์ชันได้ดังนี้

$$Y_n(a, b, c) = {}_2F_0\left(-n, a+n-1; \frac{-s}{b}\right) = \left( \begin{matrix} -n, a+n-1; \\ 0 \end{matrix} ; \frac{-s}{b} \right) \quad (2.24)$$

โดยแทนค่า  $b = 2$  หรือเขียนให้อยู่ในรูปของ

$$Y_n(s, \alpha, \beta) = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \frac{(n+k+\alpha-2)^k}{\beta^k} s^{n-k} \quad (2.25)$$

โดย  $\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ ,  $q^k = q(q-1)\dots(q-k+1)$  และ  $q = n+k+\alpha-2$

ตารางที่ 2.3 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ของเงินเนอร์ไลซ์เบสเสตโพลิโนเมียลต่อจำนวนอันดับ

n	$B_n(s, \alpha, \beta)$
0	1
1	$s + \frac{\alpha}{\beta}$
2	$s^2 + \frac{2(\alpha+1)s}{\beta} + \frac{(\alpha+1)(\alpha+2)}{\beta^2}$
3	$s^3 + \frac{3(\alpha+2)s^2}{\beta} + \frac{3(\alpha+2)(\alpha+3)s}{\beta^2} + \frac{(\alpha+2)(\alpha+3)(\alpha+4)}{\beta^3}$
4	$s^4 + \frac{4(\alpha+3)s^3}{\beta} + \frac{6(\alpha+3)(\alpha+4)s^2}{\beta^2} + \frac{4(\alpha+3)(\alpha+4)(\alpha+5)s}{\beta^3} + \frac{(\alpha+3)(\alpha+4)(\alpha+5)(\alpha+6)}{\beta^4}$

### วิธีการหาค่าโพลของเงินเนอร์ไลซ์เบสเสตโพลิโนเมียล

จากตารางการกระจายค่าสัมประสิทธิ์ของเงินเนอร์ไลซ์เบสเสตโพลิโนเมียลต่อจำนวนอันดับ ยกตัวอย่างเช่นที่อันดับ 4 สมการ  $B_n(s, \alpha, \beta)$  จะได้เป็น

$$s^4 + \frac{4(\alpha+3)s^3}{\beta} + \frac{6(\alpha+3)(\alpha+4)s^2}{\beta^2} + \frac{4(\alpha+3)(\alpha+4)(\alpha+5)s}{\beta^3} + \frac{(\alpha+3)(\alpha+4)(\alpha+5)(\alpha+6)}{\beta^4}$$

ในโครงการนี้กำหนดให้  $\beta = 2$  จะมีผลทำให้การตอบสนองกลายเป็นเบสเสตทอมสัน

จากนั้นแทนค่า  $\alpha$  ตามที่เราต้องการและนำสมการที่ได้ไปทำการแยกกราคาค่าโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นเราก็นำค่าโพลทั้งของอูลตราสเฟียริคัลและเงินเนอร์ไลซ์เบสเสลมาทำการท  
 ราบซิชั่นแนลกันซึ่ง ค่าโพลของทรานเฟอร์ฟังก์ชันจะเขียนให้อยู่ในรูปของโพลาร์ฟอร์ม

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าโพลของเงินเนอร์ไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล อันดับที่ 4

$\alpha$	$S_G$
2	$-2.8692 \pm j0.8672, -2.1037 \pm j2.6574$
3	$-3.3980 \pm j0.9433, -2.6019 \pm j2.9029$
4	$-4.4003 \pm j1.0794, -3.5996 \pm j3.3399$

การทรานซิชั่นกันระหว่างอูลตราสเฟียริคัลและเงินเนอร์ไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล

การหาค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ลักษณะทั่วไปของวงจรมัลติโพลีโนเมียลสามารถแสดงได้ดังรูปของ

$$H_n(s) = \frac{1}{s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_1s + 1} \quad (2.26)$$

เราสามารถเขียนทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรมัลติโพลีโนเมียลอันดับที่  $n$  ได้ในอีกรูปแบบหนึ่งคือ

$$H_n(s) = \frac{1}{Q_n(s)} = \frac{1}{(s-s_1)(s-s_2)\dots(s-s_n)} \quad (2.27)$$

และค่าโพลของทรานเฟอร์ฟังก์ชันสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของโพลาร์ฟอร์มคือ  $s_k = s_u \cdot e^{-j\phi}$  ในที่นี้เราทรานเฟอร์ฟังก์ชันของทรานซิชั่นแนลอูลตราสเฟียริคัล-เงินเนอร์ไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล ซึ่งมีโพลีโนเมียล 2 เทอม ดังนั้น เราจะได้ค่าโพลจากโพลีโนเมียลทั้ง 1 คือ

$$s_u = s_u \cdot \phi_u \quad (2.28)$$

$$s_G = s_G \cdot \phi_G \quad (2.29)$$

เมื่อเขียนให้อยู่ในรูปทรานซิชั่นแนลทั้งเทอมขนาดและเฟสจะได้

$$s_k = s_u^{(1-m)} \cdot s_G^m \quad (2.30)$$

$$\arg(s_k) = m \arg(s_u) - m(\arg(s_u) - \arg(s_G)) \quad (2.31)$$

$$\text{หรือ } s_k \cdot e^{-j\phi} = s_u^{(1-m)} \cdot s_G^m \cdot \phi_u \cdot -m(\phi_u - \phi_G) \quad (2.32)$$

เมื่อ  $0 < m < 1$  ซึ่งค่า  $m$  ในที่เรากำหนดให้เป็นค่าจริงมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 เมื่อเราเปลี่ยนค่า  $m$  ไปจะมีผลต่อ ทรานซิชั่นแนลอูลตราสเฟียริคัล-เงินเนอร์ไลซ์เบสเสลโพลีโนเมียล ดังนี้

$$\text{เมื่อ } m = 0 \quad s_k \phi = s_u \phi_u \quad (2.33)$$

$$m = 1 \quad s_k \phi = s_G \phi_G \quad (2.34)$$

นั่นคือ เมื่อเราให้ค่า  $m$  เป็น 0 จะได้โพลอยู่ในรูปของอูลตราสเฟียริคัลและให้ค่า  $m$  มีค่าเป็น 1 จะได้โพลอยู่ในรูปของเงินเนอรัลไลซ์เบสเสล

ค่าที่ได้ หลังจากการทำทรานซิชันแนลกันแล้วจะได้ค่าที่ยังไม่ได้ทำการนอร์มอลไลซ์ (Nomalized) เราจะต้องนอร์มอลไลซ์ทางความถี่เพื่อให้กราฟความถี่ตัดผ่านที่จุดเดียว คือที่  $\omega = 1$  จะได้ค่าของขนาด เท่ากับ 0.707

การนอร์มอลไลซ์นั้นมีทั้งการนอร์มอลไลซ์ทางขนาดและการนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ การนอร์มอลไลซ์ทางขนาด

จากทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรฟิลเตอร์สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$\dot{H}_n(s) = \frac{b_0}{s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_1s + b_0}$$

ทำการนอร์มอลไลซ์ทางขนาดเพื่อให้ผลตอบสนองทางขนาดเป็นยูนิตี้(Unity) หรือมีค่าเท่ากับ 1 ที่  $\omega = 0$  สามารถเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$H_n(s) = \frac{1}{s^n + C_{n-1}s^{n-1} + \dots + C_{n-1}s^{n-1} + \dots + C_1s + 1} \tag{2.35}$$

โดยที่  $C_{n-1} = b_{n-1} * b_0^{-\frac{1}{n}}$

$C_{n-i} = b_{n-i} * b_0^{-\frac{1}{n}}$

$C_1 = b_1 * b_0^{-(1-\frac{1}{n})}$

จากสมการจะได้ผลการตอบสนองทางขนาดที่มีค่าเท่ากับหนึ่งที่  $\omega = 0$  การนอร์มอลไลซ์ทางความถี่

กำหนดค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันที่จะนอร์มอลไลซ์ทางความถี่ดังนี้เมื่อเป็นจำนวนคู่

$$H_n(s) = \frac{G}{\prod_{i=1}^{n/2} (s^2 + (\omega_{oi} / Qi)s + \omega_{oi}^2)} \tag{2.36}$$

และเมื่อ  $n$  เป็นจำนวนคี่

$$H_n(s) = \frac{G}{(s + \omega_{on}) \prod_{i=1}^{n/2} (s^2 + (\omega_{oi} / Qi)s + \omega_{oi}^2)} \tag{2.37}$$

โดยที่  $n$  เป็นอันดับ (Order) ของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

$G$  เป็นค่าคงที่ที่พอดีทำให้  $H(j0) = 1$

ผลการตอบสนองทางขนาดของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน  $|H_n(j\omega)|$  เท่ากับ  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ที่ความถี่

$\omega = \omega_a$  ถ้าพิจารณาอันดับของทรานเฟอร์ฟังก์ชันที่เป็น จำนวนคู่จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\sqrt{2}G = \prod_{i=1}^{(n-1)} \left( (\omega_{oi}^2 - \omega_d^2)^2 + \left( \frac{\omega_{oi}\omega_d}{Q_i} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (2.38)$$

และอันดับของทรานเฟอร์ฟังก์ชันเป็นจำนวนคี่ จะได้

$$\sqrt{2}G = \sqrt{\omega_d^2 + \omega_{on}^2} \prod_{i=1}^{(n-1)/2} \left( (\omega_{oi}^2 - \omega_d^2)^2 + \left( \frac{\omega_{oi}\omega_d}{Q_i} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (2.39)$$

จากสมการพารามิเตอร์  $G$ ,  $Q_i$  และ  $\omega_{oi}$  เป็นตัวทราบค่าสิ่งที่ต้องการคำนวณหาคือ  $\omega_d$  การหา  $\omega_d$  จะใช้คอมพิวเตอร์(Computer) ช่วย และพิจารณาค่ารากของ  $\omega_d$  ที่เป็นจริงมีค่าเป็นบวกเท่านั้น

หลังจากนั้นเราก็นำค่า  $\omega_d$  ที่ทำให้แมกนิจูด (Magnitude) ของสมการที่ต้องการนอร์มอลไลซ์ที่มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ไปทำการนอร์มอลไลซ์โดยการแทนค่า  $\omega_d$  เพิ่มเข้าไปในทุกค่าที่มี  $s$  อยู่ และมีกำลังเหมือนกับค่า  $s$  ทุกประการ

ตารางที่ 2.5 แสดงโพลีโนเมียลของ T.U.G Low-Pass Filter เมื่อกำหนดค่า

$\alpha_u = 0.05, \alpha_G = 3.0$  และ normalized ที่จุด  $-3\text{dB}$

M	T.U.G Polynomial
0.30	$1.3486 s^4 + 2.6395 s^3 + 3.7628 s^2 + 2.7197 s + 1$
0.34	$1.1355 s^4 + 2.4049 s^3 + 3.5269 s^2 + 2.6579 s + 1$
0.35	$1.0899 s^4 + 2.3524 s^3 + 3.4738 s^2 + 2.6437 s + 1$
0.36	$1.0465 s^4 + 2.3013 s^3 + 3.4220 s^2 + 2.6296 s + 1$
0.37	$1.0049 s^4 + 2.2513 s^3 + 3.3713 s^2 + 2.6157 s + 1$
0.38	$0.9657 s^4 + 2.2034 s^3 + 3.3225 s^2 + 2.6021 s + 1$
0.40	$0.8748 s^4 + 2.0954 s^3 + 3.2059 s^2 + 2.5731 s + 1$

### บทที่ 3

#### การสร้างวงจร

#### การออกแบบลิ่งค์วิซซ์ไอร์แลนด์

การคำนวณอุปกรณ์ของวงจรลิ่งค์วิซซ์ไอร์แลนด์ นั้นใช้หลักการเดียวกันกับการคำนวณบัตเตอร์เวิร์ท เพราะว่าลิ่งค์วิซซ์ไอร์แลนด์ นั้นก็คือการนำบัตเตอร์เวิร์ทมายกกำลังสองนั่นเอง ดังนั้น ลิ่งค์วิซซ์ไอร์แลนด์ อันดับที่ 4 ก็คือ บัตเตอร์เวิร์ทอันดับสองแคสเคดกันสองชุด

การคำนวณหาค่าอุปกรณ์นั้น เราจะคงที่ค่าของตัวเก็บประจุชุดของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ 10 นาโนฟารัด และชุดของวงจรกรองความถี่สูงที่ 1 นาโนฟารัด แล้วคำนวณหาค่าความต้านทานตามสูตร

$$R = \frac{0.707}{2\pi Cfc}$$

เมื่อ  $fc$  คือความถี่ตัด

เช่น เราต้องการความถี่ตัดที่ 500 เฮิรตซ์ เราจะต้องใช้ค่าความต้านทานเท่ากับ กำหนดให้  $R_L = R$ ,  $C = 10n$

$$R_L = \frac{0.707}{2\pi * 10e^{-9} * 500} = 22.51K\Omega$$

ในส่วนของ  $R_H$  ก็ใช้การคำนวณเช่นเดียวกัน

#### การออกแบบวงจรอูตรัสเพียริคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสสเตโพลิโนเมียล

กำหนดค่าของ  $m = 0.35$  ค่าอัลฟ่าของอูตรัสเพียริคัล ( $\alpha_u$ ) = 0.05 และค่าอัลฟ่าของเงินเนอร์ไลซ์เบสสเตโพลิโนเมียล ( $\alpha_G$ ) = 3.0 จะได้รูปแบบของสมการ

จากตารางที่ 2.5 เราจะได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดังนี้

$$H_L(s) = \frac{1}{1.0899s^4 + 2.3524s^3 + 3.4738s^2 + 2.6437s + 1}$$

แยกเป็นชุดของกำลังสองคูณกันสองชุด นั้นก็คือ อันดับสองต่อแคสเคดกันนั่นเอง

$$H_L(s) = \frac{1}{(s^2 + 1.31047912s + 0.63793585) * (s^2 + 0.84778946s + 1.43816643)}$$

นำแต่ละชุดมาเปรียบเทียบกับสมการมาตรฐานคือ

$$H(s) = \frac{b_0}{(s^2 + b_1s + b_0)}$$

ในส่วนของวงจร  $A_2$  คำนวณค่าได้ดังนี้

กำหนด  $G = 1, C_{L1} = 1F, C_{L2} = 0.2F$  ความถี่คัตออฟเท่ากับ  $500 \text{ Hz}$

$$R_{L2} = \frac{2(1+G)}{b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4C_2b_0(1+G)}} = 1.864$$

$$R_{L1} = \frac{R_2}{G} = 1.864$$

$$R_{L3} = \frac{1}{b_0R_2C_2} = 4.203$$

ทำการสเกลทางขนาดและความถี่ กำหนดให้  $Z=1,000$  ดังสมการ

$$R = R_L Z \quad (1)$$

$$C = \frac{C_L}{2\pi f_c Z} \quad (2)$$

$$R_{L2} = R_{L1} = 1.86K\Omega$$

$$R_{L3} = 4.203K\Omega$$

$$C_{L1} = 0.318\mu F$$

$$C_{L2} = 0.063\mu F$$

ในส่วนของวงจร  $A_3$  กำหนดค่า  $G = 1, C_{L3} = 1F, C_{L4} = 0.02F$

$$R_{L5} = \frac{2(1+G)}{b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4C_2b_0(1+G)}} = 2.585$$

$$R_{L4} = \frac{R_2}{G} = 12.585$$

$$R_{L6} = \frac{1}{b_0R_2C_2} = 13.44$$

ทำการสเกลทางขนาดและความถี่ กำหนดให้  $Z=1,000$  ดังสมการ (1) และ (2)

$$R_{L5} = R_{L4} = 2.585K\Omega$$

$$R_{L6} = 13.44K\Omega$$

$$C_{L3} = 0.318\mu F$$

$$C_{L4} = 6.36\mu F$$

ในส่วนของวงจรกรองความถี่สูงทำการแทน  $s$  ในทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ต่ำด้วย  $1/s$  จะได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันดังนี้

$$H_H(s) = \frac{s^4}{s^4 + 2.64374s^3 + 3.47385s^2 + 2.3524s + 1.0899}$$

แยกเป็นกำลังสองสองชุดได้ดังนี้

$$H_{H_1}(s) = \frac{s^2}{s^2 + 2.05424s + 1.56762} * \frac{s^2}{s^2 + 0.58949s + 0.69532}$$

ในส่วนของวงจร  $A_8$  คำนวณค่าได้ดังนี้

กำหนดให้  $G=1, C_{H1} = C_{H3} = 1F$  ความถี่คัทออฟเท่ากับ  $5000 H_z$

$$C_{H2} = \frac{C_1}{G} = 1$$

$$R_{H1} = \frac{Gb_1}{(2G+1)b_0} = 0.4368$$

$$R_{H2} = \frac{2G+1}{b_1} = 1.46$$

ทำการสเกลทางขนาดและความถี่ กำหนดให้  $Z=10,000$  ดังสมการ (1) และ (2)

$$R_{H1} = 4.386K\Omega$$

$$R_{H2} = 14.6K\Omega$$

$$C_{H1} = C_{H2} = C_{H3} = 3.18nF$$

ในส่วนของวงจร  $A_9$  กำหนดให้  $G=1, C_{H4} = C_{H6} = 1F$

$$C_{H5} = \frac{C_1}{G} = 1$$

$$R_{H3} = \frac{Gb_1}{(2G+1)b_0} = 0.282$$

$$R_{H4} = \frac{2G+1}{b_1} = 5.08$$

ทำการสเกลทางขนาดและความถี่ กำหนดให้  $Z=10,000$  ดังสมการ (1) และ (2)

$$R_{H3} = 2.82K\Omega$$

$$R_{H4} = 50.8K\Omega$$

$$C_{H4} = C_{H5} = C_{H6} = 3.18nF$$

ในส่วนของวงจรแบนด์พาสออสซิลเลเตอร์ความถี่ต่ำและความถี่สูงมาต่อкасцепกัน โดยกำหนดช่วงความถี่อยู่ระหว่าง  $500-5000 H_z$  โดยวงจรความถี่ต่ำมีความถี่คัทออฟ  $5000 H_z$  และวงจรความถี่สูงมีความถี่คัทออฟ  $500 H_z$  ดังนั้นจะต้องสเกลให้ค่า  $C$  เปลี่ยนแปลงไป 10 เท่า โดยวงจรความถี่ต่ำค่า  $C$  จะลดลง 10 เท่า และวงจรความถี่สูงจะเพิ่มขึ้น 10 เท่า จากนั้นนำค่าอุปกรณ์ที่คำนวณได้ทั้งหมดไปประกอบวงจร โดยที่อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าอุปกรณ์บางตัวให้เป็นค่ามาตรฐานที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ค่าอุปกรณ์  $C_{L1}, C_{L2}, C_{L3}, C_{L4}, C_{H1}, C_{H3}, C_{H4}, C_{H6}$  และค่า  $Z$  ก่อนการสเกลถึงจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่

## บทที่ 4

### การใช้โปรแกรม PSpice และ Probe มาใช้ในการจำลองและการพลอตกราฟ

เมื่อโปรแกรม Pspice จำลองวงจรที่วาดบน Psched เรียบร้อยแล้วจะเกิดไฟล์ขึ้น 7 ไฟล์คือ ไฟล์นามสกุล .sch , .cir , .net , .als , .xfr , .dat และ .out ในโครงการนี้เราจะสนใจเฉพาะ ไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .net , .dat และ .cir เท่านั้น .

.net จะเป็นรายการอุปกรณ์ทั้งหมดที่ต่ออยู่ ส่วน .cir คือคำสั่งที่ตั้งให้ Pspice วิเคราะห์ และ .dat คือไฟล์ข้อมูลเข้าที่ทุกที่เป็นรูปภาพ

ดังนั้นเมื่อโปรแกรมที่เขียนขึ้นคำนวณค่าอุปกรณ์ที่ได้ทั้งหมดแล้วก็จะนำไปทำการแก้ไขในไฟล์ .net ขอบยกตัวอย่าง เพียงวงจรเดียวคือ ลิงค์วิธส์โรเลย์ นอกนั้นจะใช้วิธีเดียวกันหมด

#### \* Schematics Netlist \*

```
V_V1 Vcc 0 dc 15V
V_V2 Vee 0 dc -15V
X_U2A $N_0001 V1 Vcc Vee V1 LM324
R_R3 $N_0002 $N_0001 16k
C_C2 0 $N_0001 10n
X_U5A 0 $N_0003 Vcc Vee $N_0004 LM324
X_U6A 0 $N_0005 Vcc Vee $N_0006 LM324
R_R4 V1 $N_0007 8k
R_R5 $N_0003 $N_0008 8k
R_R6 $N_0008 $N_0004 8K
C_C3 $N_0007 $N_0003 1n
C_C4 $N_0007 $N_0004 1n
R_R9 $N_0004 $N_0005 10k
R_R7 V1 $N_0009 10k
R_R8 $N_0009 $N_0005 10k
R_R10 $N_0005 $N_0010 10k
R_R11 $N_0010 $N_0006 10k
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X\_U7A 0 \$N\_0011 Vcc Vee \$N\_0012 LM324  
 X\_U8A 0 \$N\_0013 Vcc Vee \$N\_0014 LM324  
 R\_R12 \$N\_0016 \$N\_0015 8k  
 R\_R13 \$N\_0011 \$N\_0017 8k  
 R\_R14 \$N\_0017 \$N\_0012 8k  
 C\_C5 \$N\_0015 \$N\_0011 10n  
 C\_C8 \$N\_0015 \$N\_0012 10n  
 R\_R17 \$N\_0012 \$N\_0013 10k  
 R\_R15 \$N\_0016 \$N\_0018 10k  
 R\_R16 \$N\_0018 \$N\_0013 10k  
 R\_R18 \$N\_0013 \$N\_0019 10k  
 R\_R19 \$N\_0019 \$N\_0014 10k  
 X\_U11A \$N\_0020 \$N\_0016 Vcc Vee \$N\_0016 LM324  
 R\_R1 0 \$N\_0020 47k  
 C\_C \$N\_0021 \$N\_0020 1u  
 V\_V5 \$N\_0021 0 ac 1V  
 X\_U12A 0 \$N\_0022 Vcc Vee \$N\_0023 LM324  
 R\_R30 \$N\_0022 \$N\_0023 10k  
 C\_C10 \$N\_0023 VoH 470n  
 R\_R31 0 VoH 47k  
 R\_R29 \$N\_0024 \$N\_0022 10k  
 R\_R28 \$N\_0022 \$N\_0006 10k  
 X\_U13A 0 \$N\_0025 Vcc Vee \$N\_0026 LM324  
 X\_U14A 0 \$N\_0027 Vcc Vee \$N\_0024 LM324  
 R\_R20 \$N\_0014 \$N\_0028 8k  
 R\_R21 \$N\_0025 \$N\_0029 8k  
 R\_R22 \$N\_0029 \$N\_0026 8k  
 C\_C11 \$N\_0028 \$N\_0025 1n  
 C\_C12 \$N\_0028 \$N\_0026 1n  
 R\_R25 \$N\_0026 \$N\_0027 10k

R\_R23 \$N\_0014 \$N\_0030 10k  
 R\_R24 \$N\_0030 \$N\_0027 10k  
 R\_R26 \$N\_0027 \$N\_0031 10k  
 R\_R27 \$N\_0031 \$N\_0024 10k  
 R\_R2 \$N\_0016 \$N\_0002 16k  
 C\_C1 V1 \$N\_0002 10n  
 R\_R32 0 Vol 47k  
 C\_C6 \$N\_0006 Vol 2.2u

ดังนั้นสิ่งที่เราจะต้องแก้ไขคือค่าความค้ำทานที่เป็นค่าที่เราออกแบบขึ้นมานั้นก็คือ

R\_R2 \$N\_0016 \$N\_0002 16k  
 R\_R3 \$N\_0002 \$N\_0001 16k  
 R\_R4 V1 \$N\_0007 8k  
 R\_R5 \$N\_0003 \$N\_0008 8k  
 R\_R6 \$N\_0008 \$N\_0004 8K  
 R\_R12 \$N\_0016 \$N\_0015 8k  
 R\_R13 \$N\_0011 \$N\_0017 8k  
 R\_R14 \$N\_0017 \$N\_0012 8k  
 R\_R20 \$N\_0014 \$N\_0028 8k  
 R\_R21 \$N\_0025 \$N\_0029 8k  
 R\_R22 \$N\_0029 \$N\_0026 8k

ให้ดูว่า อุปกรณ์ พวกนี้อยู่ในบรรทัดที่เท่าใด แล้วให้ลบออกอีก หนึ่ง  
 แล้วก็ไปเขียนคำสั่งควบคุมบน เบลไฟดังนี้

```
procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
memo1.Lines.LoadFromFile('link122.net');
```

```
end;
```

เพื่อ โหลดไฟล์ .net มาเก็บไว้ก่อน

ส่วนของการแก้ไฟล์นั้นเขียนดังนี้

```
memo1.lines[53]:='R_R2 $N_0016 $N_0002 '+edit2.text;
memo1.lines[5]:='R_R3 $N_0002 $N_0001 '+edit2.text;
memo1.lines[9]:='R_R4 V1 $N_0007 '+edit4.text;
memo1.lines[10]:='R_R5 $N_0003 $N_0008 '+edit4.text;
memo1.lines[11]:='R_R6 $N_0008 $N_0004 '+edit4.text;
memo1.lines[21]:='R_R12 $N_0016 $N_0015 '+edit4.text;
memo1.lines[22]:='R_R13 $N_0011 $N_0017 '+edit4.text;
memo1.lines[23]:='R_R14 $N_0017 $N_0012 '+edit4.text;
memo1.lines[43]:='R_R20 $N_0014 $N_0028 '+edit4.text;
memo1.lines[44]:='R_R21 $N_0025 $N_0029 '+edit4.text;
memo1.lines[45]:='R_R22 $N_0029 $N_0026 '+edit4.text;
memo1.lines.SaveToFile('link122.net');
```

เสร็จแล้วก็จะได้ไฟล์ .net ที่สามารถ อนุมัติได้ตามที่เราต้องการ

## บทที่ 5

## การใช้งานโปรแกรม

## การติดตั้งโปรแกรม

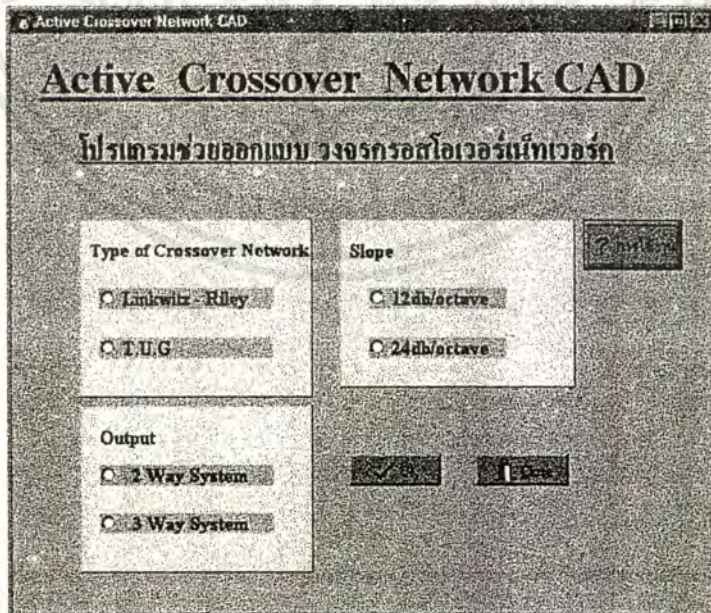
## มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกที่ไฟล์ install.exe
2. เปิดไฟล์ msim.ini ทำการแก้ไขดังนี้
  - 2.1 แก้ไขส่วนของ LIBPATH=x:\xxx\LIB  
เมื่อ x คือ ไดรฟ์คอร์ดที่เราต้องการ เซฟไฟล์
  - 2.2 นำไฟล์ msim.ini ที่ทำการแก้ไขแล้ว และ ไฟล์ psipe.iff นำไปวางใน ไดรฟ์คอร์ดของ  
ไฟล์วินโดว
3. นำไฟล์ lib.exe ไปไว้ใน ไดรฟ์คอร์ดที่ชื่อ LIB แล้ว ทำการคลายซิปไฟล์
4. ถ้าหากว่าในเครื่องคอมพิวเตอร์เดิมมีโปรแกรม msim53 อยู่ก่อนแล้วให้ทำการลบออกเสีย  
ก่อน เพราะในโปรแกรม crossover network CAD มี โปรแกรม msim53 ไว้ให้เรียบร้อยแล้ว

## การใช้งาน

## มีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะพบรูปแบบดังนี้



รูปที่ 5.1 แสดงโปรแกรมช่วยออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ก

2. เลือกรูปแบบของการออกแบบ ทั้งสามชนิด คือ

Type of Crossover Network

Slope

Output

2. เมื่อเลือกแล้วก็มีแบบฟอร์มของแต่ละชนิดออกมา

เช่นเมื่อเลือก T.U.G 24 dB/octave 2 way System จะมีแบบฟอร์มดังนี้

ใส่ค่าความถี่ตัดที่ต้องการ

เช่นที่ 500 เฮิรตซ์

เลือกค่าอัลฟาของอูดตราสเฟียริคัลที่ 0.05

เลือกค่าอัลฟาของเจนเนอรัไลซ์เบสเซลที่ 3

T.U.G 24db/octave 2 way System

Transitional Ultraspherical - Generalized Bessel Polynomial (T.U.G)

24db/octave 2way system

Enter Cutoff Frequency

fc:

au:

ag:

OK

Open Schematic

Simulate

Probe

Close

RL1  RH1

RL2  RH2

RL3  RH3

RL4  RH4

RL5  CH1

RL6  CH2

CL1  CH3

CL2  CH4

CL3  CH5

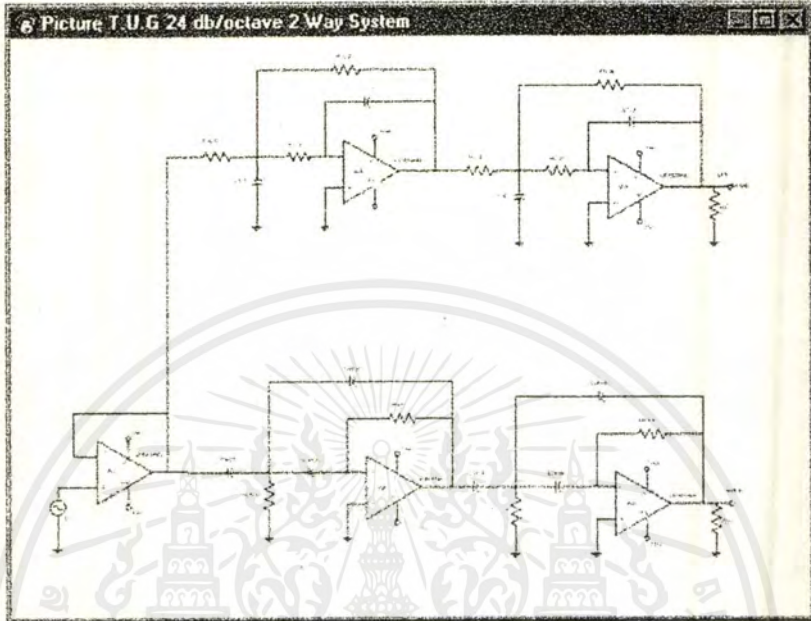
CL4  CH6

รูปที่ 5.2 แสดงการใส่ค่าความถี่กลาง, อัลฟาอูดตราสเฟียริคัลและแสดงค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะคำนวณค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเป็นวงจรทั้งหมด

- 3 เมื่อคลิกที่ปุ่ม Open Schematic ก็จะแสดงรูปวงจดังตัวอย่าง



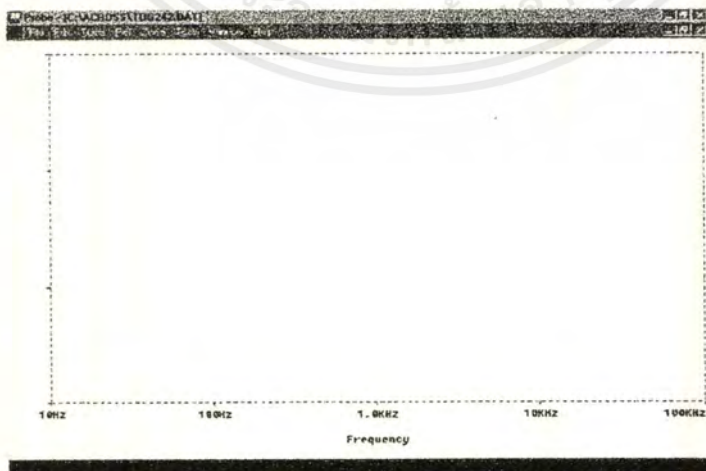
รูปที่ 5.3 แสดงเมื่อคลิกที่ Open Schematic

- 4 เมื่อได้ค่าอุปกรณ์แล้วก็ทำการซิมูเลท ให้ดับเบิลคลิกที่ Simulate

- 5 เมื่อทำการซิมูเลทแล้ว ก็ทำการพลอตโดยดับเบิลคลิกที่ Probe

การใช้โปรแกรม Probe

ฟอร์มของ โปรแกรม Probe



รูปที่ 5.4 แสดงฟอร์มของโปรแกรม Probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

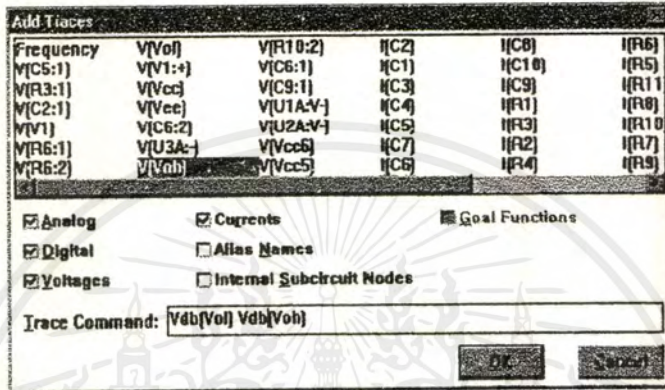
ยกตัวอย่างวงจร T.U.G 24dB/octave

เมื่อเราต้องการวัด ผลตอบสนองของความถี่ เป็น เดซิเบล ให้เลือกที่ Trace

จะมีฟอร์มดังนี้

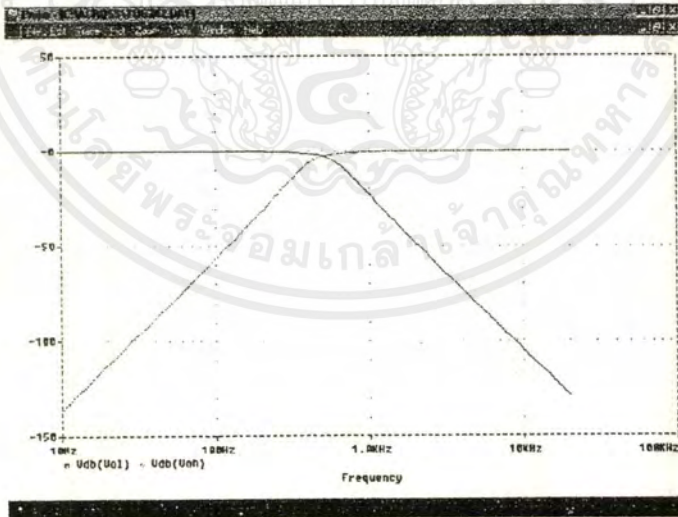
เมื่อเราต้องการเพียงเข้าที่ทุกที่ โดพาสและ ไฮพาส นั้นกำหนดไว้คือ Vdb(Vol) และ Vdb(Voh)

ก็ให้เลือกคังรูป



รูปที่ 5.5 แสดงการเลือกตำแหน่งที่จะวัดผลตอบสนองของความถี่

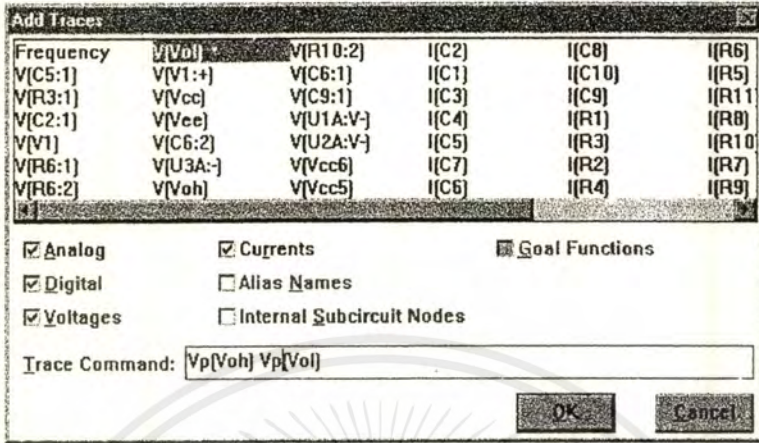
เมื่อเลือกแล้วก็จะ ได้ผลคังรูป



รูปที่ 5.6 แสดงผลของการวัดผลตอบสนองของความถี่

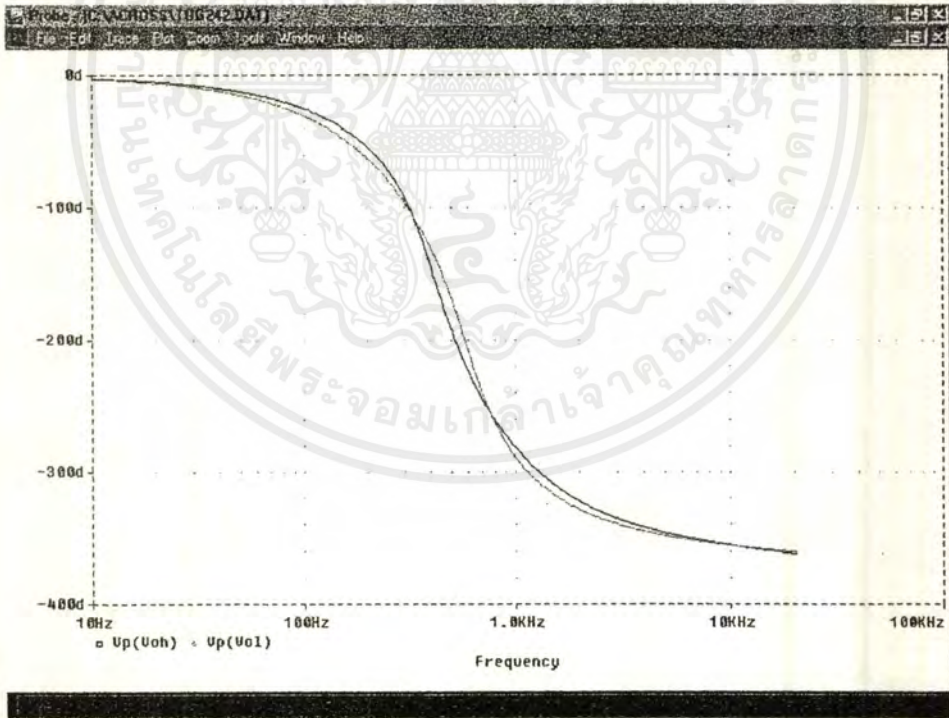
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการวัดมุมเฟสให้เลือกที่ Trace แล้วเลือกที่ V(Vol),V(Voh) แล้วก็ให้ใส่ ตัว p เข้าไปดังนี้ Vp(Vol),Vp(Voh) ดังรูป



รูปที่ 5.7 แสดงการเลือกตำแหน่งที่จะวัดผลตอบสนองทางเฟส

จะได้ผลดังนี้



รูปที่ 5.8 แสดงผลของการวัดผลตอบสนองทางเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

การหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรอูตรัสเพียริคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสสเตโพลีโนเมียลโดยการเปลี่ยนค่าอัลฟา

เมื่อเราต้องการที่จะรู้ค่าของทรานเฟอร์ฟังก์ชันที่เราต้องการที่ค่าอัลฟาต่างๆที่ไม่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรมเราต้องใช้โปรแกรมเมทแลปเพื่อวิเคราะห์ ดังนี้

การหาค่าโพลของอูตรัสเพียริคัล

เริ่มแรก ก็ต้องทำการเรียกโปรแกรมเมทแลปออกมาแล้วเปิดไฟล์ ultra4.m เป็นโปรแกรมที่เขียนมาให้แล้วเพื่อที่จะทำการหาค่าโพลของอูตรัสเพียริคัลก็ใส่ค่าอัลฟาลงไปเช่นเมื่อเราต้องการค่าอัลฟาที่  $-0.01$  ซึ่งไม่ได้กำหนดในโปรแกรมเราก็ใส่ค่าลงไปดังนี้

```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
p
p
p
p
p
p ultra4
input a = -0.01
fs4 =
-0.1464 + 0.9311i
-0.1464 - 0.9311i
 0.1464 + 0.9311i
 0.1464 - 0.9311i
-0.3598 + 0.3789i
-0.3598 - 0.3789i
 0.3598 + 0.3789i
 0.3598 - 0.3789i
p
Ready
NUM

```

### รูปที่ 6.1 แสดงการหาค่าโพลของอูตรัสเพียริคัล

เราก็จะได้ค่ารายการออกมา 8 ค่าก็ให้เลือกราค่าที่เป็นลบเท่านั้นเช่นดังที่กำหนดอัลฟาเท่ากับ  $-0.01$  ก็จะเลือกที่

$$-0.1464+0.9311i$$

$$-0.1464-0.9311i$$

$$-0.3598+0.3789i$$

$$-0.3598-0.3789i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การหาค่าโพลของเงินเนอริไลซ์เบสเซล

แล้วก็ให้หาค่าโพลของเงินเนอริไลซ์เบสเซล ให้เปิดไฟล์ gen4.m แล้วก็ให้ใส่ค่าอัตราลงไปดังนี้



```

-0.1464 + 0.9311i
-0.1464 - 0.9311i
 0.1464 + 0.9311i
 0.1464 - 0.9311i
-0.3598 + 0.3789i
-0.3598 - 0.3789i
 0.3598 + 0.3789i
 0.3598 - 0.3789i

p input alpha : 3
r =
-2.6020 + 2.9029i
-2.6020 - 2.9029i
-3.3980 + 0.9433i
-3.3980 - 0.9433i
  
```

รูปที่ 6.2 แสดงการหาค่าโพลของเงินเนอริไลซ์เบสเซล

เราก็จะได้ค่าโพลออกมา 4 ค่า ดังรูป

### การเลือกโพลมาทรานซิชั่น

การเลือกโพลมาทรานซิชั่นกันนั้น เราจะเลือกที่ส่วนของจำนวนจินตภาพที่เป็นบวกเท่านั้น เช่นดังที่เลือกเราจะนำค่าโพลของอูลตราสเฟียริคัล ที่

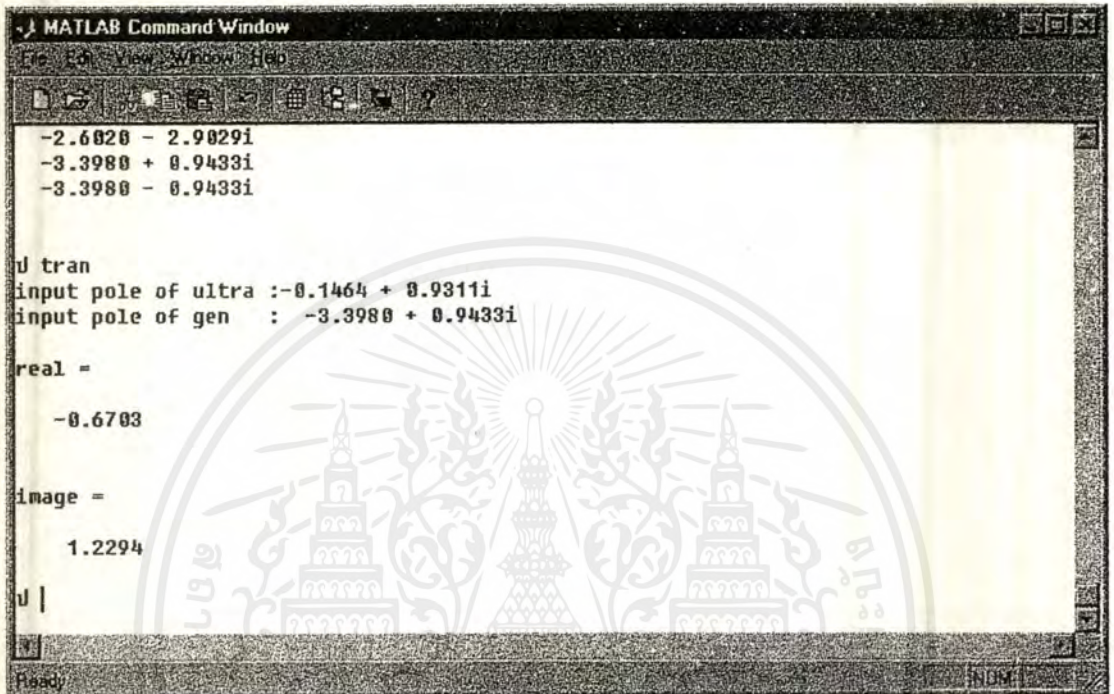
$-0.1464 + 0.9311i$  ทรานซิชั่นกับ โพลของเงินเนอริไลซ์เบสเซลที่  $-3.3980 - 0.9433i$

$-0.3598 + 0.3789i$  ทรานซิชั่นกับ โพลของเงินเนอริไลซ์เบสเซลที่  $-2.6020 - 2.9029i$

การที่เราไม่ทำการทรานซิชั่นจำนวนที่ส่วนจินตภาพเป็นลบนั้นเพราะว่าค่าที่ได้จะเป็นค่าเดียวกัน แต่จะเป็นค่าที่ตรงข้ามกันเท่านั้น

### การทรานซิชันกันระหว่างอุลตราสเฟียริคัลและเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล

ต่อไปเราก็เปิดไฟล์ tran.m เพื่อทำการทรานซิชันกันของโพล ระหว่าง อุลตราสเฟียริคัล และเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล ในที่นี้กำหนดให้ค่าทรานซิชันเฟคเตอร์เท่ากับ 0.3



```

-2.6828 - 2.9829i
-3.3988 + 8.9433i
-3.3988 - 8.9433i

p tran
input pole of ultra :-0.1464 + 8.9311i
input pole of gen  : -3.3988 + 8.9433i

real =

-0.6783

image =

1.2294

p |

```

### รูปที่ 6.3 แสดงค่าโพลที่ได้จากการทรานซิชันกันระหว่างอุลตราสเฟียริคัลและเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล

แล้วให้ใส่ค่าโพลที่ input pole of ulfar และ input pole of gen ใน โปรแกรมเมทแลปดังรูป ซึ่งเป็นค่าโพลที่ได้จากการเลือกค่าโพลในหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อเสร็จแล้วเราจะได้ ค่าโพลที่ได้ทรานซิชันแล้ว 4 ค่า ดังตัวอย่างจะได้ ค่า

```

-0.6703+1.2294i
-0.6703 -1.2294i
-0.6515+0.6981i
-0.6515 -0.6981i

```

### การหาค่าโพลลิโนเมียลของทรานซิชันอุลตราสเฟียริคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสเสล

ต่อไปก็นำไปหาสมการ เปิดไฟล์ convo1.m แล้วก็ใส่ค่าโพลทั้ง 4 ค่าที่ได้เข้าไปก็จะ ได้ดังรูปที่ 6.4



```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
input b3:2.6436
input b2:4.6193
input b1:3.7772
input b0:1.7878

Fs =
    1.0000    1.9771    2.9877    2.4430    1.0000

ป
ป
ป
ป
ป
ป
ป
ป

```

รูปที่ 6.5 แสดงการหาค่าโพลีโนเมียลของทรานซ์นั้้นอดคร้าสเพียรคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสสเตลที่ผ่าน  
การนอร์มอลไลซ์

เราก็จะได้โพลีโนเมียลของทรานซ์นั้้นอดคร้าสเพียรคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสสเตลที่ผ่านการนอร์มอล  
ไลซ์เรียบร้อยแล้วนั้นคือ

$$\frac{1}{s^4 + 1.9771s^3 + 2.9877s^2 + 2.4430s + 1}$$

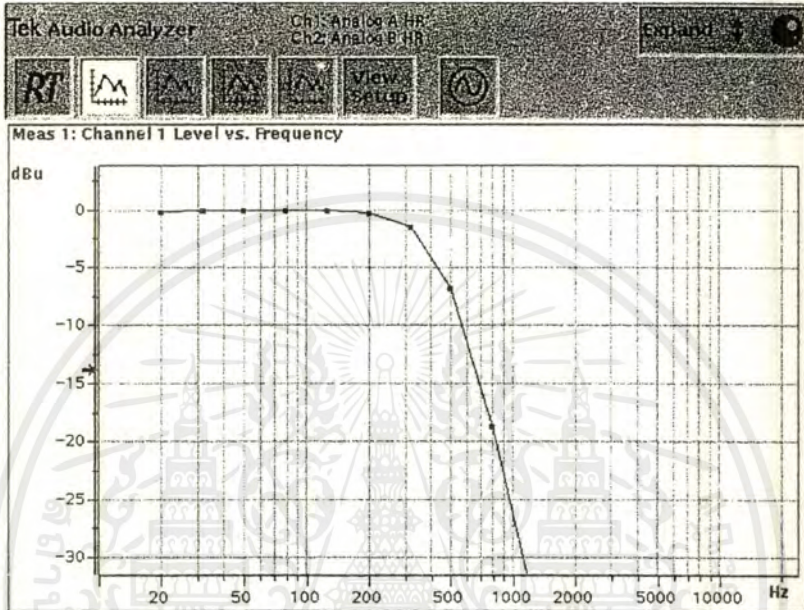
พร้อมที่จะนำไปทำการออกแบบได้

## บทที่ 7

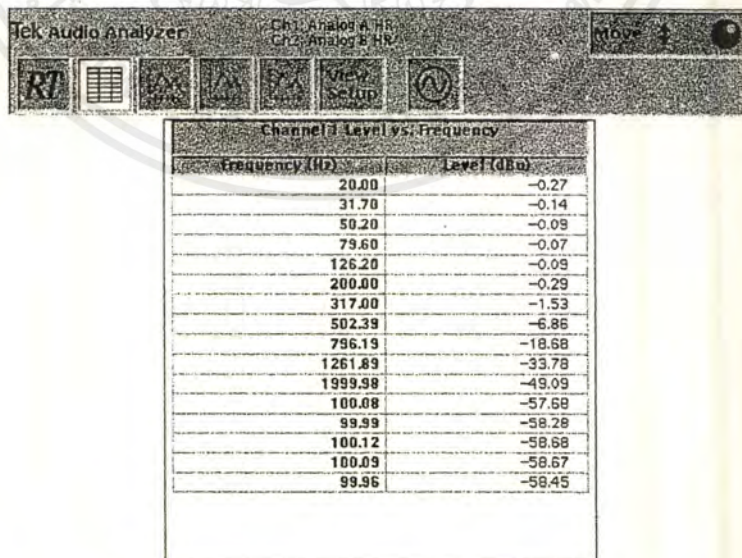
### ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองจากการใช้เครื่องออดิโอแอนาไลเซอร์ (Audio Analyzer)

ผลการทดลองของวงจรลิ่งควิซซ์ไร้เลี้ยง

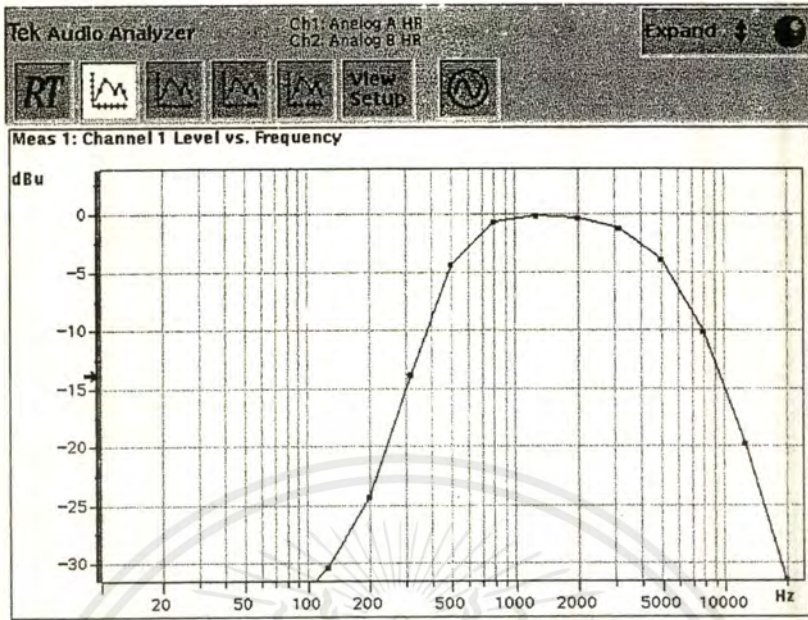


รูปที่ 7.1 กราฟตอบสนองความถี่โลพาสของวงจรลิ่งควิซซ์ไร้เลี้ยง



ตารางที่ 7.1 แสดงค่าโลพาสของวงจรลิ่งควิซซ์ไร้เลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

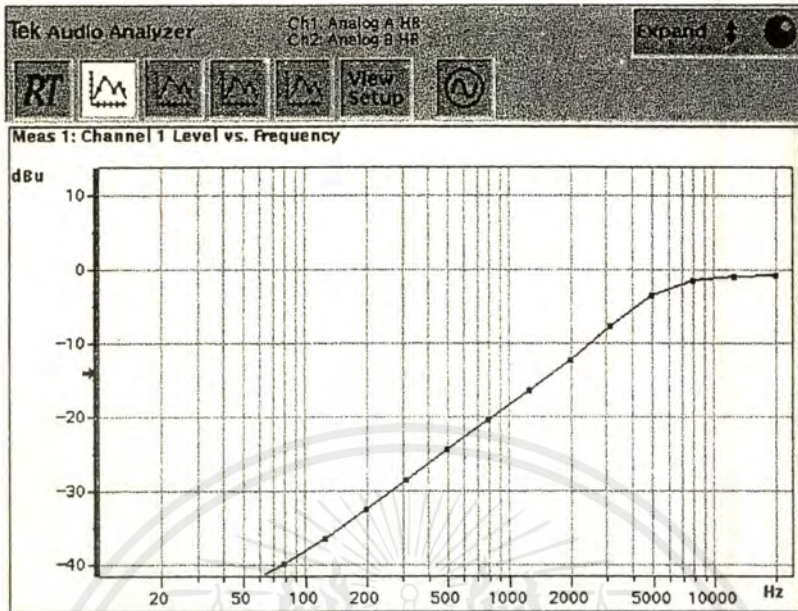


รูปที่ 7.2 กราฟตอบสนองความถี่แบนด์พาสของวงจรถึงคิ่วซ์ไเรลล์

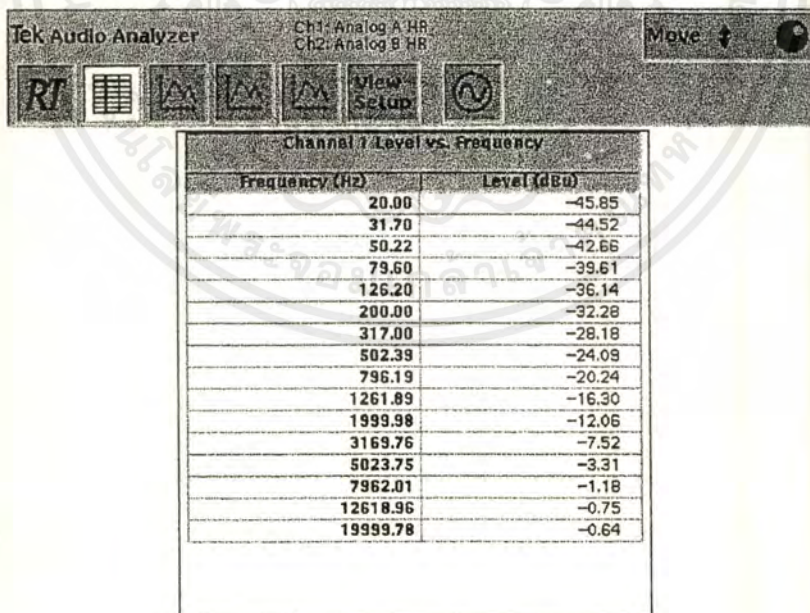
Frequency (Hz)	Level (dBu)
20.00	-42.95
31.70	-40.88
50.19	-37.82
79.60	-34.47
126.20	-30.44
200.00	-24.31
317.00	-13.83
502.39	-4.46
796.19	-0.83
1261.89	-0.26
1999.98	-0.50
3169.76	-1.36
5023.75	-3.93
7962.01	-10.14
12618.96	-19.80
19999.78	-31.67

ตารางที่ 7.2 แสดงค่าแบนด์พาสของวงจรถึงคิ่วซ์ไเรลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

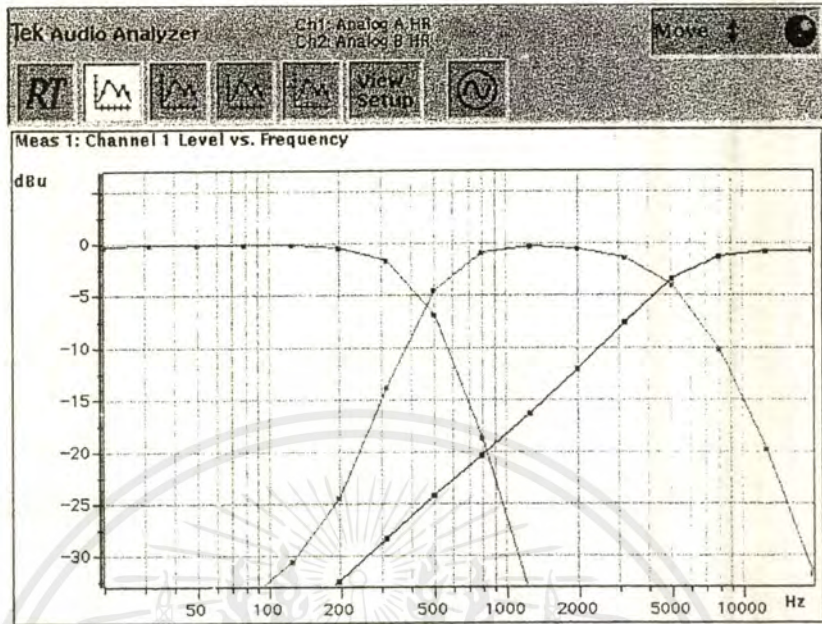


รูปที่ 7.3 กราฟตอบสนองความถี่ไฮพาสของวงจรคัตวีลซ์ไอร์แลนด์

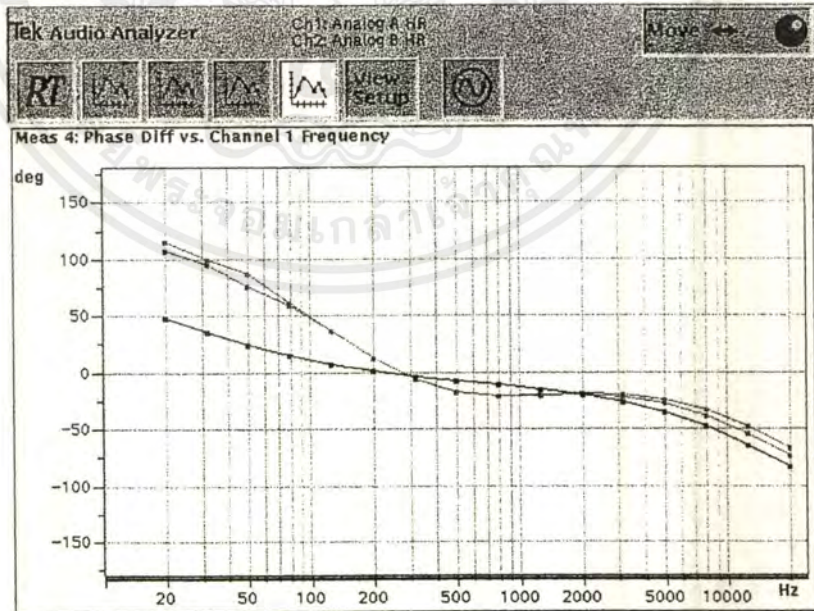


ตารางที่ 7.3 แสดงค่าไฮพาสของวงจรคัตวีลซ์ไอร์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



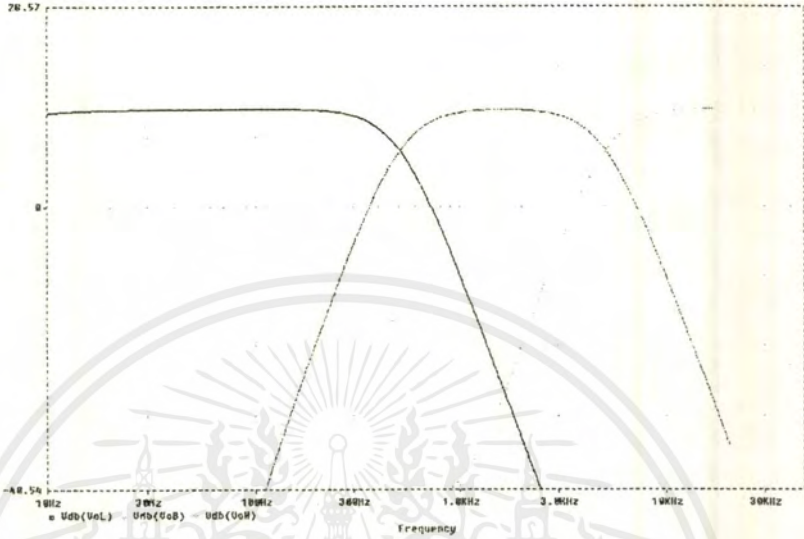
รูปที่ 7.4 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่คutoff ของวงจรคัตวีสวีทช์ไร้เลย์



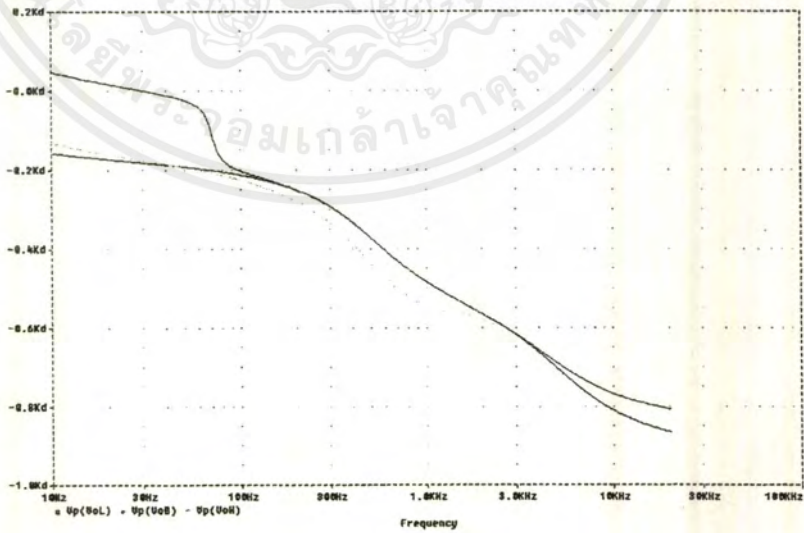
รูปที่ 7.5 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรคัตวีสวีทช์ไร้เลย์จากเครื่องออกดิโออนาลิเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Pspice

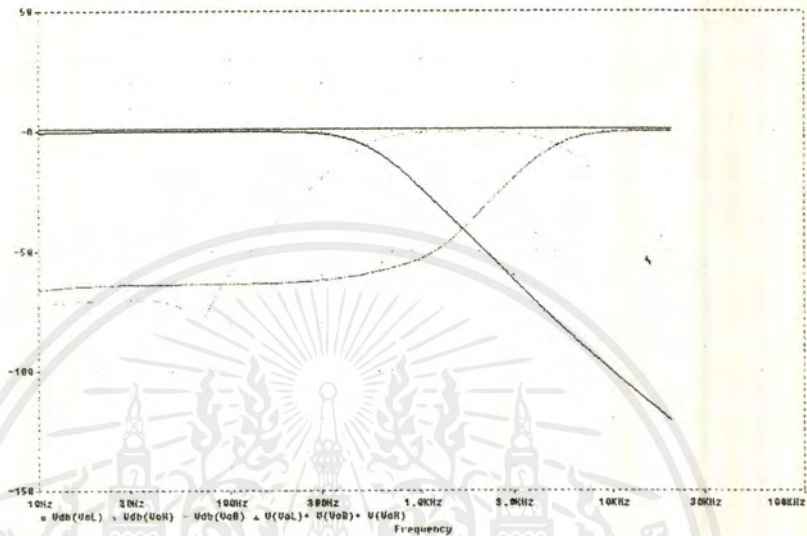


รูปที่ 7.6 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่คutoffของวงจรคิรีเลย์จากโปรแกรม Pspice



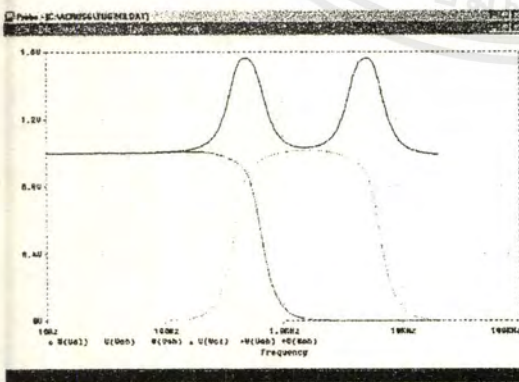
รูปที่ 7.7 แสดงผลตอบสนองทางเฟสของวงจรคิรีเลย์จากโปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

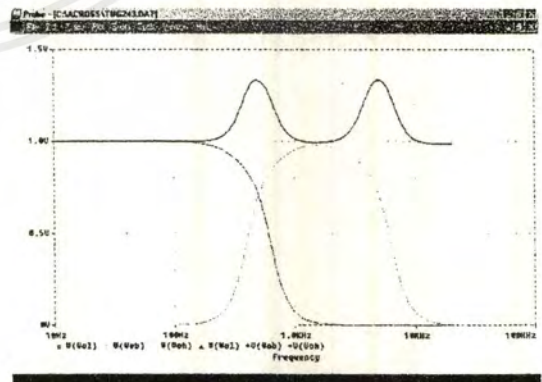


รูปที่ 7.8 แสดงผลของวงจรลิ่งค์วิซซีไรเลย์ เมื่อนำมา Cross กันโดยใช้โปรแกรม Pspice

ผลการปรับเปลี่ยนค่า  $\alpha_U$  และ  $\alpha_G$  ของวงจรอุตรัสเพียริคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสสเตโพลีโนเมียลเมื่อนำมา Cross กันโดยใช้โปรแกรม Pspice

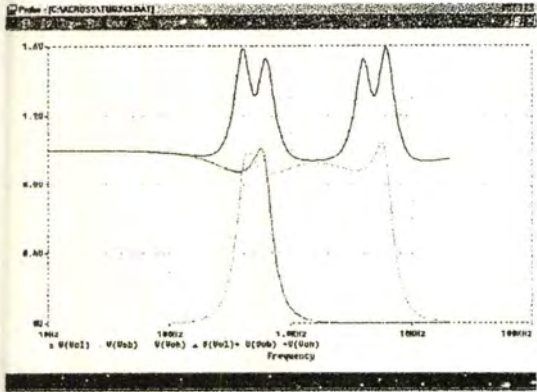


รูปที่ 7.9  $\alpha_U = 0.05$   $\alpha_G = 2.0$

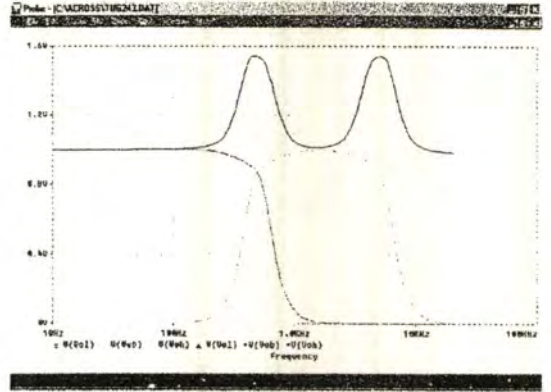


รูปที่ 7.10  $\alpha_U = 0.05$   $\alpha_G = 3.0$

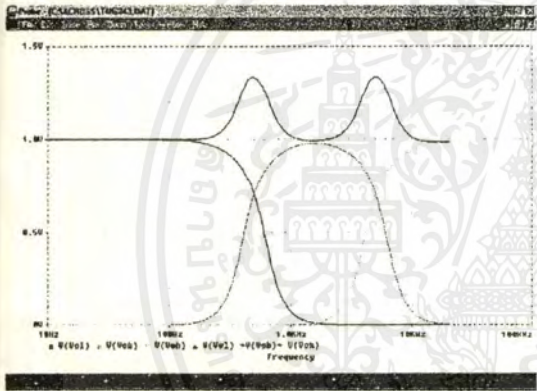
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



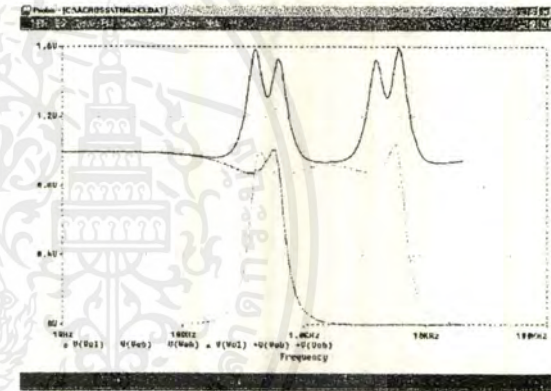
รูปที่ 7.11  $\alpha_U = 0.05$   $\alpha_G = 4.0$



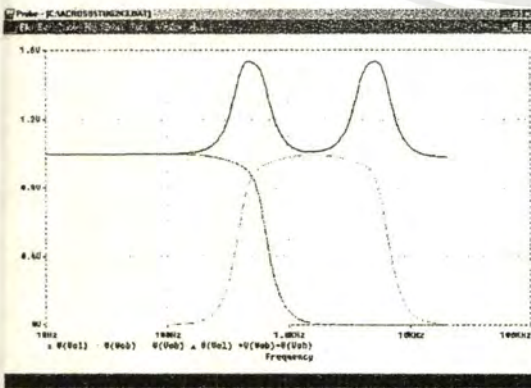
รูปที่ 7.12  $\alpha_U = 0.10$   $\alpha_G = 2.0$



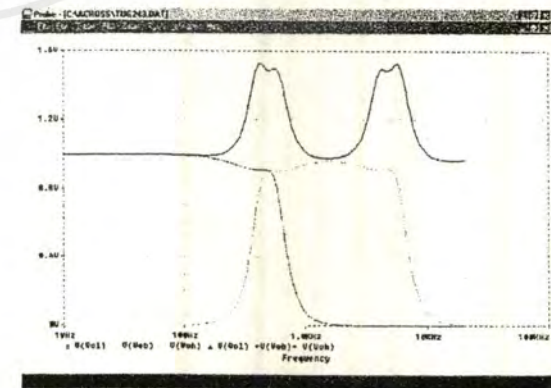
รูปที่ 7.13  $\alpha_U = 0.10$   $\alpha_G = 3.0$



รูปที่ 7.14  $\alpha_U = 0.10$   $\alpha_G = 4.0$

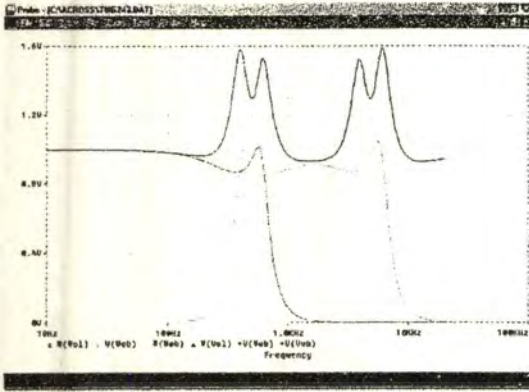


รูปที่ 7.15  $\alpha_U = 0.15$   $\alpha_G = 2.0$

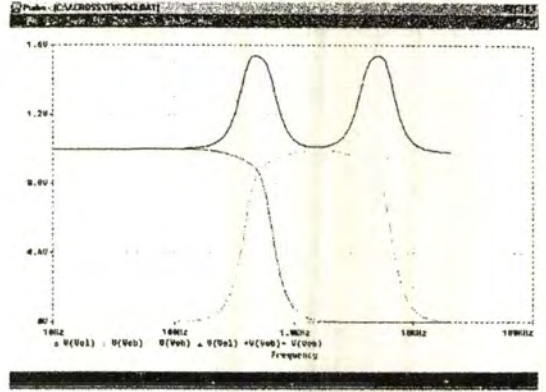


รูปที่ 7.16  $\alpha_U = 0.15$   $\alpha_G = 3.0$

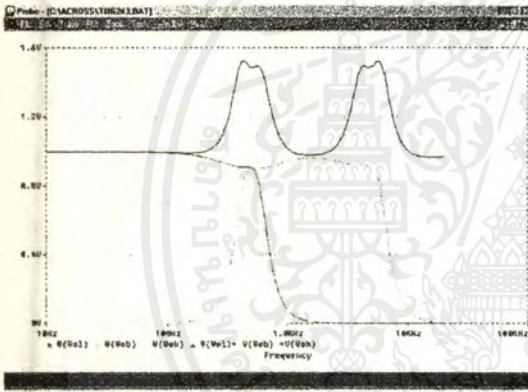
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



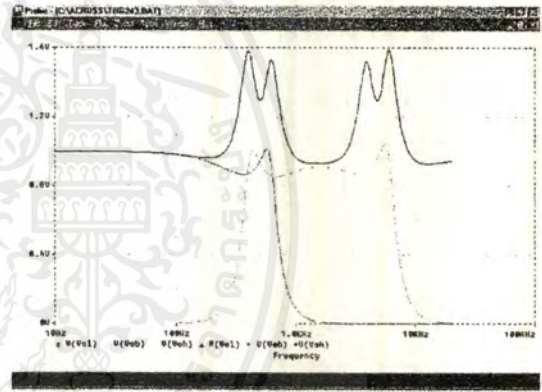
รูปที่ 7.17  $\alpha_U = 0.15$   $\alpha_G = 4.0$



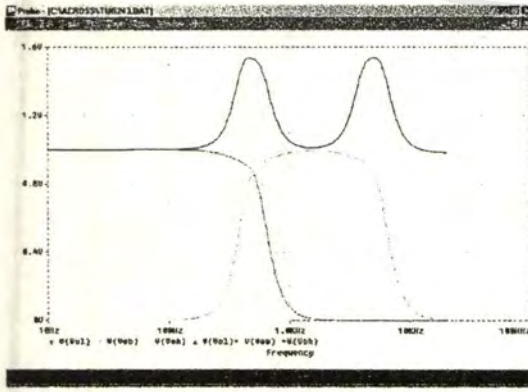
รูปที่ 7.18  $\alpha_U = 0.20$   $\alpha_G = 2.0$



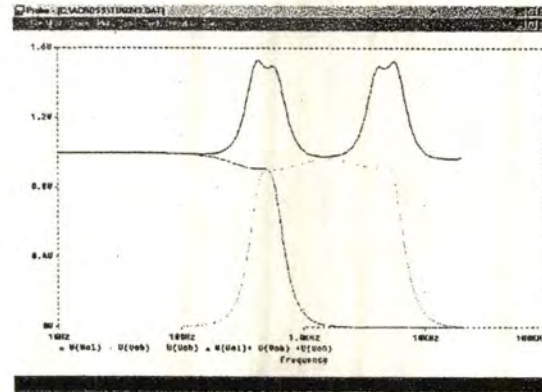
รูปที่ 7.19  $\alpha_U = 0.20$   $\alpha_G = 3.0$



รูปที่ 7.20  $\alpha_U = 0.20$   $\alpha_G = 4.0$

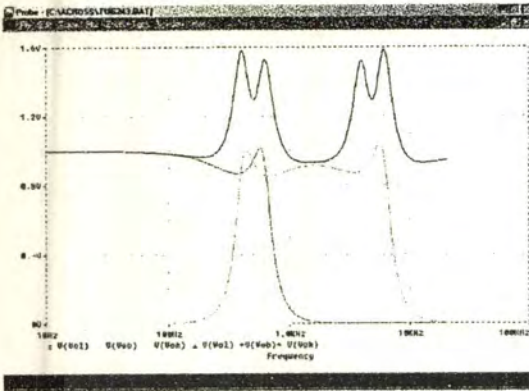
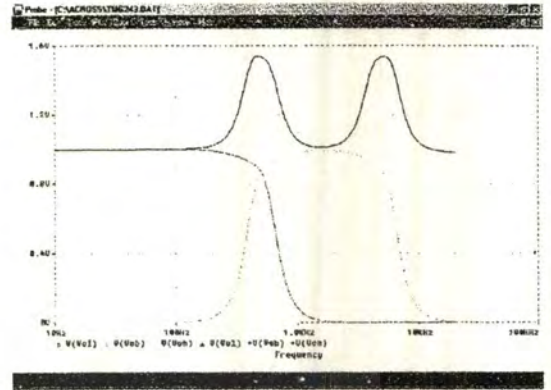
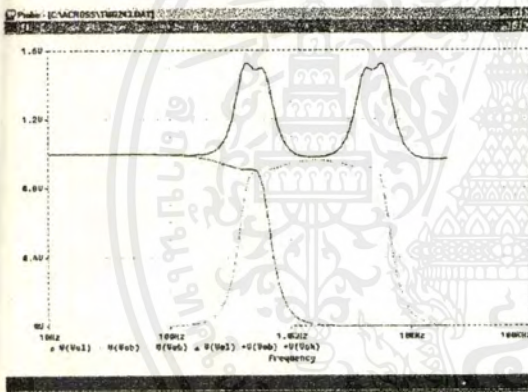
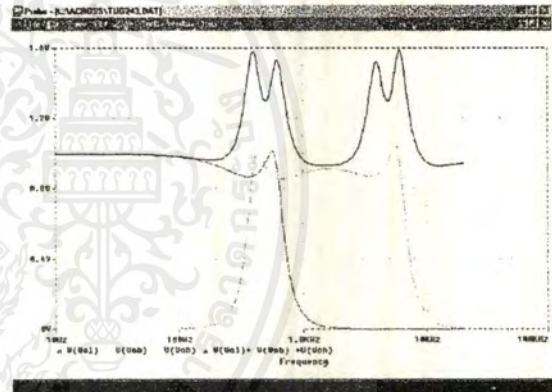


รูปที่ 7.21  $\alpha_U = 0.25$   $\alpha_G = 2.0$



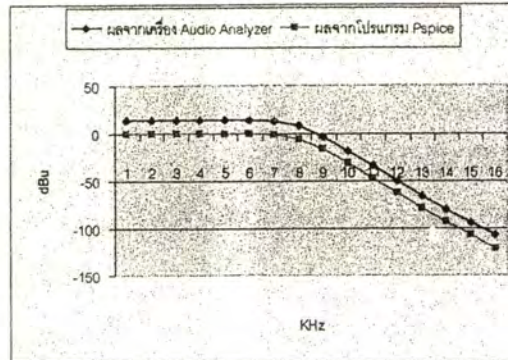
รูปที่ 7.22  $\alpha_U = 0.25$   $\alpha_G = 3.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

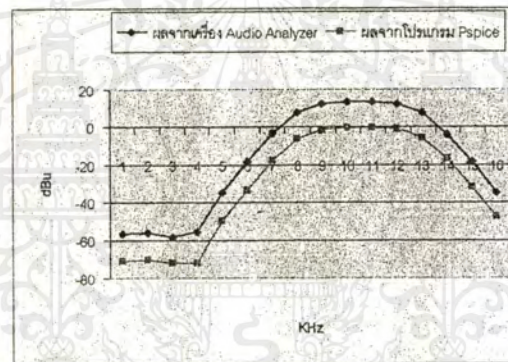
รูปที่ 7.23  $\alpha_U = 0.25$   $\alpha_G = 4.0$ รูปที่ 7.24  $\alpha_U = 0.30$   $\alpha_G = 2.0$ รูปที่ 7.25  $\alpha_U = 0.30$   $\alpha_G = 3.0$ รูปที่ 7.26  $\alpha_U = 0.30$   $\alpha_G = 4.0$ 

หมายเหตุ : สเกลที่ใช้อยู่ในแกนของโวลท์

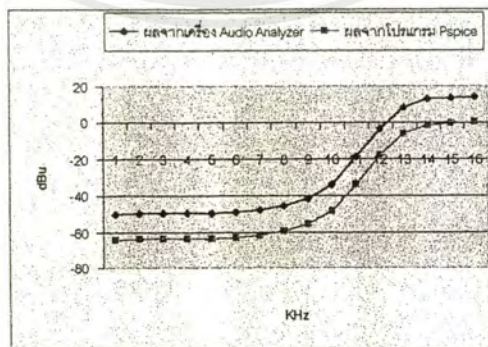
## ผลการเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรม Excel



รูปที่ 7.27 การเปรียบเทียบผลของ LPF จากเครื่องออดิโอแอนาไลเซอร์ กับ โปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel

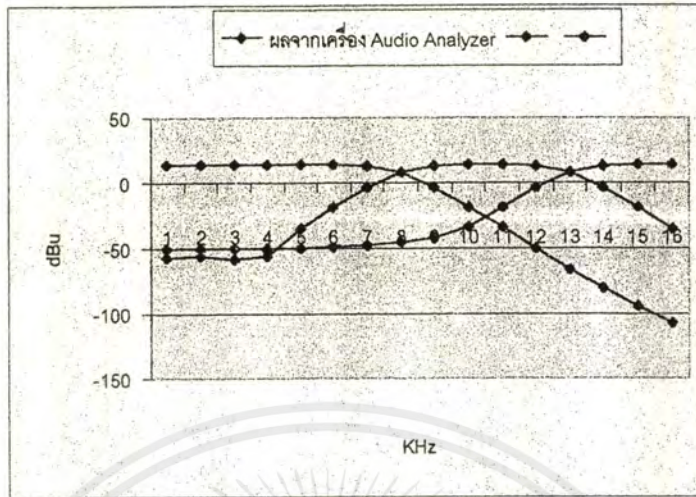


รูปที่ 7.28 การเปรียบเทียบผลของ BPF จากเครื่องออดิโอแอนาไลเซอร์ กับโปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel

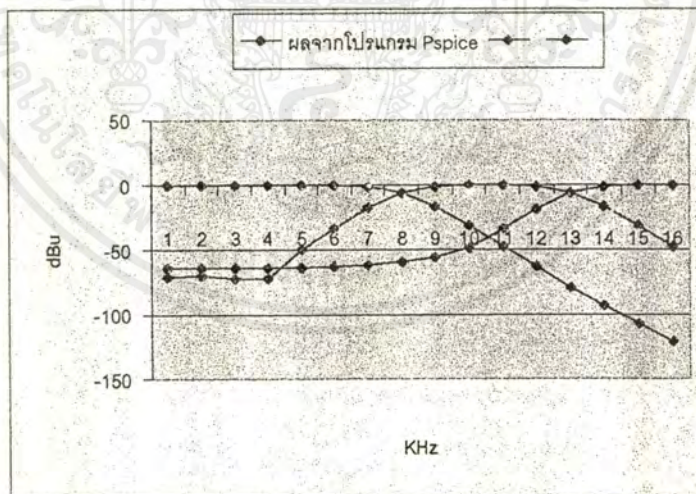


รูปที่ 7.29 การเปรียบเทียบผลของ HPF จากเครื่องออดิโอแอนาไลเซอร์กับโปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.30 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่คัตออฟของวงจรลิ่งค์ไเรเลย์จากเครื่องออดิโอแอนาไลเซอร์ โดยใช้โปรแกรม Excel



รูปที่ 7.31 กราฟตอบสนองความถี่และความถี่คัตออฟของวงจรลิ่งค์ไเรเลย์จากโปรแกรม Pspice โดยใช้โปรแกรม Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

จากรูปกราฟที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่ากราฟของอูตรัสเพียริคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสเสด โพลีโนเมียลมีผลตอบสนองความถี่ในช่วงพาสแบนด์ที่ราบเรียบและสโลปที่มีความชันมากกว่าของดิควีรซ์ไรเลย์รวมไปถึงเฟสและกรุปดีเลย์ก็ดีกว่าของดิควีรซ์ไรเลย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษา และผลการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่อง Audio Analyzer กับ โปรแกรม Pspice ผลของเครื่อง Audio Analyzer จะเห็นว่าเกณฑ์การขยายจะเพิ่มขึ้นมากกว่าผลของโปรแกรม Pspice

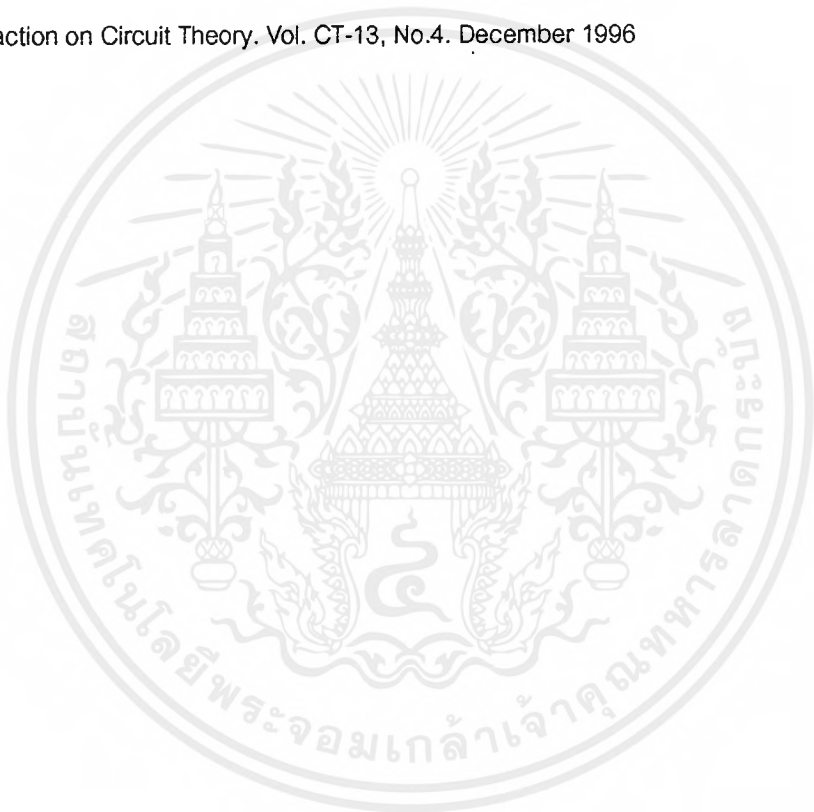
นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่าการแปรพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถทำให้ผลตอบสนองความถี่ของวงจรเปลี่ยนแปลงไปโดยที่เราให้ค่าของ  $m, \alpha_u$  และ  $\alpha_G$  เปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้เฟสและกรุปดีเลย์ดีขึ้น แต่แมกนิจูดและเกนสโลปจะแยกลง ในทางกลับกันถ้าเราให้ค่าของ  $m, \alpha_u$  และ  $\alpha_G$  ลดลง ผลตอบสนองทางขนาดจะดีขึ้นแต่เฟสและกรุปดีเลย์จะแยกลง ดังนั้นการนำเอาทรานซิชันเนลอูตรัสเพียริคัลเงินเนอร์ไลซ์เบสเสด โพลีโนเมียลไปใช้ในการออกแบบวงจรรองความถี่จะต้องพิจารณาค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้วงจรที่มีผลตอบสนองความถี่ที่เราต้องการ ซึ่งค่าที่ให้ผลดีที่สุดจากการออกแบบในการทดลองคือ  $m = 03.5, \alpha_u = 0.05$  และ  $\alpha_G = 3.0$

## ปัญหาในการทำงาน

จากวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้วนั้น เมื่อทำการประกอบวงจรเพื่อทำการทดลองต้องมีการปรับเปลี่ยนส่วนประกอบของวงจรบางส่วน เพื่อให้ได้ผลตามที่เรากำลังต้องการ โดยมีสาเหตุจากค่าอุปกรณ์ที่ได้จากการคำนวณ ยังไม่ใช่ค่าที่เป็นมาตรฐานที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าอุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะสมกันเพื่อให้วงจรที่ออกแบบไว้มีผลตอบสนองต่อความถี่ที่เราต้องการ

## เอกสารอ้างอิง

1. กนก เจนจิระพงศ์เวช , นิกร สุขุมตันติ “ทรานซิชันแนลบัดเดอ์เวิช-เจ็นเนอ์โร้ชเบสเสล โพลีโนเมียล ฟิลเตอร์”,การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 10 ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เล่มที่ 2 หน้า 239-247
2. กนก เจนจิระพงศ์เวช,ชวลิต เมญ่จางคประเสริฐ,ประภังคังคิตานนท์,คตชัย สุขเจริญผล “วงจรรองความถี่ต่ำ อุลตราสเฟียริคัล-เจ็นเนอ์โร้ชเบสเสล โพลีโนเมียล”,การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 9
3. D.E. Johnson and J.R. Johnson, “Low-Pass Filter using Ultraspherical Polynomail”, IEEE Transaction on Circuit Theory. Vol. CT-13, No.4. December 1996



## ภาคผนวก(DATA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเขียนโปรแกรม

เปิดฟอร์มแรกขึ้นมาแล้ววางคอมโพเนนต์ดังรูป



รูปโปรแกรมช่วยออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ก

แล้วเขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
```

```
StdCtrls, ExtCtrls, Buttons;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
Panel1: TPanel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RadioButton1: TRadioButton;
RadioButton2: TRadioButton;
Label1: TLabel;
Panel2: TPanel;
Label2: TLabel;
RadioButton3: TRadioButton;
RadioButton4: TRadioButton;
Panel3: TPanel;
Label3: TLabel;
RadioButton5: TRadioButton;
RadioButton6: TRadioButton;
BitBtn1: TBitBtn;
BitBtn2: TBitBtn;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
BitBtn3: TBitBtn;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

```

#### implementation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

uses Unit2, Unit3, Unit4, Unit5, Unit8, Unit9, Unit10, Unit11, Unit12;

{SR \*.DFM}

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);

begin

if radiobutton1.Checked then

begin

if radiobutton3.Checked then

begin

if radiobutton5.Checked then

form2.showmodal;

if radiobutton6.Checked then

form3.showmodal

end;

if radiobutton4.Checked then

begin

if radiobutton5.Checked then

form4.showmodal;

if radiobutton6.Checked then

form5.showmodal

end;

end;

if radiobutton2.Checked then

begin

if radiobutton3.Checked then

begin

if radiobutton5.Checked then

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        form8.showmodal;
    if radiobutton6.Checked then
        form9.showmodal
    end;
    if radiobutton4.checked then
    begin
        if radiobutton5.checked then
            form10.showmodal;
        if radiobutton6.Checked then
            form11.showmodal
        end;
    end;
end;

end;

end;

procedure TForm1.FornKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
    if (Key = #13) then
        begin
            Key := #0;
            Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
        end;
end;

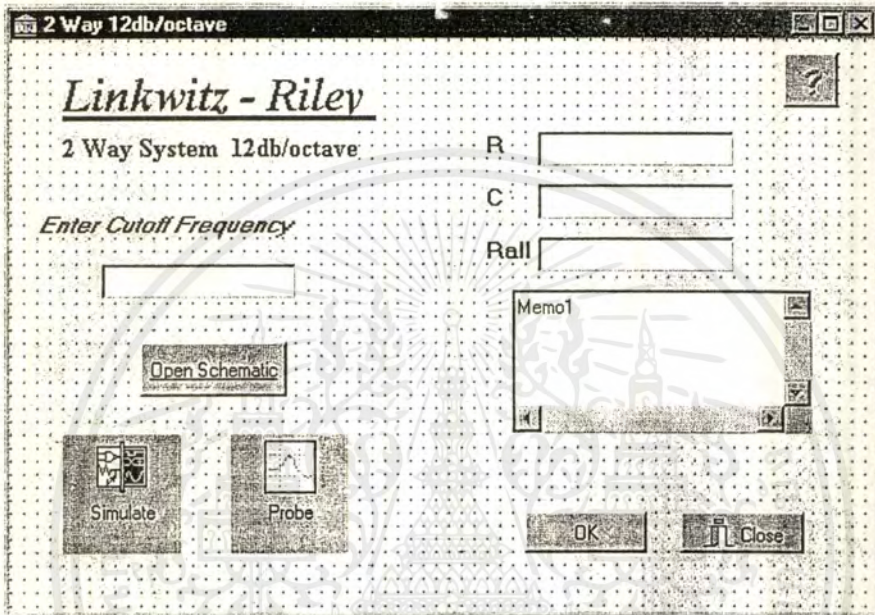
procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
    helpform.showmodal
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

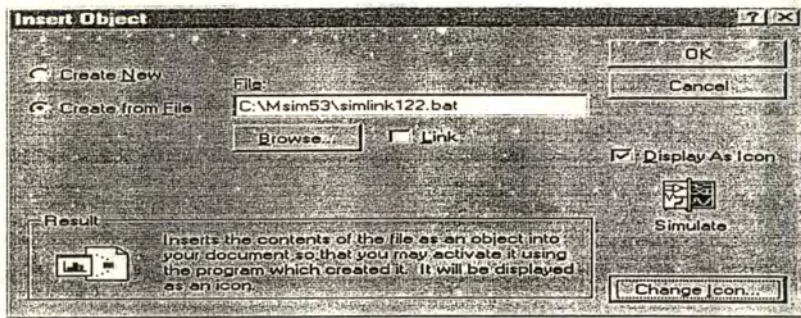
end.

เปิดฟอร์มออกมาใหม่ เพื่อเขียนโปรแกรมออกแบบ Linkwitz-Riley 12 db/octave 2 way System



รูปแสดงฟอร์มของ Linkwitz-Riley 12 db/octave 2 way System

ส่วนคอมโพเนนต์OleContainer1 ให้ดับเบิลคลิกที่ตัวคอมโพเนนต์ แล้วเลือกที่ Create Form File แล้ว เลือกที่ไฟล์ simlink122 .bat ซึ่งเขียนไว้ก่อนแล้ว ส่วน OleContainer2 ก็เช่นเดียวกัน แต่เลือกที่ไฟล์ plotlink122.bat



## รูปการใช้คอมโพเนนต์ OleContainer

แล้วก็เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

```
unit Unit2;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls, Buttons, OleCtrls;
```

```
type
```

```
TForm2 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Button1: TButton;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
BitBtn1: TBitBtn;
```

```
Button2: TButton;
```

```
Memo1: TMemo;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BitBtn3: TBitBtn;
OleContainer1: TOleContainer;
OleContainer2: TOleContainer;
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form2: TForm2;
implementation
uses Unit12;

{$R *.DFM}
procedure TForm2.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
  helpform.showmodal;
end;
procedure TForm2.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
  if (Key = #13) then
    begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Key := #0;
Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
end;
end;
procedure TForm2.Button2Click(Sender: TObject);
var
c,r:double;
fc:integer;
begin
fc:=strtoint(edit1.text);
c:=10e-9;
r:=0.707/(6.28*c*fc);
edit3.text:=floattostr(c);
edit2.text:=floattostr(r);

{edit spsice}
memo1.lines[3]:='R_R1 $N_0003 $N_0001 ' +edit2.text;
memo1.lines[8]:='R_R2 $N_0002 $N_0004 ' +edit2.text;
memo1.lines[12]:='R_R3 V1 $N_0008 ' +edit2.text;
memo1.lines[13]:='R_R4 $N_0005 $N_0009 ' +edit2.text;
memo1.lines[14]:='R_R5 $N_0009 $N_0006 ' +edit2.text;
memo1.lines[24]:='R_R12 $N_0003 $N_0016 ' +edit2.text;
memo1.lines[25]:='R_R31 $N_0012 $N_0017 ' +edit2.text;
memo1.lines[26]:='R_R14 $N_0017 $N_0013 ' +edit2.text;
memo1.lines[46]:='R_R20 $N_0015 $N_0028 ' +edit2.text;
memo1.lines[47]:='R_R21 $N_0025 $N_0029 ' +edit2.text;
memo1.lines[48]:='R_R22 $N_0029 $N_0026 ' +edit2.text;

memo1.lines.SaveToFile('link122.net');
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

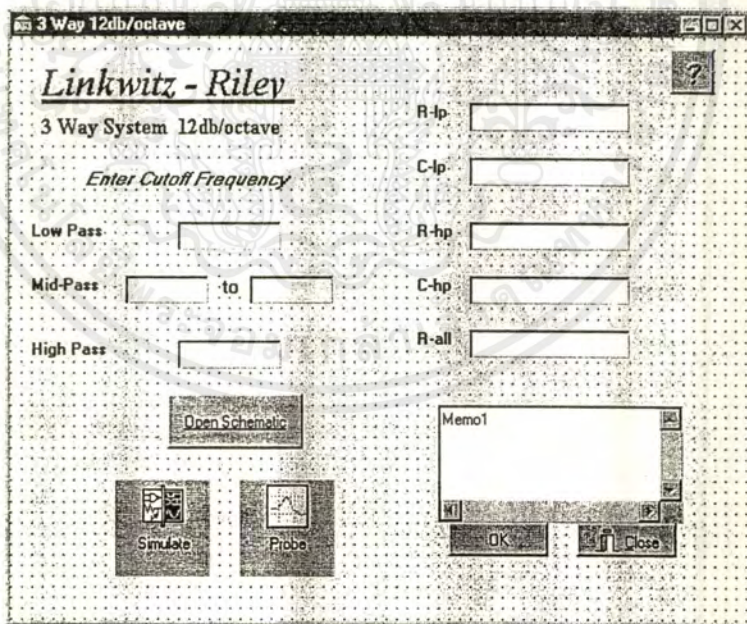
```

procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
memo1.Lines.LoadFromFile('link122.net');
end;

procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form14.showmodal;
end;
end.

```

เปิดฟอร์มใหม่ เพื่อที่จะเขียน โปรแกรมออกแบบ Linkwitz – Riley 12 db/octave 3 way System  
วางคอมโพเนนต์ดังรูป



รูปแสดงฟอร์มของ Linkwitz-Riley 12 db/octave 3 way System

คอมโพเนนต์ OleContainer1 ให้ดับเบิลคลิกที่ ตัวคอมโพเนนต์ แล้วเลือกที่ Create Form File แล้วเลือกที่ไฟล์ simlink123.bat ซึ่งเขียนไว้ก่อนแล้ว ส่วน OleContainer2 ก็เช่นเดียวกัน แต่เลือกที่ไฟล์ plotlink123.bat

แล้วก็เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

```
unit Unit3;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Buttons, OleCtrls;
```

```
type
```

```
TForm3 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
Label8: TLabel;
```

```
Label9: TLabel;
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
Edit4: TEdit;
```

```
Button1: TButton;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Label10: TLabel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label11: TLabel;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Memo1: TMemo;
Button2: TButton;
BitBtn3: TBitBtn;
BitBtn1: TBitBtn;
OleContainer1: TOleContainer;
OleContainer2: TOleContainer;
procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

{$R *.DFM}

```

```

procedure TForm3.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
  if (Key = #13) then
    begin
      Key := #0;
      Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
    end;
end;

```

```

procedure TForm3.Button2Click(Sender: TObject);
var
  fl,fh:integer;
  r:double;
begin
  edit6.text:='10n';
  fl:=strtoint(edit1.text);
  r:=0.707/(6.28*10e-9*fl);
  edit5.text:=floattostr(r);
  edit8.text:='1n';
  fh:=strtoint(edit2.text);
  r:=0.707/(6.28*1e-9*fh);
  edit7.text:=floattostr(r);

  {edit spice}

  memo1.lines[3]:='R_R1   $N_0003 $N_0001 ' +edit5.text;
  memo1.lines[9]:='R_R2   $N_0002 $N_0004 ' +edit5.text;
  memo1.lines[13]:='R_R3   V1 $N_0008 ' +edit5.text;
  memo1.lines[14]:='R_R4   $N_0005 $N_0009 ' +edit5.text;
  memo1.lines[15]:='R_R5   $N_0009 $N_0006 ' +edit5.text;
  memo1.lines[25]:='R_R12  $N_0003 $N_0016 ' +edit5.text;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
memo1.lines[26]:= 'R_R13 $N_0012 $N_0017 ' +edit5.text;  
memo1.lines[27]:= 'R_R14 $N_0017 $N_0013 ' +edit5.text;  
memo1.lines[47]:= 'R_R20 $N_0015 $N_0031 ' +edit7.text;  
memo1.lines[48]:= 'R_R21 $N_0027 $N_0032 ' +edit7.text;  
memo1.lines[49]:= 'R_R22 $N_0032 $N_0028 ' +edit7.text;  
memo1.lines[58]:= 'R_R37 $N_0015 $N_0035 ' +edit7.text;  
memo1.lines[61]:= 'R_R36 $N_0036 $N_0037 ' +edit7.text;
```

```
end;
```

```
procedure TForm3.Edit1Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
edit3.text:=edit1.Text;
```

```
end;
```

```
procedure TForm3.Edit2Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
edit4.text:=edit2.text;
```

```
end;
```

```
procedure TForm3.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
memo1.Lines.LoadFromFile('link123.net');
```

```
end;
```

```
procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

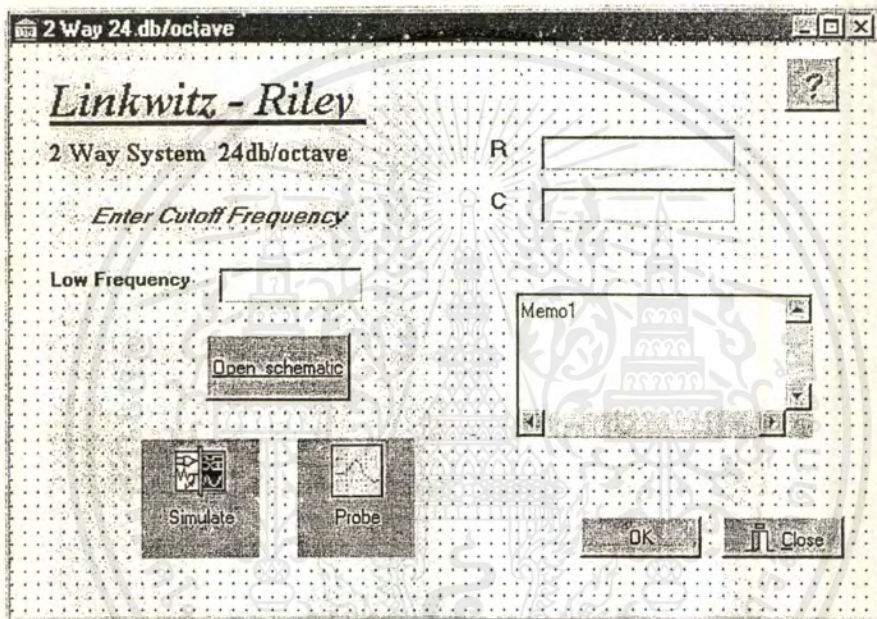
```
form13.showmodal;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end;

end.

เปิดฟอร์มใหม่เพื่อเขียน โปรแกรม ออกแบบ Linkwitz-Riley 24dB/octave 2way System  
วางคอมโพเนนต์ต่าง ๆ ดังนี้



รูปแสดงฟอร์มของ Linkwitz-Riley 24 dB/octave 2 way System

เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

unit Unit4;

interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Buttons, OleCtrls;

type

TForm4 = class(TForm)

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

BitBtn1: TBitBtn;

Button1: TButton;

Memo1: TMemo;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Button2: TButton;

Edit1: TEdit;

BitBtn3: TBitBtn;

OleContainer1: TOleContainer;

OleContainer2: TOleContainer;

procedure Button1Click(Sender: TObject);

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure FormCreate(Sender: TObject);

procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);

procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

public
  { Public declarations }
end;

var
  Form4: TForm4;

implementation

uses Unit6, Unit12;

{$R *.DFM}

procedure TForm4.Button1Click(Sender: TObject);
var
  c,r:double;
  fc:integer;
begin
  fc:=strtoint(edit1.text);
  c:=10e-9;
  r:=0.707/(6.28*c*fc);
  edit3.text:=floattostr(c);
  edit2.text:=floattostr(r);

  memo1.lines[6]:='R_R1   v1 $N_0004 '+edit2.text;
  memo1.lines[5]:='R_R2   $N_0004 $N_0002 '+edit2.text;
  memo1.lines[15]:='R_R4   $N_0008 $N_0006 '+edit2.text;
  memo1.lines[16]:='R_R3   $N_0003 $N_0008 '+edit2.text;
  memo1.lines[22]:='R_R5   $N_0007 $N_0013 '+edit2.text;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

memo1.lines[23]:='R_R8 $N_0009 $N_0014 '+edit2.text;
memo1.lines[38]:='R_R9 $N_0014 $N_0010 '+edit2.text;
memo1.lines[41]:='R_R14 v1 $N_0023 '+edit2.text;
memo1.lines[42]:='R_R17 $N_0019 $N_0024 '+edit2.text;
memo1.lines[43]:='R_R18 $N_0024 $N_0020 '+edit2.text;
memo1.lines[54]:='R_R22 $N_0022 $N_0031 '+edit2.text;
memo1.lines[55]:='R_R23 $N_0028 $N_0032 '+edit2.text;
memo1.lines[56]:='R_R24 $N_0032 $N_0029 '+edit2.text;
memo1.Lines.SaveToFile('link2.net');
end;

procedure TForm4.Button2Click(Sender: TObject);
begin
form6.showmodal
end;

procedure TForm4.FormCreate(Sender: TObject);
begin
memo1.Lines.LoadFromFile('link2.net');
end;

procedure TForm4.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
if (Key = #13) then
begin
Key := #0;
Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
end;
end;
end;

```

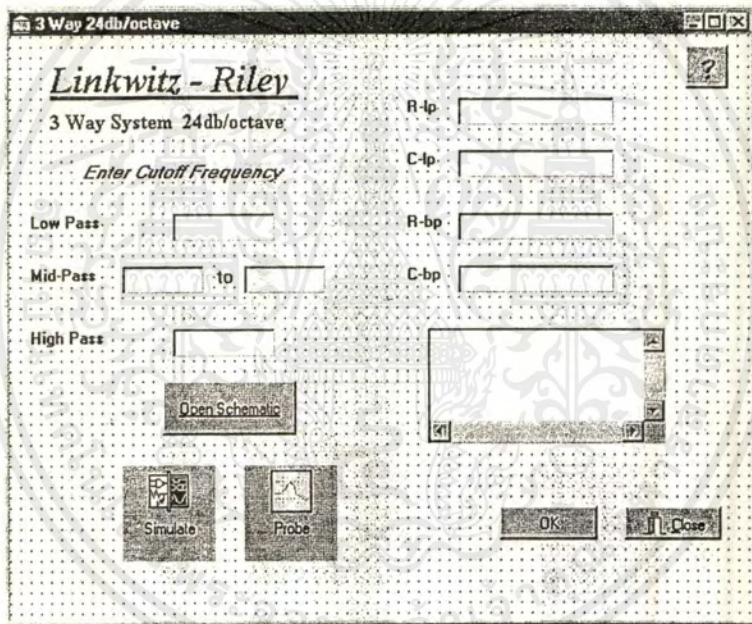
```

procedure TForm4.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
helpform.showmodal
end;

end.

```

เปิดฟอร์มใหม่เพื่อเขียนโปรแกรมออกแบบ Linkwitz-Riley 24 dB/octave 3 Way System วางคอมโพเนนต์ดังนี้



รูปแสดงฟอร์มของ Linkwitz-Riley 24 dB/octave 3 way System  
เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

```

unit Unit5;

interface

uses

```

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

StdCtrls, Buttons, OleCtrls;

type

TForm5 = class(TForm)

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Edit1: TEdit;

Label4: TLabel;

Edit2: TEdit;

Label5: TLabel;

Edit3: TEdit;

Edit4: TEdit;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Button1: TButton;

BitBtn1: TBitBtn;

Edit5: TEdit;

Edit6: TEdit;

Edit7: TEdit;

Edit8: TEdit;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Memo1: TMemo;

Button2: TButton;

BitBtn3: TBitBtn;

OleContainer1: TOleContainer;

OleContainer2: TOleContainer;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
```

```
private
  { Private declarations }
```

```
public
  { Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
Form5: TForm5;
```

```
implementation
```

```
uses Unit7, Unit12;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TForm5.Button2Click(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
f1,fh:integer;
```

```
r:double;
```

```
begin
```

```
edit6.text:='10n';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fl:=strtoint(edit1.text);
r:=0.707/(6.28*10e-9*fl);
edit5.text:=floattostr(r);
edit8.text:='1n';
fh:=strtoint(edit2.text);
r:=0.707/(6.28*1e-9*fh);
edit7.text:=floattostr(r);
```

```
memo1.lines[5]:='R_R2 $N_0004 $N_0002 '+edit5.text;
memo1.lines[6]:='R_R1 v1 $N_0004 '+edit5.text;
memo1.lines[15]:='R_R4 $N_0008 $N_0006 '+edit5.text;
memo1.lines[16]:='R_R3 $N_0003 $N_0008 '+edit5.text;
memo1.lines[22]:='R_R5 $N_0007 $N_0013 '+edit5.text;
memo1.lines[23]:='R_R8 $N_0009 $N_0014 '+edit5.text;
memo1.lines[33]:='R_R14 v1 $N_0021 '+edit5.text;
memo1.lines[34]:='R_R17 $N_0017 $N_0022 '+edit5.text;
memo1.lines[35]:='R_R18 $N_0022 $N_0018 '+edit5.text;
memo1.lines[44]:='R_R23 $N_0027 $N_0025 '+edit7.text;
memo1.lines[45]:='R_R22 $N_0020 $N_0027 '+edit7.text;
memo1.lines[50]:='R_R25 $N_0030 $N_0028 '+edit7.text;
memo1.lines[51]:='R_R24 $N_0026 $N_0030 '+edit7.text;
memo1.lines[57]:='R_R29 $N_0020 $N_0035 '+edit7.text;
memo1.lines[58]:='R_R30 $N_0031 $N_0036 '+edit7.text;
memo1.lines[59]:='R_R31 $N_0036 $N_0032 '+edit7.text;
memo1.lines[82]:='R_R9 $N_0014 $N_0010 '+edit5.text;
```

```
memo1.lines.SaveToFile('c:\msim53\link.net');
end;
```

```
procedure TForm5.Edit1Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
edit3.text:=edit1.Text;
```

```
end;
```

```
procedure TForm5.Edit2Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
edit4.Text:=edit2.text;
```

```
end;
```

```
procedure TForm5.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
memo1.Lines.LoadFromFile('link.net');
```

```
end;
```

```
procedure TForm5.Button1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
form7.showmodal;
```

```
end;
```

```
procedure TForm5.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
```

```
begin
```

```
if (Key = #13) then
```

```
begin
```

```
Key := #0;
```

```
Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
```

```
end;
```

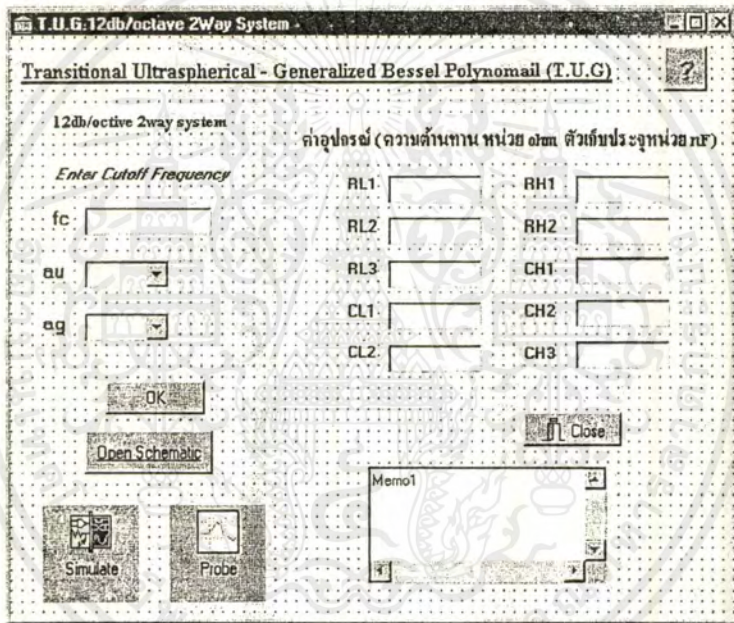
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
procedure TForm5.BitBtn3.Click(Sender: TObject);
begin
helpform.showmodal
end;
end.

```

เปิดฟอร์มใหม่เพื่อเขียนโปรแกรมออกแบบ ทราานซ์ชันอัลตราเจนเนอริไลซ์เบสเสลโพลิโนเมียล อันดับ 2 แบบ 2ทาง  
วางคอมโพเนนต์ดังนี้



รูป แสดงฟอร์มของ T.U.G. 12dB/octove 2Way System

เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

```

unit Unit8;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, OleCtrls;
type
TForm8 = class(TForm)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Label7: TLabel;  
Label8: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label48: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Edit1: TEdit;  
Button1: TButton;  
Edit3: TEdit;  
Edit4: TEdit;  
Edit5: TEdit;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
Button2: TButton;  
Memo1: TMemo;  
BitBtn3: TBitBtn;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ComboBox1: TComboBox;
BitBtn1: TBitBtn;
Edit12: TEdit;
OleContainer1: TOleContainer;
OleContainer2: TOleContainer;
Label18: TLabel;
ComboBox2: TComboBox;
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox1Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form8: TForm8;
  b0,b1,b2,b3:double;
  i,j:integer;
implementation
uses Unit12, Unit17;
{$R *.DFM}
procedure TForm8.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
  helpform.showmodal;
end;

```

```
procedure TForm8.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
```

```
begin
```

```
if (Key = #13) then
```

```
begin
```

```
Key := #0;
```

```
Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure TForm8.Button2Click(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
zl,zh,rl1,rl2,rl3,rh1,rh2,cl1,cl2,ch1,ch2,ch3:double;
```

```
fc,g:integer;
```

```
begin
```

```
fc:=strtoint(edit1.text);
```

```
zl:=1000;
```

```
zh:=10000;
```

```
cl1:=1;
```

```
cl2:=0.01;
```

```
g:=1;
```

```
rl2:=(2*(1+g))/((b1+sqrt(sqr(b1)-(4*0.01*b0*(1+g)))));
```

```
rl1:=rl2/g;
```

```
rl3:=1/(b1*rl2*cl2);
```

```
ch1:=1;
```

```
ch2:=ch1/g;
```

```
ch3:=1;
```

```
rh1:=(g*b1)/(((2*g)+1)*b0);
```

```
rh2:=((2*g)+1)/b0;
```

```
edit3.text:=floattostr(rl1*zl);
```

```
edit4.text:=floattostr(rl2*zl);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

edit5.text:=floattostr(r13*z1);
edit6.text:=floattostr(c11*1e-9/(6.28*z1*fc));
edit7.text:=floattostr(c12*1e-9/(6.28*z1*fc));
edit8.text:=floattostr(rh1*zh);
edit9.text:=floattostr(rh2*zh);
edit10.text:=floattostr(ch1*1e-9/(6.28*zh*fc));
edit11.text:=floattostr(ch2*1e-9/(6.28*zh*fc));
edit12.text:=floattostr(ch3*1e-9/(6.28*zh*fc));
{edit spice}
memo1.lines[3]:=R_R1 $N_0003 $N_0002 '+edit3.text;
memo1.lines[5]:=R_R2 $N_0002 VoL '+edit4.text;
memo1.lines[4]:=R_R3 $N_0002 $N_0001 '+edit5.text;
memo1.lines[8]:=C_C1 0 $N_0002 '+edit6.text+'n';
memo1.lines[7]:=C_C2 $N_0001 VoL '+edit7.text+'n';
memo1.lines[14]:=R_R4 $N_0006 0 '+edit8.text;
memo1.lines[13]:=R_R5 VoH $N_0005 '+edit9.text;
memo1.lines[15]:=C_C3 $N_0003 $N_0006 '+edit10.text+'n';
memo1.lines[17]:=C_C4 $N_0006 VoH '+edit11.text+'n';
memo1.lines[16]:=C_C5 $N_0006 $N_0005 '+edit12.text+'n';
memo1.Lines.SaveToFile('tug122.net');
end;
procedure TForm8.FormCreate(Sender: TObject);
begin
memo1.Lines.LoadFromFile('tug122.net');
end;
procedure TForm8.ComboBox2Click(Sender: TObject);
begin
j:=combobox1.itemindex;
b0:=1;
b1:=1;

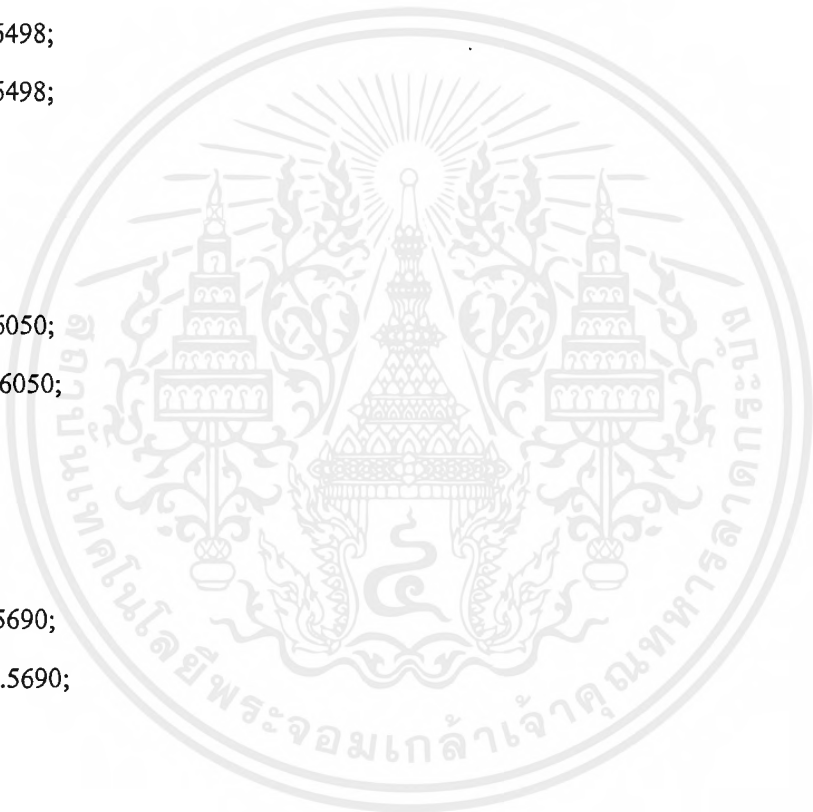
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

b2:=1;
b3:=1;
case i of
0:
begin
case j of
0:
begin
b1:=1.6498;
b3:=1.6498;
end;
1:
begin
b1:=1.6050;
b3:=1.6050;
end;
2:
begin
b1:=1.5690;
b3:=1.5690;
end;
end;
end;
end;
1:
begin
case j of
0:
begin
b1:=1.6416;
b3:=1.6416;

```



```

end;

1:
begin
b1:=1.5974;
b3:=1.5974;
end;

2:
begin
b1:=1.5613;
b3:=1.5613;
end;
end;
2:
begin
case j of
0:
begin
b1:=1.6338;
b3:=1.6338;
end;
1:
begin
b1:=1.6338;
b3:=1.6338;
end;
2:
begin
b1:=1.5544;
b3:=1.5544;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
end;
end;
3:
begin
  case j of
    0:
      begin
        b1:=1.6265;
        b3:=1.6265;
      end;
    1:
      begin
        b1:=1.5831;
        b3:=1.5831;
      end;
    2:
      begin
        b1:=1.5477;
        b3:=1.5477;
      end;
  end;
end;
end;
end;
4:
begin
  case j of
    0:
      begin
        b1:=1.6179;
        b3:=1.6179;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;
1:
begin
b1:=1.5766;
b3:=1.5766;
end;
2:
begin
b1:=1.5416;
b3:=1.5416;
end;
end;
end;
5:
begin
case j of
0:
begin
b1:=1.6132;
b3:=1.6132;
end;
1:
begin
b1:=1.5705;
b3:=1.5705;
end;
2:
begin
b1:=1.5356;
b3:=1.5356;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
end;
end;
end;
end;

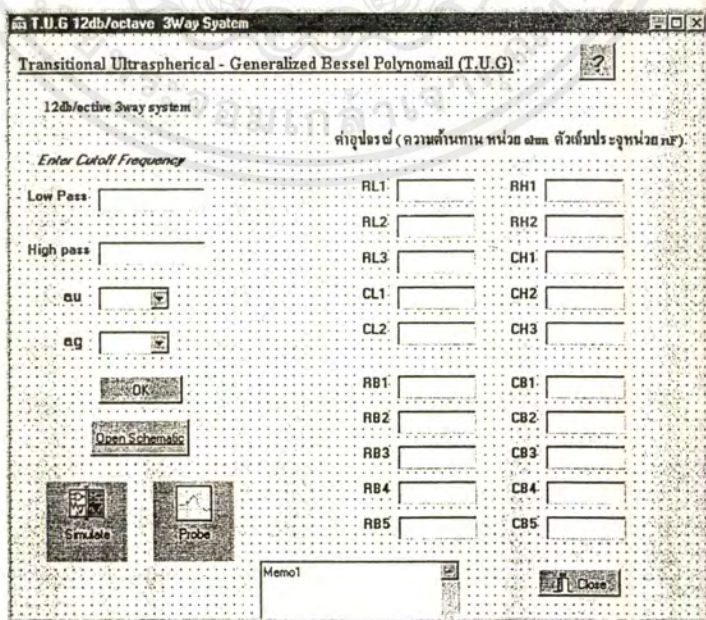
```

```

procedure TForm8.ComboBox1Click(Sender: TObject);
begin
i:=combobox2.itemindex;
end;
procedure TForm8.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form17.showmodal
end;
end.

```

เปิดฟอร์มใหม่เพื่อเขียนโปรแกรมออกแบบ ทราเนอซิชันอัลตราเจนเนอเรอร์ไลซ์เบสเสล โพลีโนเมียล อันดับ 2 แบบ 3 ทาง วางคอมโพเนนต์ดังนี้



รูป แสดงฟอร์มของ T.U.G. 12dB/octave 3Way System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

```
unit Unit9;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Buttons, OleCtrls;
```

```
type
```

```
TForm9 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
Label8: TLabel;
```

```
Label12: TLabel;
```

```
Label13: TLabel;
```

```
Label16: TLabel;
```

```
Label17: TLabel;
```

```
Label19: TLabel;
```

```
Label20: TLabel;
```

```
Label21: TLabel;
```

```
Label24: TLabel;
```

```
Label28: TLabel;
```

```
Label29: TLabel;
```

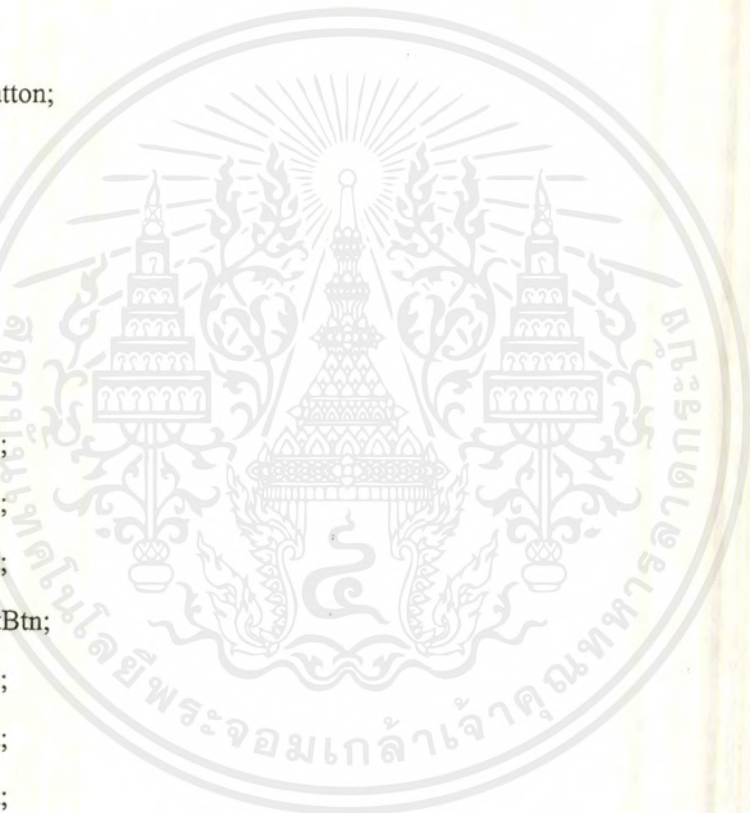
```
Label30: TLabel;
```

```
Label31: TLabel;
```

```
Label32: TLabel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Label18: TLabel;  
Label38: TLabel;  
Label39: TLabel;  
Label40: TLabel;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Label48: TLabel;  
Edit1: TEdit;  
Edit2: TEdit;  
Button1: TButton;  
Edit3: TEdit;  
Edit4: TEdit;  
Edit5: TEdit;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
Edit14: TEdit;  
Edit15: TEdit;  
BitBtn1: TBitBtn;  
Edit16: TEdit;  
Edit17: TEdit;  
Edit24: TEdit;  
Edit25: TEdit;  
Edit26: TEdit;  
Edit27: TEdit;  
Edit28: TEdit;  
Button2: TButton;  
Edit34: TEdit;  
Edit35: TEdit;  
Edit36: TEdit;



```

Edit37: TEdit;
Edit38: TEdit;
Memo1: TMemo;
BitBtn3: TBitBtn;
OleContainer1: TOleContainer;
OleContainer2: TOleContainer;
ComboBox1: TComboBox;
ComboBox2: TComboBox;
procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox1Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form9: TForm9;
  b0,b1,b2,b3,b4:double;
  i,j:integer;
implementation
uses Unit18;
{$R *.DFM}
procedure TForm9.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
  if (Key = #13) then
    begin

```

```

Key := #0;
Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
end;
end;
procedure TForm9.FormCreate(Sender: TObject);
begin
memo1.Lines.LoadFromFile('tug123.net');
end;
procedure TForm9.Button2Click(Sender: TObject);
var
r11,r12,r13,c11,c12,rh1,rh2,ch1,ch2,ch3,rb1,rb2,rb3,rb4,rb5,cb1,cb2,cb3,cb4,cb5,
zl,zh:double;
fl,fh,g:integer;
begin
fl:=strtoint(edit1.text);
fh:=strtoint(edit2.text);
zl:=1000;
zh:=10000;
c11:=1;
c12:=0.1;
g:=1;
r12:=(2*(1+g))/((b1+sqrt(sqr(b1)-(4*0.01*b0*(1+g)))));
r11:=r12/g;
r13:=1/(b0*r12*c12);
ch1:=1;
ch2:=ch1/g;
ch3:=1;
rh1:=g*b3/(((2*g)+1)*b3);
rh2:=((2*g)+1)/b3;
rb1:=r11;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

rb2:=r12;
rb3:=r13;
rb4:=rh1;
rb5:=rh2;
edit3.text:=floattostr(r11*z1);
edit4.text:=floattostr(r12*z1);
edit5.text:=floattostr(r13*z1);
edit6.text:=floattostr(c11*1e-9/(6.28*z1*fl));
edit7.text:=floattostr(c12*1e-9/(6.28*z1*fl));
edit13.text:=floattostr(rh1*zh);
edit14.text:=floattostr(rh2*zh);
edit15.text:=floattostr(ch1*1e-9/(6.28*zh*fH));
edit16.text:=floattostr(ch2*1e-9/(6.28*zh*fH));
edit17.text:=floattostr(ch3*1e-9/(6.28*zh*fH));
edit34.text:=floattostr(r11*z1);
edit35.text:=floattostr(r12*z1);
edit36.text:=floattostr(r13*z1);
edit37.text:=floattostr(rh1*zh);
edit38.text:=floattostr(rh2*zh);
edit24.text:=floattostr(c11*1e-9/(6.28*z1*fH));
edit25.text:=floattostr(c12*1e-9/(6.28*z1*fH));
edit26.text:=floattostr(ch1*1e-9/(6.28*zh*fl));
edit27.text:=floattostr(ch2*1e-9/(6.28*zh*fl));
edit28.text:=floattostr(ch3*1e-9/(6.28*zh*fl));
{edit spice}
memo1.lines[3]:='R_R1 $N_0003 $N_0002 '+edit3.text;
memo1.lines[5]:='R_R2 $N_0002 VoL '+edit4.text;
memo1.lines[4]:='R_R3 $N_0002 $N_0001 '+edit5.text;
memo1.lines[14]:='R_R4 $N_0007 0 '+edit34.text;
memo1.lines[13]:='R_R5 $N_0006 $N_0005 '+edit35.text;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วาทกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

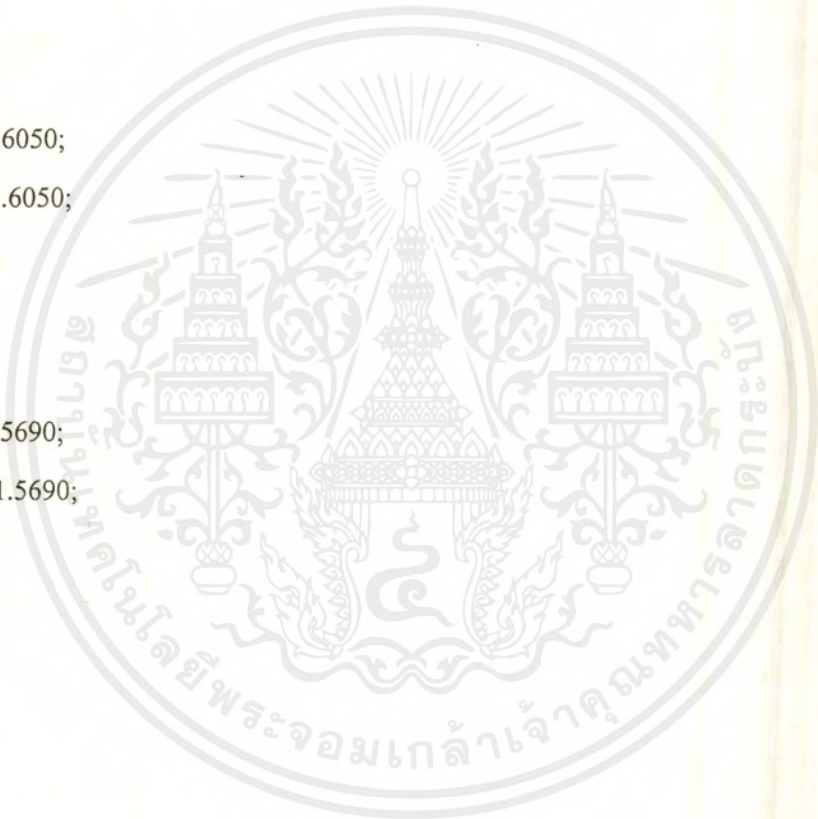
memo1.lines[20]:='R_R6  $N_0003 $N_0009 '+edit36.text;
memo1.lines[23]:='R_R7  $N_0009 $N_0007 '+edit37.text;
memo1.lines[21]:='R_R8  $N_0009 $N_0008 '+edit38.text;
memo1.lines[28]:='R_R9  $N_0011 0 '+edit13.text;
memo1.lines[27]:='R_R10 VoH $N_0010 '+edit14.text;
memo1.lines[8]:='C_C1  0 $N_0002 '+edit6.text+'n';
memo1.lines[7]:='C_C2  $N_0001 VoL '+edit7.text+'n';
memo1.lines[15]:='C_C3  $N_0007 $N_0006 '+edit24.text+'n';
memo1.lines[17]:='C_C4  $N_0006 Vob '+edit25.text+'n';
memo1.lines[16]:='C_C5  $N_0006 $N_0005 '+edit26.text+'n';
memo1.lines[25]:='C_C6  0 $N_0009 '+edit27.text+'n';
memo1.lines[24]:='C_C7  $N_0008 $N_0007 '+edit28.text+'n';
memo1.lines[29]:='C_C8  $N_0003 $N_0011 '+edit15.text+'n';
memo1.lines[31]:='C_C9  $N_0011 VoH '+edit16.text+'n';
memo1.lines[30]:='C_C10 $N_0011 $N_0010 '+edit17.text+'n';
memo1.Lines.SaveToFile('tug123.net');
end;
procedure TForm9.ComboBox1Click(Sender: TObject);
begin
i:=combobox1.ItemIndex;
end;
procedure TForm9.ComboBox2Click(Sender: TObject);
begin
j:=combobox2.itemindex;
b0:=1;
b1:=1;
b2:=1;
b3:=1;

case i of

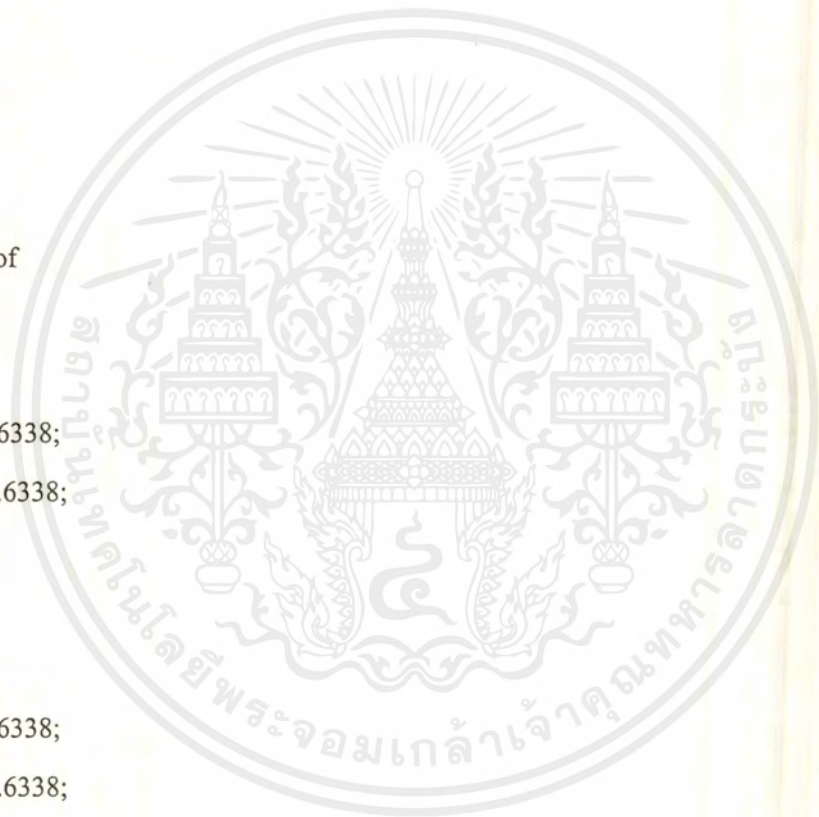
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0:
begin
  case j of
    0:
      begin
        b1:=1.6498;
        b3:=1.6498;
      end;
    1:
      begin
        b1:=1.6050;
        b3:=1.6050;
      end;
    2:
      begin
        b1:=1.5690;
        b3:=1.5690;
      end;
  end;
end;
end;
1:
begin
  case j of
    0:
      begin
        b1:=1.6416;
        b3:=1.6416;
      end;
    1:
      begin
```



```
b1:=1.5974;
b3:=1.5974;
end;
2:
begin
b1:=1.5613;
b3:=1.5613;
end;
end;
end;
2:
begin
case j of
0:
begin
b1:=1.6338;
b3:=1.6338;
end;
1:
begin
b1:=1.6338;
b3:=1.6338;
end;
2:
begin
b1:=1.5544;
b3:=1.5544;
end;
end;
end;
end;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3:

begin

case j of

0:

begin

b1:=1.6265;

b3:=1.6265;

end;

1:

begin

b1:=1.5831;

b3:=1.5831;

end;

2:

begin

b1:=1.5477;

b3:=1.5477;

end;

end;

end;

4:

begin

case j of

0:

begin

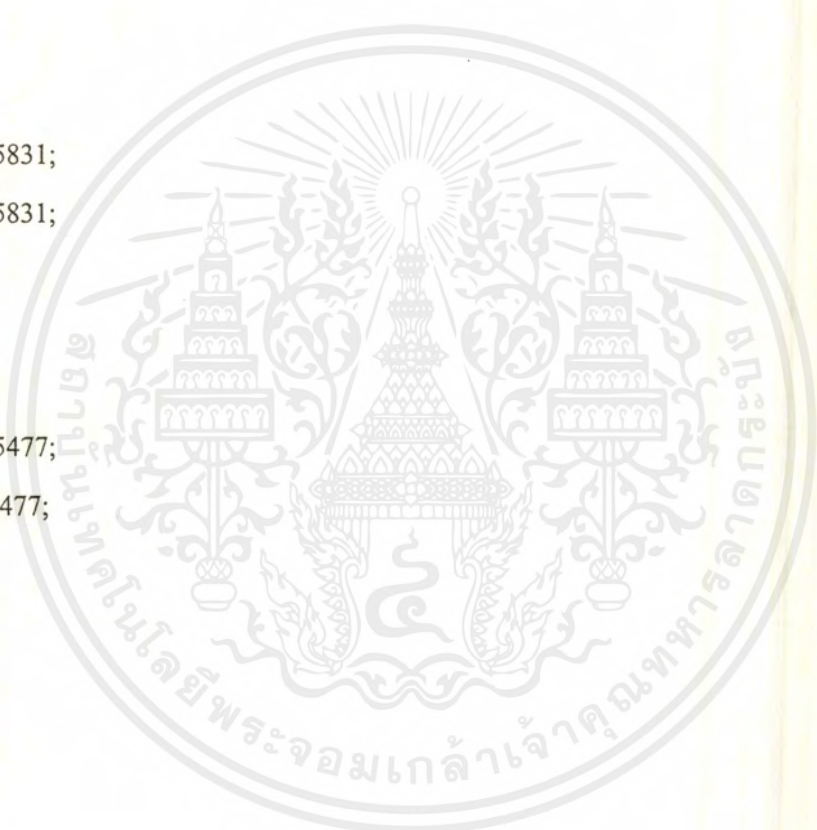
b1:=1.6179;

b3:=1.6179;

end;

1:

begin



```
b1:=1.5766;
b3:=1.5766;
end;
2:
begin
b1:=1.5416;
b3:=1.5416;
end;
end;
end;
5:
begin
case j of
0:
begin
b1:=1.6132;
b3:=1.6132;
end;
1:
begin
b1:=1.5705;
b3:=1.5705;
end;
2:
begin
b1:=1.5356;
b3:=1.5356;
end;
end;
end;
end;
```

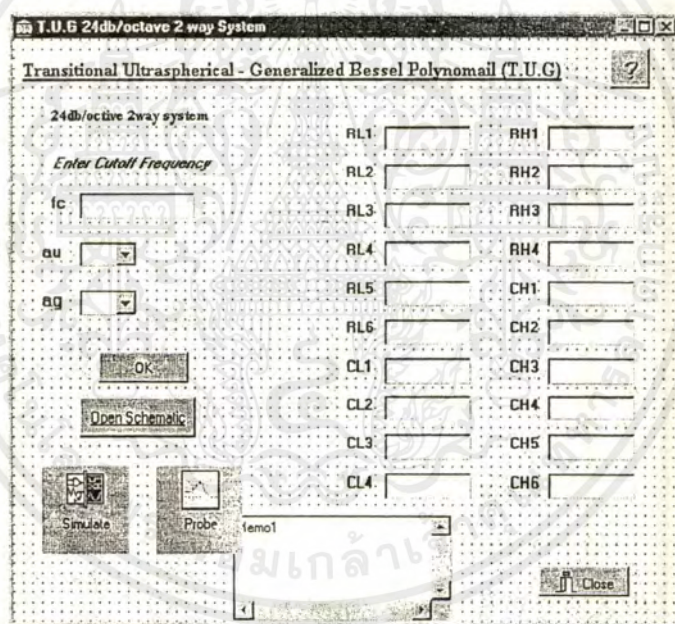


```

end;
end;
procedure TForm9.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form18.showmodal
end;
end.

```

เปิดฟอร์มใหม่เพื่อเขียนโปรแกรมออกแบบ ทราานชิชั้นอุลตราเงินเนอร์ไลซ์เบสสเตลโพลิโนเมียล อันดับ 4 แบบ 2 ทาง วางคอมโพเนนต์ดังรูป



รูป แสดงฟอร์มของ T.U.G. 24dB/octove 2Way System

เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

```

unit Unit10;
interface
uses

```

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, Buttons, OleCtrls;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

type

```
TForm10 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
Label8: TLabel;
```

```
Label9: TLabel;
```

```
Label10: TLabel;
```

```
Label11: TLabel;
```

```
Label12: TLabel;
```

```
Label13: TLabel;
```

```
Label14: TLabel;
```

```
Label15: TLabel;
```

```
Label16: TLabel;
```

```
Label17: TLabel;
```

```
Label20: TLabel;
```

```
Label21: TLabel;
```

```
Label22: TLabel;
```

```
Label23: TLabel;
```

```
Label24: TLabel;
```

```
Label25: TLabel;
```

```
Label26: TLabel;
```

```
Label27: TLabel;
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Button1: TButton;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
Edit4: TEdit;
```

```
Edit5: TEdit;
```



Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
Edit12: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
Edit14: TEdit;  
Edit15: TEdit;  
BitBtn1: TBitBtn;  
Edit16: TEdit;  
Edit17: TEdit;  
Edit18: TEdit;  
Edit19: TEdit;  
Edit20: TEdit;  
Edit21: TEdit;  
Edit22: TEdit;  
Button2: TButton;  
Label4: TLabel;  
Memo1: TMemo;  
BitBtn3: TBitBtn;  
ComboBox1: TComboBox;  
Label5: TLabel;  
OleContainer1: TOleContainer;  
OleContainer2: TOleContainer;  
Label18: TLabel;  
ComboBox2: TComboBox;  
procedure Button2Click(Sender: TObject);  
procedure FormCreate(Sender: TObject);



```

procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox1Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form10: TForm10;
  b0,b1,b2,b3,b4,b5,b6,b7:double;
  i,j:integer;
implementation
uses Unit12, Unit16;
{$R *.DFM}
procedure TForm10.Button2Click(Sender: TObject);
var
  fc,g,z1,z2:integer;
  r11,r12,r13,r14,r15,r16,rh1,rh2,rh3,rh4,cl1,cl2,cl3,cl4,ch1,ch2,ch3,ch4,ch5,ch6
  :double;
begin
  fc:=strtoint(edit1.text);
  z1:=1000;
  z2:=10000;
  g:=1;
  r12:=(2*(1+g))/((b2+sqrt(sqr(b2)-(4*0.1*b3*(1+g)))));
  r11:=(r12/g);
  r13:=(1/(b3*r12*0.1));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$r15:=(2*(1+g))/(b0+ \text{sqrt}(\text{sqr}(b0)-(4*0.01*b1*(1+g))))$ ;

$r14:=(r15/g)$ ;

$r16:=(1/(b1*r15*0.01))$ ;

$cl1:=1$ ;

$cl2:=0.1$ ;

$cl3:=1$ ;

$cl4:=0.01$ ;

$rh1:=(g*b4/(((2*g)+1)*b5))$ ;

$rh2:=((2*g)+1)/b4$ ;

$rh3:=(g*b6/(((2*g)+1)*b7))$ ;

$rh4:=((2*g)+1)/b6$ ;

$ch1:=1$ ;

$ch2:= ch1/g$ ;

$ch3:=1$ ;

$ch4:=1$ ;

$ch5:=ch4/g$ ;

$ch6:=1$ ;

$edit3.\text{text}:=\text{floattostr}(r11*z1)$ ;

$edit4.\text{text}:=\text{floattostr}(r12*z1)$ ;

$edit5.\text{text}:=\text{floattostr}(r13*z1)$ ;

$edit6.\text{text}:=\text{floattostr}(r14*z1)$ ;

$edit7.\text{text}:=\text{floattostr}(r15*z1)$ ;

$edit8.\text{text}:=\text{floattostr}(r16*z1)$ ;

$edit9.\text{text}:=\text{floattostr}(cl1/(6.28*fc*z1*1e-9))$ ;

$edit10.\text{text}:=\text{floattostr}(cl2/(6.28*fc*z1*1e-9))$ ;

$edit11.\text{text}:=\text{floattostr}(cl3/(6.28*fc*z1*1e-9))$ ;

$edit12.\text{text}:=\text{floattostr}(cl4/(6.28*fc*z1*1e-9))$ ;

$edit13.\text{text}:=\text{floattostr}(rh1*z2)$ ;

$edit14.\text{text}:=\text{floattostr}(rh2*z2)$ ;

$edit15.\text{text}:=\text{floattostr}(rh3*z2)$ ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

edit16.text:=floattostr(rh4*z2);
edit17.text:=floattostr(ch1/(6.28*fc*z2*1e-9));
edit18.text:=floattostr(ch2/(6.28*fc*z2*1e-9));
edit19.text:=floattostr(ch3/(6.28*fc*z2*1e-9));
edit20.text:=floattostr(ch4/(6.28*fc*z2*1e-9));
edit21.text:=floattostr(ch5/(6.28*fc*z2*1e-9));
edit22.text:=floattostr(ch6/(6.28*fc*z2*1e-9));

{edit pspice}

memo1.lines[4]='R_R1 $N_0006 $N_0005 '+edit3.text;
memo1.lines[6]='R_R2 $N_0005 V1 '+edit4.text;
memo1.lines[5]='R_R3 $N_0005 $N_0001 '+edit5.text;
memo1.lines[7]='R_R4 V1 $N_0007 '+edit6.text;
memo1.lines[9]='R_R5 $N_0007 Vol '+edit7.text;
memo1.lines[8]='R_R6 $N_0007 $N_0003 '+edit8.text;
memo1.lines[22]='R_R7 $N_0012 0 '+edit13.text;
memo1.lines[20]='R_R8 $N_0010 $N_0009 '+edit14.text;
memo1.lines[23]='R_R9 $N_0013 0 '+edit15.text;
memo1.lines[21]='R_R10 Voh $N_0011 '+edit16.text;
memo1.lines[11]='C_C1 0 $N_0005 '+edit9.text+'\n';
memo1.lines[10]='C_C2 $N_0001 V1 '+edit10.text+'\n';
memo1.lines[12]='C_C3 0 $N_0007 '+edit11.text+'\n';
memo1.lines[13]='C_C4 $N_0003 Vol '+edit12.text+'\n';
memo1.lines[24]='C_C5 $N_0006 $N_0012 '+edit17.text+'\n';
memo1.lines[26]='C_C6 $N_0012 $N_0010 '+edit18.text+'\n';
memo1.lines[25]='C_C7 $N_0012 $N_0009 '+edit19.text+'\n';
memo1.lines[27]='C_C8 $N_0010 $N_0013 '+edit20.text+'\n';
memo1.lines[29]='C_C9 $N_0013 Voh '+edit21.text+'\n';
memo1.lines[28]='C_C10 $N_0013 $N_0011 '+edit22.text+'\n';
memo1.Lines.SaveToFile('tug242.net');

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure TForm10.FormCreate(Sender: TObject);
begin
memo1.Lines.LoadFromFile('tug242.net');
end;

procedure TForm10.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
  if (Key = #13) then
    begin
      Key := #0;          { ลบค่า Key Enter }
      Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
    end;
end;

procedure TForm10.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
helpform.showmodal
end;

procedure TForm10.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form16.showmodal;
end;

procedure TForm10.ComboBox1Click(Sender: TObject);
begin
i:=combobox1.itemindex;
end;

procedure TForm10.ComboBox2Click(Sender: TObject);
begin
j:=combobox2.itemindex;
b0:=0;
b1:=0;
b2:=0;

```

b3:=0;

b4:=0;

b5:=0;

b6:=0;

b7:=0;

case i of

0;

begin

case j of

0:

begin

b0:=0.7040;b1:=1.4462;b2:=1.3412;b3:=0.6915;

b4:=1.9396;b5:=1.4462;b6:=0.4868;b7:=0.6914;

end;

1:

begin

b0:=0.8477;b1:=1.4381;b2:=1.3104;b3:=0.6379;

b4:=2.0542;b5:=1.5676;b6:=0.5894;b7:=0.6953;

end;

2:

begin

b0:=0.4378;b1:=1.5500;b2:=1.4502;b3:=0.6451;

b4:=2.2478;b5:=1.5500;b6:=0.2824;b7:=0.6451;

end;

end;

end;

1:

begin

case j of

0:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
b0:=0.6924;b1:=1.4463;b2:=1.3606;b3:=0.6914;
b4:=1.9680;b5:=1.4464;b6:=0.4788;b7:=0.6914;
end;
1:
begin
b0:=0.5854;b1:=1.4871;b2:=1.4088;b3:=0.6724;
b4:=2.0950;b5:=1.4870;b6:=0.3936;b7:=0.6725;
end;
2:
begin
b0:=0.4314;b1:=1.5518;b2:=1.4648;b3:=0.6444;
b4:=2.2732;b5:=1.5519;b6:=0.2780;b7:=0.6440;
end;
end;
end;
2:
begin
case j of
0:
begin
b0:=0.6824;b1:=1.4470;b2:=1.3776;b3:=0.6911;
b4:=1.9934;b5:=1.4471;b6:=0.4716;b7:=0.6911;
end;
1:
begin
b0:=0.5776;b1:=1.4891;b2:=1.4232;b3:=0.6715;
b4:=2.1192;b5:=1.4890;b6:=0.3878;b7:=0.6715;
end;
2:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
b0:=0.4252;b1:=1.5547;b2:=1.4762;b3:=0.6433;
b4:=2.2948;b5:=1.5547;b6:=0.2736;b7:=0.6433;
end;
end;
end;
```

3:

```
begin
case j of
0:
begin
b0:=0.5860;b1:=1.4531;b2:=1.4688;b3:=0.6881;
b4:=2.1344;b5:=1.4530;b6:=0.4032;b7:=0.6882;
end;
```

1:

```
begin
b0:=0.4976;b1:=1.4997;b2:=1.5002;b3:=0.6667;
b4:=2.2498;b5:=1.4997;b6:=0.3318;b7:=0.6669;
end;
```

2:

```
begin
b0:=0.3592;b1:=1.5686;b2:=1.5368;b3:=0.6376;
b4:=2.4104;b5:=1.5685;b6:=0.2290;b7:=0.6375;
end;
```

end;

end;

4:

```
begin
case j of
0:
```

```

begin
b0:=0.6640;b1:=1.4486;b2:=1.4074;b3:=0.6903;
b4:=2.0390;b5:=1.4489;b6:=0.4582;b7:=0.6902;
end;
1:
begin
b0:=0.5628;b1:=1.4922;b2:=1.4482;b3:=0.6702;
b4:=2.1612;b5:=1.4924;b6:=0.3770;b7:=0.6701;
end;
2:
begin
b0:=0.4142;b1:=1.5597;b2:=1.4960;b3:=0.6412;
b4:=2.3332;b5:=1.5597;b6:=0.2656;b7:=0.6411;
end;
end;
end;
5:
begin
case j of
0:
begin
b0:=0.6556;b1:=1.4496;b2:=1.4204;b3:=0.6898;
b4:=2.0592;b5:=1.4496;b6:=0.4522;b7:=0.6898;
end;
1:
begin
b0:=0.5558;b1:=1.4940;b2:=1.4592;b3:=0.6694;
b4:=2.1800;b5:=1.4940;b6:=0.3720;b7:=0.6693;
end;
2:

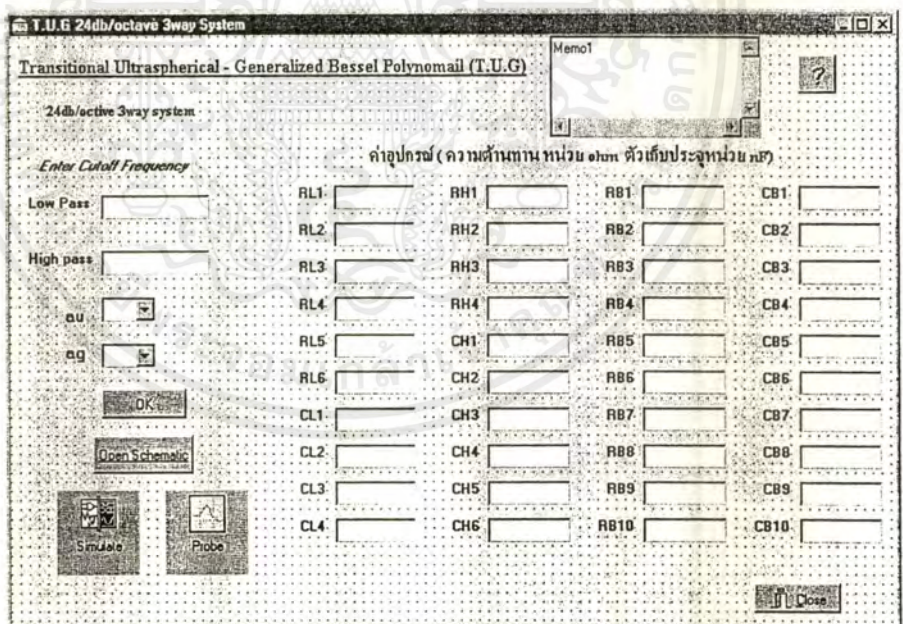
```

```

begin
b0:=0.4082;b1:=1.5618;b2:=1.5046;b3:=0.6403;
b4:=2.3500;b5:=1.5619;b6:=0.2616;b7:=0.6403;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end.

```

เปิดฟอร์มใหม่เพื่อเขียน โปรแกรมออกแบบ ทราเนซิชันอัลตราเจนเนอรัไลซ์เบสเซล โพลีโนเมียล อันดับ 4 แบบ 3 ทางวางคอมโพเนนต์ดังรูป



รูป แสดงฟอร์มของ T.U.G. 24dB/octove 3Way System

เขียนคำสั่งควบคุมดังนี้

unit Unit11;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Buttons, OleCtrls;

type

TForm11 = class(TForm)

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Button1: TButton;

Edit3: TEdit;

Edit4: TEdit;

Edit5: TEdit;

Edit6: TEdit;

Edit7: TEdit;

Edit8: TEdit;

Edit9: TEdit;

Edit10: TEdit;

Edit11: TEdit;

Edit12: TEdit;

Edit13: TEdit;

Edit14: TEdit;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

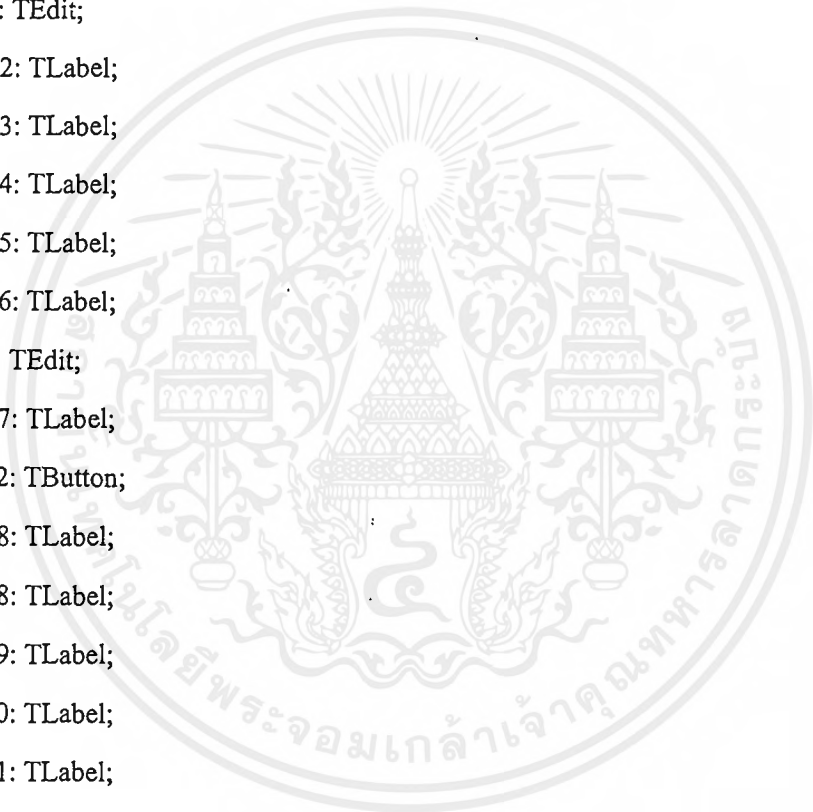
Label8: TLabel;



Label9: TLabel;  
Label10: TLabel;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;  
Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Edit15: TEdit;  
BitBtn1: TBitBtn;  
Edit16: TEdit;  
Edit17: TEdit;  
Edit18: TEdit;  
Edit19: TEdit;  
Edit20: TEdit;  
Edit21: TEdit;  
Edit22: TEdit;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;  
Edit24: TEdit;  
Edit25: TEdit;  
Edit26: TEdit;  
Edit27: TEdit;



Label28: TLabel;  
Label29: TLabel;  
Label30: TLabel;  
Label31: TLabel;  
Edit28: TEdit;  
Edit29: TEdit;  
Edit30: TEdit;  
Edit31: TEdit;  
Edit32: TEdit;  
Label32: TLabel;  
Label33: TLabel;  
Label34: TLabel;  
Label35: TLabel;  
Label36: TLabel;  
Edit33: TEdit;  
Label37: TLabel;  
Button2: TButton;  
Label18: TLabel;  
Label38: TLabel;  
Label39: TLabel;  
Label40: TLabel;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Label43: TLabel;  
Label44: TLabel;  
Label45: TLabel;  
Label46: TLabel;  
Label47: TLabel;  
Edit34: TEdit;  
Edit35: TEdit;



```
Edit36: TEdit;
Edit37: TEdit;
Edit38: TEdit;
Edit39: TEdit;
Edit40: TEdit;
Edit41: TEdit;
Edit42: TEdit;
Edit43: TEdit;
Memo1: TMemo;
BitBtn3: TBitBtn;
ComboBox1: TComboBox;
OleContainer1: TOleContainer;
OleContainer2: TOleContainer;
Label49: TLabel;
ComboBox2: TComboBox;
Label19: TLabel;
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form11: TForm11;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
b0,b1,b2,b3,b4,b5,b6,b7:double;
```

```
ij:integer;
```

```
implementation
```

```
uses Unit12, Unit15;
```

```
{$R *.DFM}
```

```
procedure TForm11.Button2Click(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
g,fl,fh:integer;
```

```
z1,z2,r11,r12,r13,r14,r15,r16,rh1,rh2,rh3,rh4,cl1,cl2,cl3,cl4,ch1,ch2,ch3,ch4,ch5,ch6,cb1,cb2,cb3,cb4,cb5,cb6,cb7,cb8,cb9,cb10,
```

```
rb1,rb2,rb3,rb4,rb5,rb6,rb7,rb8,rb9,rb10
```

```
:double;
```

```
begin
```

```
fl:=strtoint(edit1.text);
```

```
fh:=strtoint(edit2.text);
```

```
z1:=1000;
```

```
z2:=10000;
```

```
g:=1;
```

```
r12:=(2*(1+g))/((b2+sqrt(sqrt(b2)-(4*0.1*b3*(1+g)))));
```

```
r11:=(r12/g);
```

```
r13:=(1/(b3*r12*0.1));
```

```
r15:=(2*(1+g))/(b0+sqrt(sqrt(b0)-(4*0.01*b1*(1+g))));
```

```
r14:=(r15/g);
```

```
r16:=(1/(b1*r15*0.01));
```

```
cl1:=1;
```

```
cl2:=0.1;
```

```
cl3:=1;
```

```
cl4:=0.01;
```

```
rh1:=(g*b4/(((2*g)+1)*b5));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

rh2:=((2*g)+1)/b4;
rh3:=(g*b6/(((2*g)+1)*b7));
rh4:=((2*g)+1)/b6;
ch1:=1;
ch2:= ch1/g;
ch3:=1;
ch4:=1;
ch5:=ch4/g;
ch6:=1;
edit3.text:=floattostr(r11*z1);
edit4.text:=floattostr(r12*z1);
edit5.text:=floattostr(r13*z1);
edit6.text:=floattostr(r14*z1);
edit7.text:=floattostr(r15*z1);
edit8.text:=floattostr(r16*z1);
edit9.text:=floattostr(c11/(6.28*fl*z1*1e-9));
edit10.text:=floattostr(c12/(6.28*fl*z1*1e-9));
edit11.text:=floattostr(c13/(6.28*fl*z1*1e-9));
edit12.text:=floattostr(c14/(6.28*fl*z1*1e-9));
edit13.text:=floattostr(rh1*z2);
edit14.text:=floattostr(rh2*z2);
edit15.text:=floattostr(rh3*z2);
edit16.text:=floattostr(rh4*z2);
edit17.text:=floattostr(ch1/(6.28*fh*z2*1e-9));
edit18.text:=floattostr(ch2/(6.28*fh*z2*1e-9));
edit19.text:=floattostr(ch3/(6.28*fh*z2*1e-9));
edit20.text:=floattostr(ch4/(6.28*fh*z2*1e-9));
edit21.text:=floattostr(ch5/(6.28*fh*z2*1e-9));
edit22.text:=floattostr(ch6/(6.28*fh*z2*1e-9));
edit34.text:=floattostr(r11*z1);

```

```

edit35.text:=floattostr(r12*z1);
edit36.text:=floattostr(r13*z1);
edit37.text:=floattostr(r14*z1);
edit38.text:=floattostr(r15*z1);
edit39.text:=floattostr(r16*z1);
edit40.text:=floattostr(rh1*z2);
edit41.text:=floattostr(rh2*z2);
edit42.text:=floattostr(rh3*z2);
edit43.text:=floattostr(rh4*z2);
edit24.text:=floattostr(c11/(6.28*fh*z1*1e-9));
edit25.text:=floattostr(c12/(6.28*fh*z1*1e-9));
edit26.text:=floattostr(c13/(6.28*fh*z1*1e-9));
edit27.text:=floattostr(c14/(6.28*fh*z1*1e-9));
edit28.text:=floattostr(ch1/(6.28*fl*z2*1e-9));
edit29.text:=floattostr(ch2/(6.28*fl*z2*1e-9));
edit30.text:=floattostr(ch3/(6.28*fl*z2*1e-9));
edit31.text:=floattostr(ch4/(6.28*fl*z2*1e-9));
edit32.text:=floattostr(ch5/(6.28*fl*z2*1e-9));
edit33.text:=floattostr(ch6/(6.28*fl*z2*1e-9));
{edit pspice}
memo1.lines[10]:='R_R1 $N_0015 $N_0014 '+edit3.text;
memo1.lines[12]:='R_R2 $N_0014 $N_0002 '+edit4.text;
memo1.lines[11]:='R_R3 $N_0014 $N_0001 '+edit5.text;
memo1.lines[13]:='R_R4 $N_0002 $N_0016 '+edit6.text;
memo1.lines[15]:='R_R5 $N_0016 Vol '+edit7.text;
memo1.lines[14]:='R_R6 $N_0016 $N_0003 '+edit8.text;
memo1.lines[16]:='R_R7 $N_0015 $N_0017 '+edit34.text;
memo1.lines[18]:='R_R8 $N_0017 $N_0005 '+edit35.text;
memo1.lines[17]:='R_R9 $N_0017 $N_0004 '+edit36.text;
memo1.lines[19]:='R_R10 $N_0005 $N_0018 '+edit37.text;

```

memo1.lines[21]:='R\_R11 \$N\_0018 \$N\_0007 '+edit38.text;  
memo1.lines[20]:='R\_R12 \$N\_0018 \$N\_0006 '+edit39.text;  
memo1.lines[23]:='R\_R13 0 \$N\_0019 '+edit40.text;  
memo1.lines[22]:='R\_R14 \$N\_0008 \$N\_0009 '+edit41.text;  
memo1.lines[24]:='R\_R15 0 \$N\_0020 '+edit42.text;  
memo1.lines[25]:='R\_R16 Vob \$N\_0010 '+edit43.text;  
memo1.lines[28]:='R\_R17 \$N\_0021 0 '+edit13.text;  
memo1.lines[26]:='R\_R18 \$N\_0012 \$N\_0011 '+edit14.text;  
memo1.lines[29]:='R\_R19 \$N\_0022 0 '+edit15.text;  
memo1.lines[27]:='R\_R20 Voh \$N\_0013 '+edit16.text;  
memo1.lines[31]:='C\_C1 0 \$N\_0014 '+edit9.text+'n';  
memo1.lines[30]:='C\_C2 \$N\_0001 \$N\_0002 '+edit10.text+'n';  
memo1.lines[32]:='C\_C3 0 \$N\_0016 '+edit11.text+'n';  
memo1.lines[33]:='C\_C4 \$N\_0003 Vol '+edit12.text+'n';  
memo1.lines[36]:='C\_C5 0 \$N\_0017 '+edit24.text+'n';  
memo1.lines[34]:='C\_C6 \$N\_0004 \$N\_0005 '+edit25.text+'n';  
memo1.lines[37]:='C\_C7 0 \$N\_0018 '+edit26.text+'n';  
memo1.lines[35]:='C\_C8 \$N\_0006 \$N\_0007 '+edit27.text+'n';  
memo1.lines[38]:='C\_C9 \$N\_0007 \$N\_0019 '+edit28.text+'n';  
memo1.lines[40]:='C\_C10 \$N\_0019 \$N\_0009 '+edit29.text+'n';  
memo1.lines[39]:='C\_C11 \$N\_0019 \$N\_0008 '+edit30.text+'n';  
memo1.lines[41]:='C\_C12 \$N\_0009 \$N\_0020 '+edit31.text+'n';  
memo1.lines[43]:='C\_C13 \$N\_0020 Vob '+edit32.text+'n';  
memo1.lines[42]:='C\_C14 \$N\_0020 \$N\_0010 '+edit33.text+'n';  
memo1.lines[44]:='C\_C15 \$N\_0015 \$N\_0021 '+edit17.text+'n';  
memo1.lines[46]:='C\_C16 \$N\_0021 \$N\_0012 '+edit18.text+'n';  
memo1.lines[45]:='C\_C17 \$N\_0021 \$N\_0011 '+edit19.text+'n';  
memo1.lines[47]:='C\_C18 \$N\_0012 \$N\_0022 '+edit20.text+'n';  
memo1.lines[49]:='C\_C19 \$N\_0022 Voh '+edit21.text+'n';  
memo1.lines[48]:='C\_C20 \$N\_0022 \$N\_0013 '+edit22.text+'n';

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

memo1.Lines.SaveToFile('tug243.net');
end;
procedure TForm11.FormCreate(Sender: TObject);
begin
memo1.Lines.LoadFromFile('tug243.net')
end;
procedure TForm11.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
  if (Key = #13) then
    begin
      Key := #0;
      Perform(WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
    end;
end;
procedure TForm11.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
helpform.showmodal
end;
procedure TForm11.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Form15.showmodal;
end;
procedure TForm11.ComboBox1Click(Sender: TObject);
begin
i:=combobox2.itemindex;
end;
procedure TForm11.ComboBox2Click(Sender: TObject);
begin
j:=combobox2.itemindex;
b0:=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b1:=0;

b2:=0;

b3:=0;

b4:=0;

b5:=0;

b6:=0;

b7:=0;

case i of

0:

begin

case j of

0:

begin

b0:=0.7040;b1:=1.4462;b2:=1.3412;b3:=0.6915;

b4:=1.9396;b5:=1.4462;b6:=0.4868;b7:=0.6914;

end;

1:

begin

b0:=0.8477;b1:=1.4381;b2:=1.3104;b3:=0.6379;

b4:=2.0542;b5:=1.5676;b6:=0.5894;b7:=0.6953;

end;

2:

begin

b0:=0.4378;b1:=1.5500;b2:=1.4502;b3:=0.6451;

b4:=2.2478;b5:=1.5500;b6:=0.2824;b7:=0.6451;

end;

end;

end;

1:

begin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case j of
0:
begin
b0:=0.6924;b1:=1.4463;b2:=1.3606;b3:=0.6914;
b4:=1.9680;b5:=1.4464;b6:=0.4788;b7:=0.6914;
end;
1:
begin
b0:=0.5854;b1:=1.4871;b2:=1.4088;b3:=0.6724;
b4:=2.0950;b5:=1.4870;b6:=0.3936;b7:=0.6725;
end;
2:
begin
b0:=0.4314;b1:=1.5518;b2:=1.4648;b3:=0.6444;
b4:=2.2732;b5:=1.5519;b6:=0.2780;b7:=0.6440;
end;
end;
end;
2:
begin
case j of
0:
begin
b0:=0.6824;b1:=1.4470;b2:=1.3776;b3:=0.6911;
b4:=1.9934;b5:=1.4471;b6:=0.4716;b7:=0.6911;
end;
1:
begin
b0:=0.5776;b1:=1.4891;b2:=1.4232;b3:=0.6715;
b4:=2.1192;b5:=1.4890;b6:=0.3878;b7:=0.6715;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end;

2:

begin

b0:=0.4252;b1:=1.5547;b2:=1.4762;b3:=0.6433;

b4:=2.2948;b5:=1.5547;b6:=0.2736;b7:=0.6433;

end;

end;

end;

3:

begin

case j of

0:

begin

b0:=0.5860;b1:=1.4531;b2:=1.4688;b3:=0.6881;

b4:=2.1344;b5:=1.4530;b6:=0.4032;b7:=0.6882;

end;

1:

begin

b0:=0.4976;b1:=1.4997;b2:=1.5002;b3:=0.6667;

b4:=2.2498;b5:=1.4997;b6:=0.3318;b7:=0.6669;

end;

2:

begin

b0:=0.3592;b1:=1.5686;b2:=1.5368;b3:=0.6376;

b4:=2.4104;b5:=1.5685;b6:=0.2290;b7:=0.6375;

end;

end;

end;

4:

begin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

case j of

0:

begin

b0:=0.6640;b1:=1.4486;b2:=1.4074;b3:=0.6903;

b4:=2.0390;b5:=1.4489;b6:=0.4582;b7:=0.6902;

end;

1:

begin

b0:=0.5628;b1:=1.4922;b2:=1.4482;b3:=0.6702;

b4:=2.1612;b5:=1.4924;b6:=0.3770;b7:=0.6701;

end;

2:

begin

b0:=0.4142;b1:=1.5597;b2:=1.4960;b3:=0.6412;

b4:=2.3332;b5:=1.5597;b6:=0.2656;b7:=0.6411;

end;

end;

end;

5:

begin

case j of

0:

begin

b0:=0.6556;b1:=1.4496;b2:=1.4204;b3:=0.6898;

b4:=2.0592;b5:=1.4496;b6:=0.4522;b7:=0.6898;

end;

1:

begin

b0:=0.5558;b1:=1.4940;b2:=1.4592;b3:=0.6694;

b4:=2.1800;b5:=1.4940;b6:=0.3720;b7:=0.6693;

end;

2:

begin

b0:=0.4082;b1:=1.5618;b2:=1.5046;b3:=0.6403;

b4:=2.3500;b5:=1.5619;b6:=0.2616;b7:=0.6403;

end;

end;

end;

end;

end;

end.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมเมทแลป

### โปรแกรมหาค่าโพลของอูลตราสี่เหลี่ยมพีริคัลอันดับ 4

```
a=input(' input a = ');
fs1=[(((4*a*a)+(24*a)+35)/((4*a*a)+(12*a)+8)) 0 (((12*a)+30)/((4*a*a)+(12*a)+8)) 0 (3/((4*a*a)+(12*a)+8))];
fs2=[(((4*a*a)+(24*a)+35)/((4*a*a)+(12*a)+8)) 0 (((12*a)+30)/((4*a*a)+(12*a)+8)) 0 (3/((4*a*a)+(12*a)+8))];
fs=conv(fs1,fs2);
fs3=fs+[0 0 0 0 0 0 0 1 ];
fs4=roots(fs3)
```

### โปรแกรมหาค่าโพลของเงินเนอร์ไลซ์เบสเซลโพลิโนเมียล

```
a=input('input alpha : ');
fs=[1 4*(a+3)/2 6*(a+3)*(a+4)/4 4*(a+3)*(a+4)*(a+5)/8 (a+3)*(a+4)*(a+5)*(a+6)/16];
r=roots(fs)
```

### โปรแกรมการทรานซิชัน

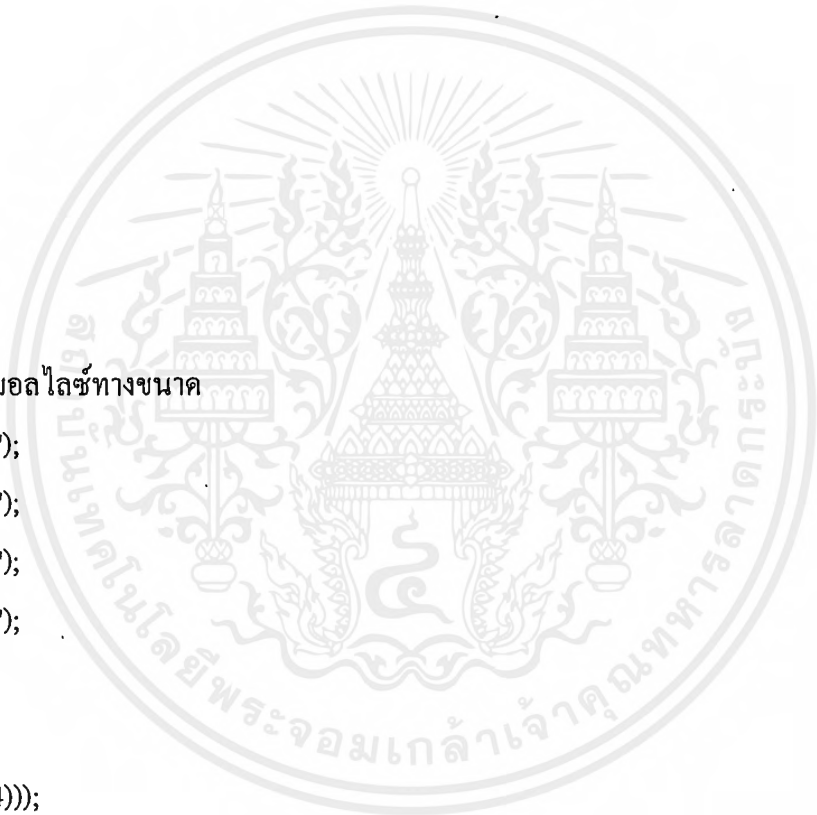
```
su=input('input pole of ultra :');
sg=input('input pole of gen :');
m=0.3;
msu=abs(su);
msg=abs(sg);
psu=angle(su);
psg=angle(sg);
msk=(msu^(1-m))*msg^m;
psk=(psu-(m*(psu-psg)));
real=msk*cos(psk)
image=msk*sin(psk)
```

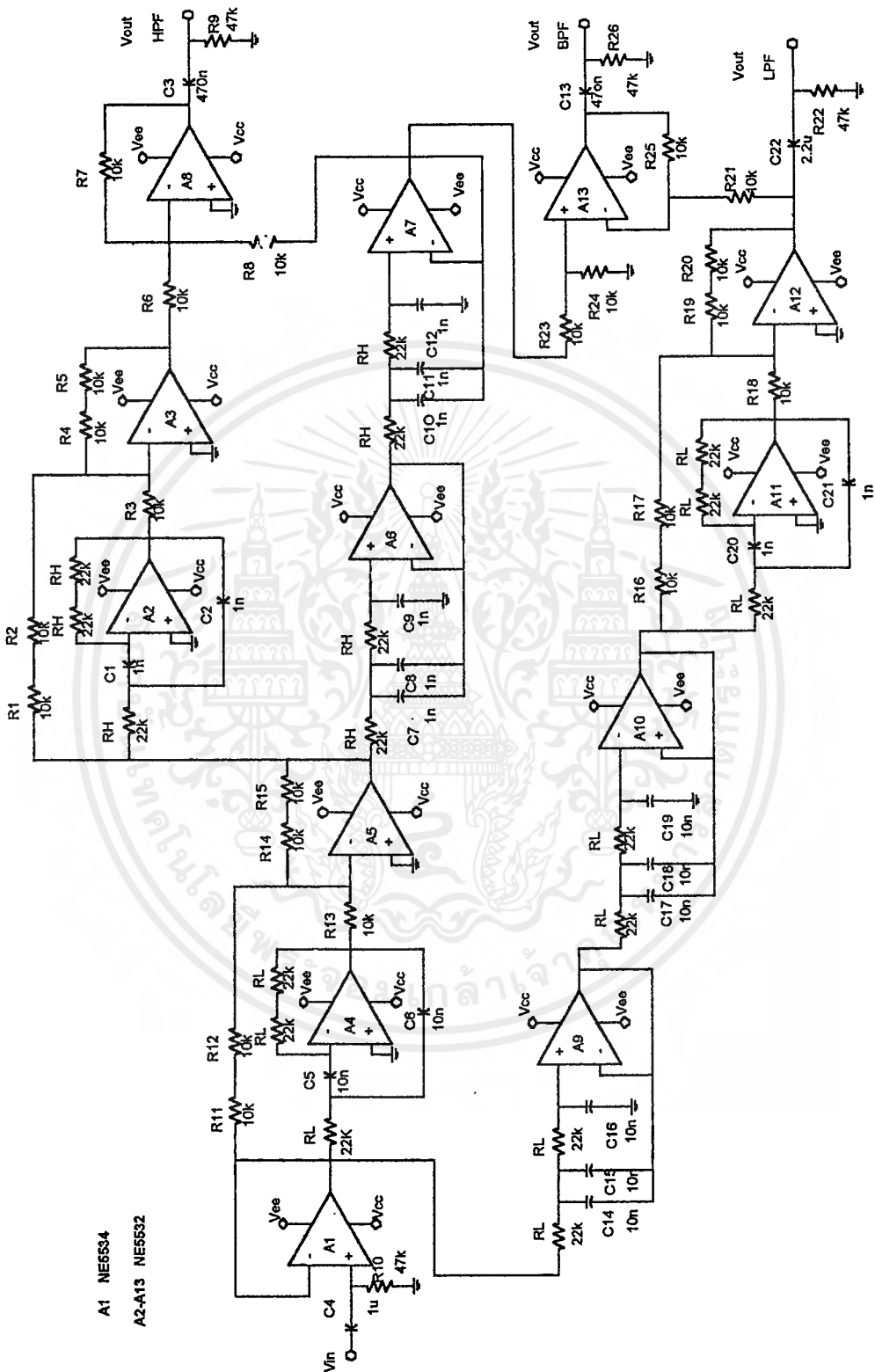
### โปรแกรมการหาค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

```
a=input('plo e :');  
b=input('plo e :');  
c=input('plo e :');  
d=input('plo e :');  
fs1=[1 -a];  
fs2=[1 -b];  
fs3=[1 -c];  
fs4=[1 -d];  
a=conv(fs1,fs2);  
b=conv(fs3,fs4);  
fs=conv(a,b)
```

### โปรแกรมการนอร์มอลไลซ์ทางขนาด

```
b3=input('input b3:');  
b2=input('input b2:');  
b1=input('input b1:');  
b0=input('input b0:');  
c3=b3*b0^(-2/4);  
c2=b2*b0^(-3/4);  
c1=b1*b0^(-1-(1/4));  
fs=[1 c3 c2 c1 1]  
r=roots(fs);
```

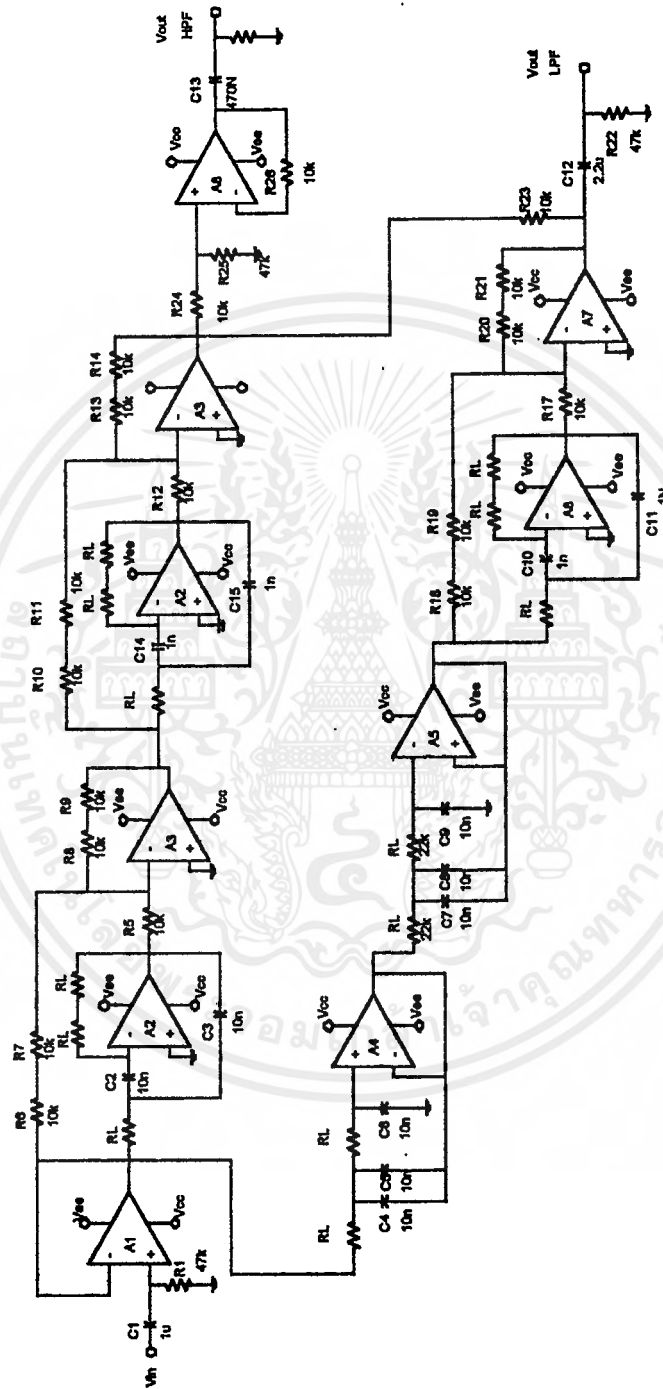




### รูปวงจรลิ่งค้วขที่ไรเลยอ้นดับ 4 ชนิด 3ทาง

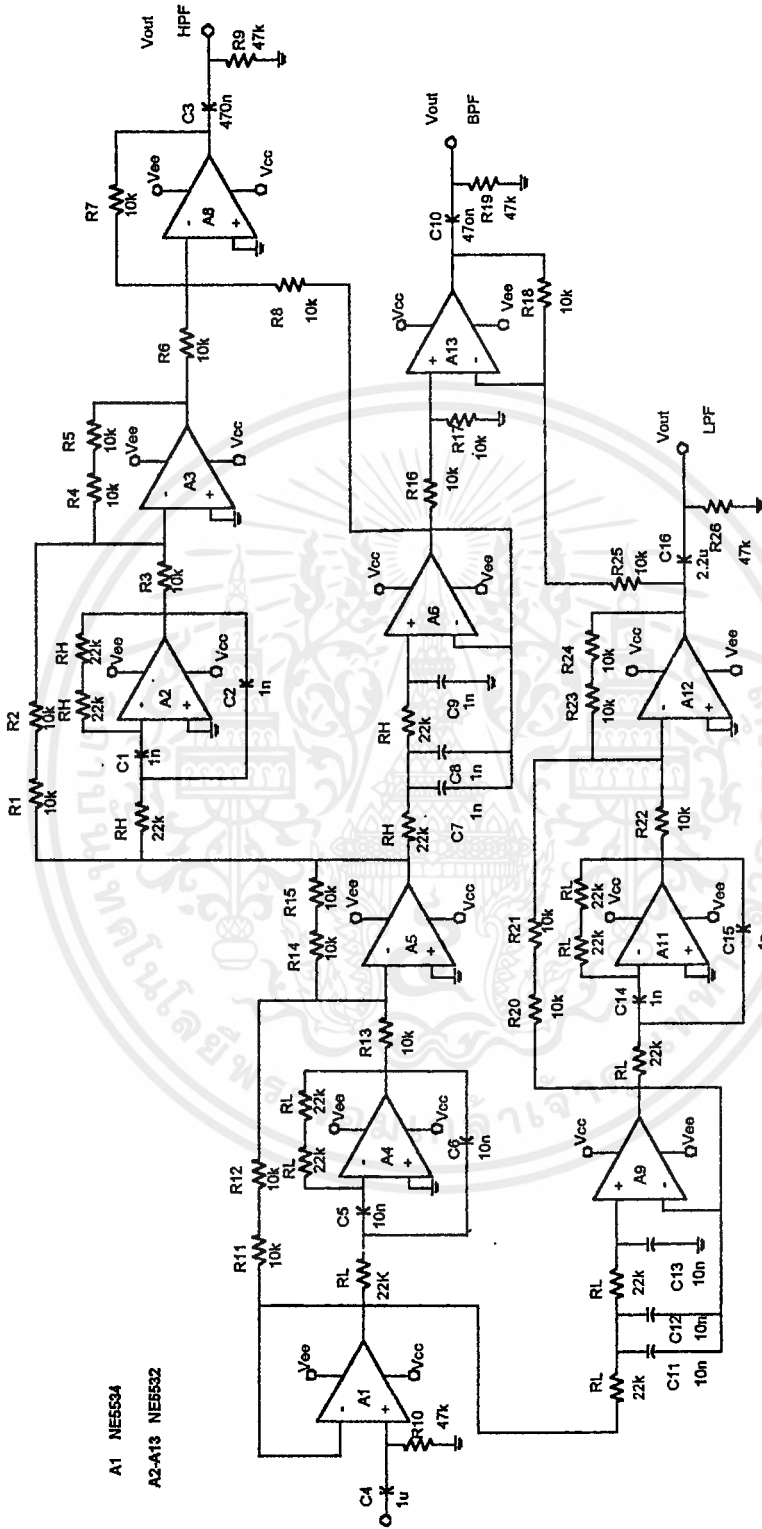
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1 NE6434  
A2-A8 NE6332



### รูปร่างวงจรตัวกรองไฟรเออ์อันดับ 4 ชนิด 2ทาง

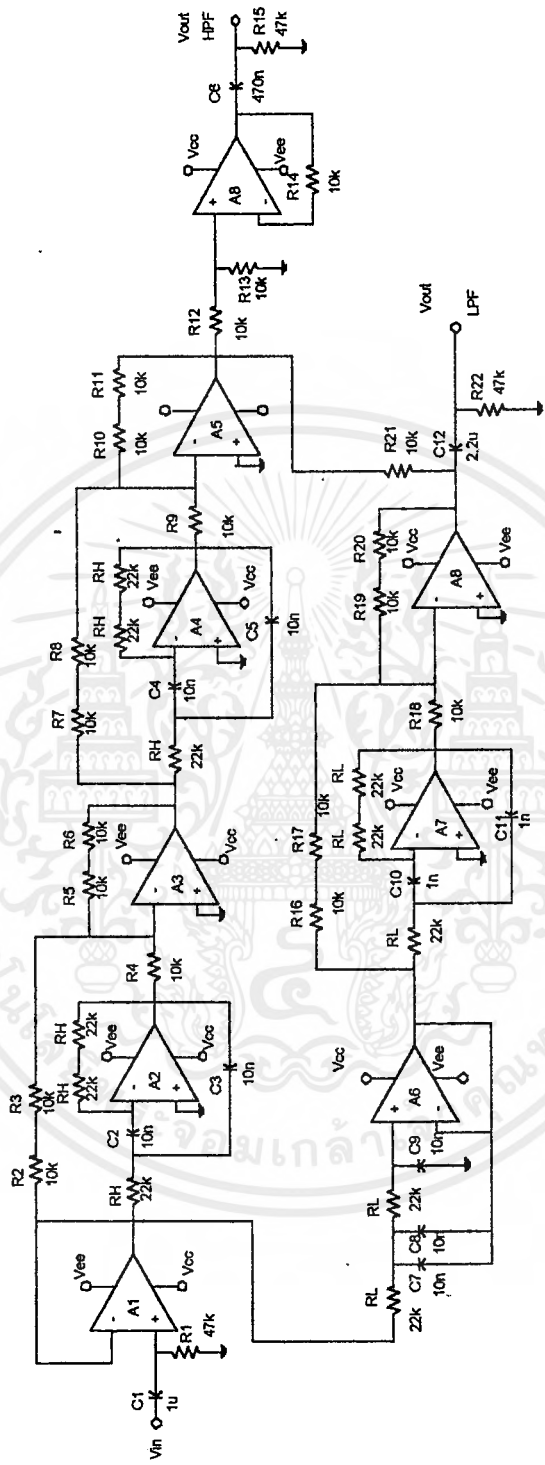
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปวงจรถ่ายวีซีอาร์เลย์อันดับ 2 ชนิด 3 ทาง

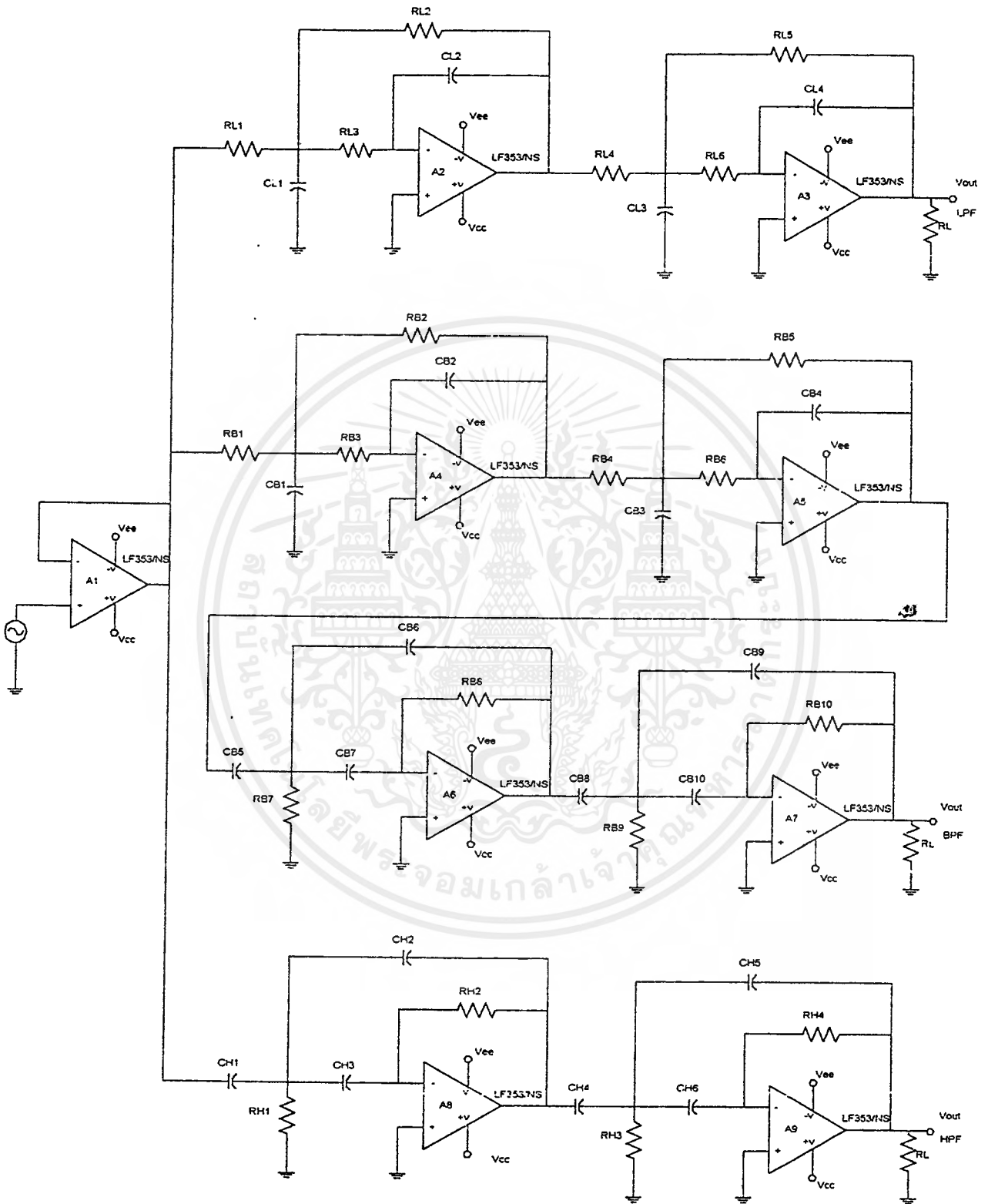
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1 NIE534  
A2-A8 NIE532



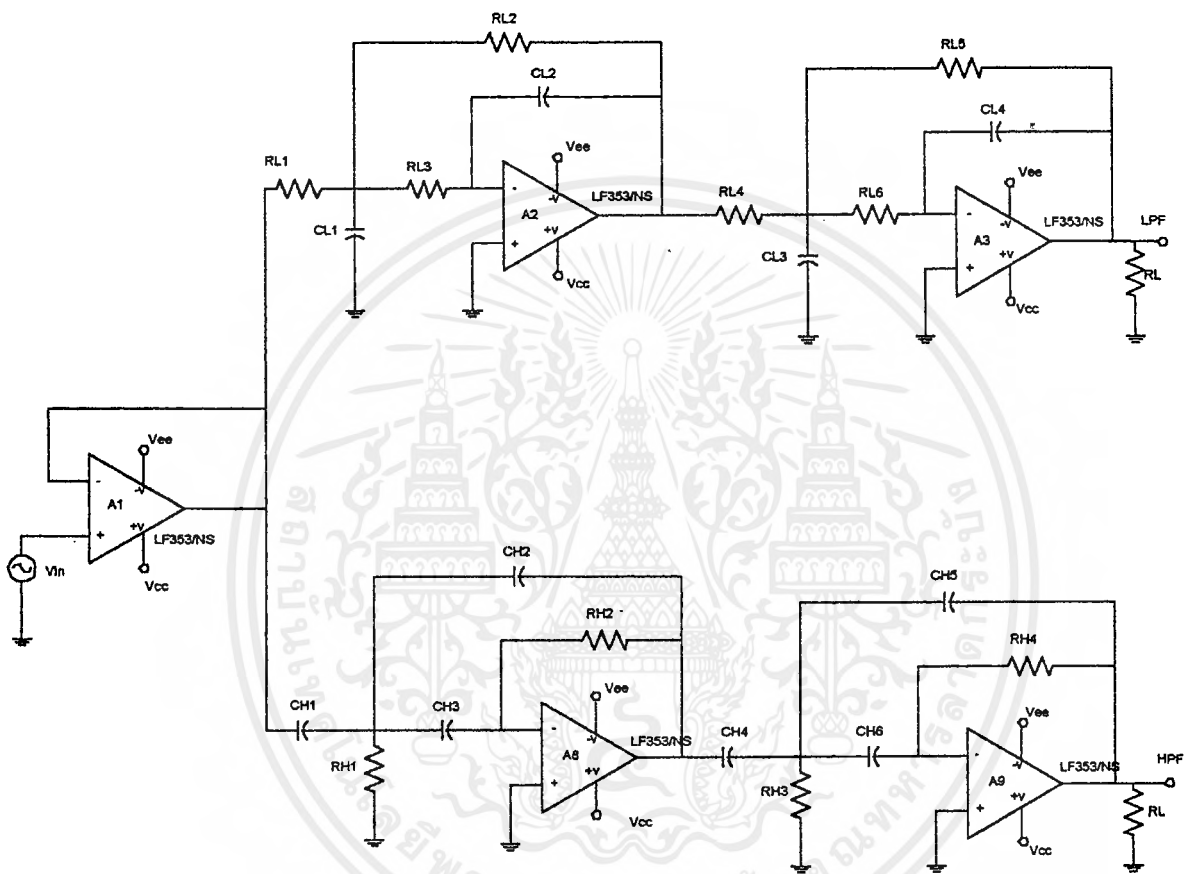
รูปวงจรคัตวีซซีโรเลย์อันดับ 2 ชนิด 2 ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



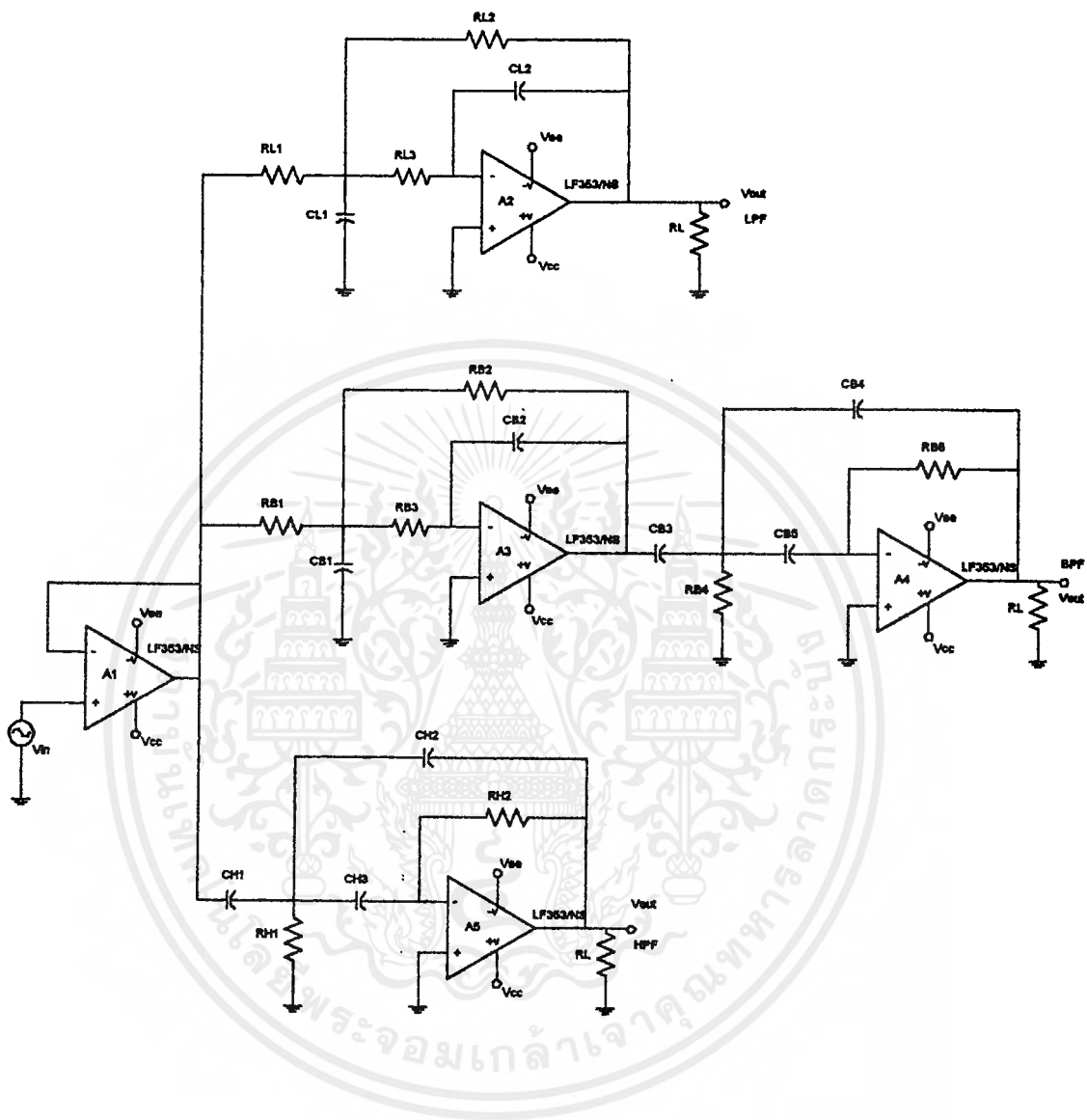
**วงจรอูตรัสเฟียร์คัลเจนเนอร์ไลซ์เบสสโลโพลีโนเมียลอันดับ 4 ชนิด 3 ทาง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



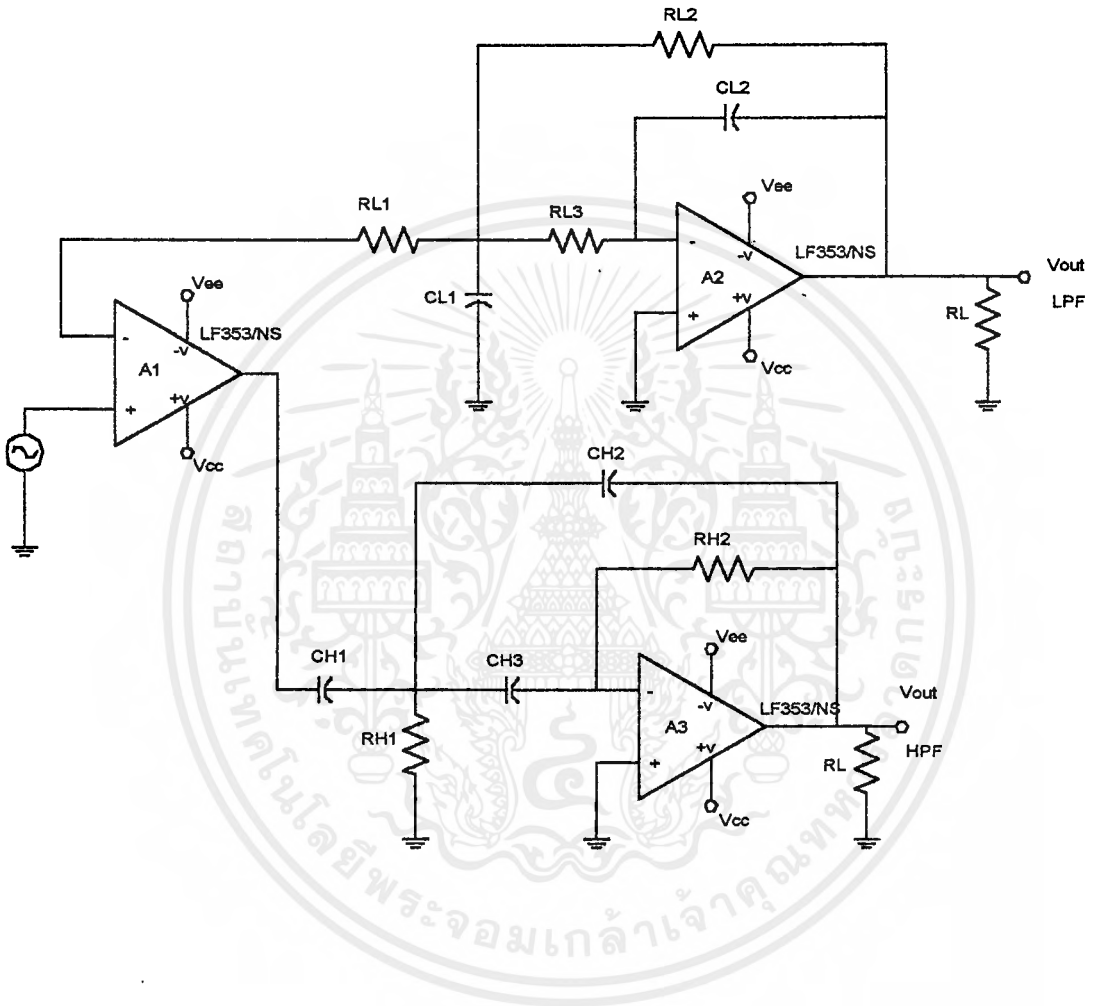
วงจรอูตร้าสเฟียร์คัลเจอร์นเนอร์ไลซ์เบสสเตลโพลีโนเมียลอันดับ 4 ชนิด 2 ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



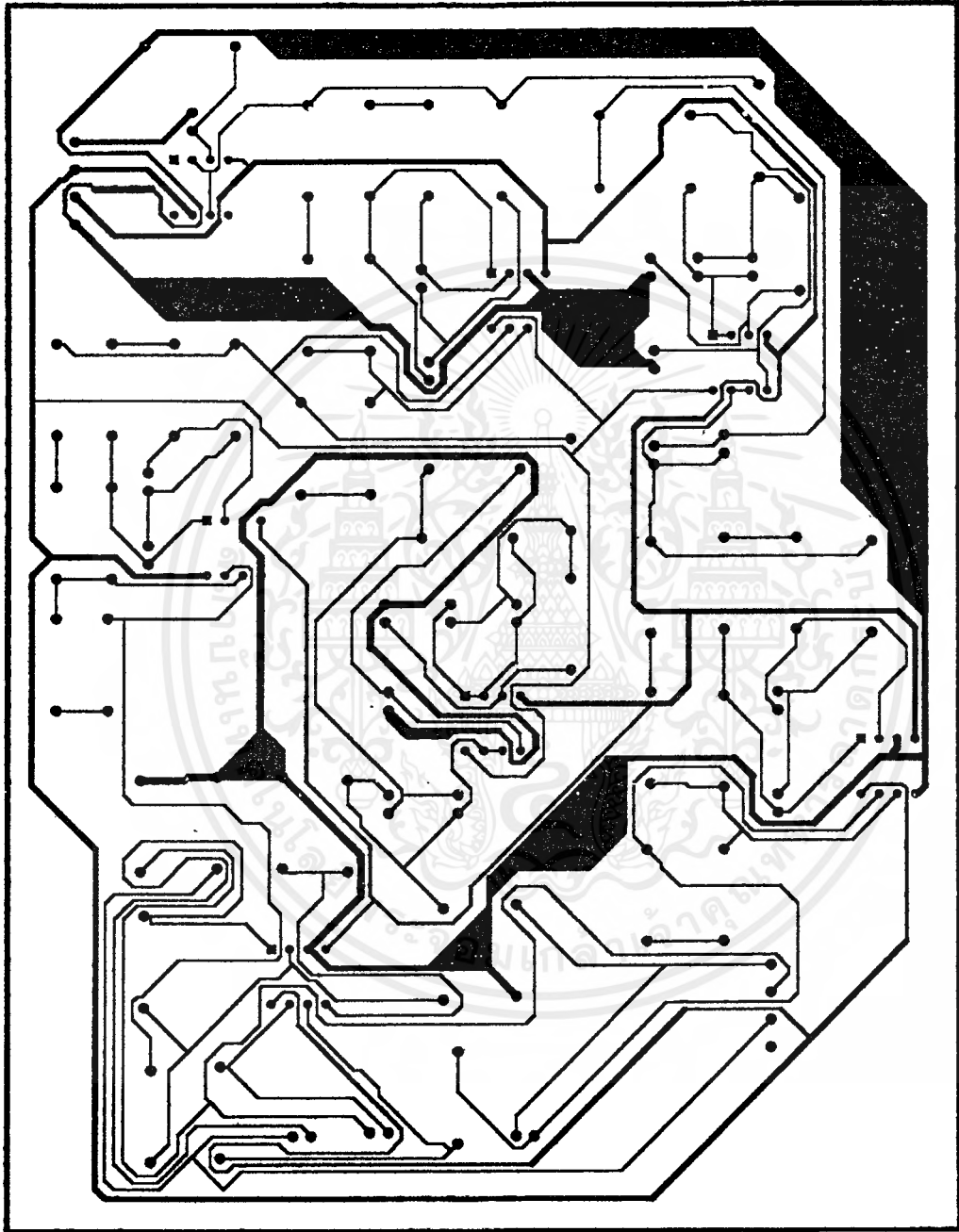
**วงจรชุดรีทัชเพอร์ซิวิตีแอมพลิไฟเออร์แบบสเตอริโอมีขั้วอันดับ 2 ชนิด 3 ทาง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

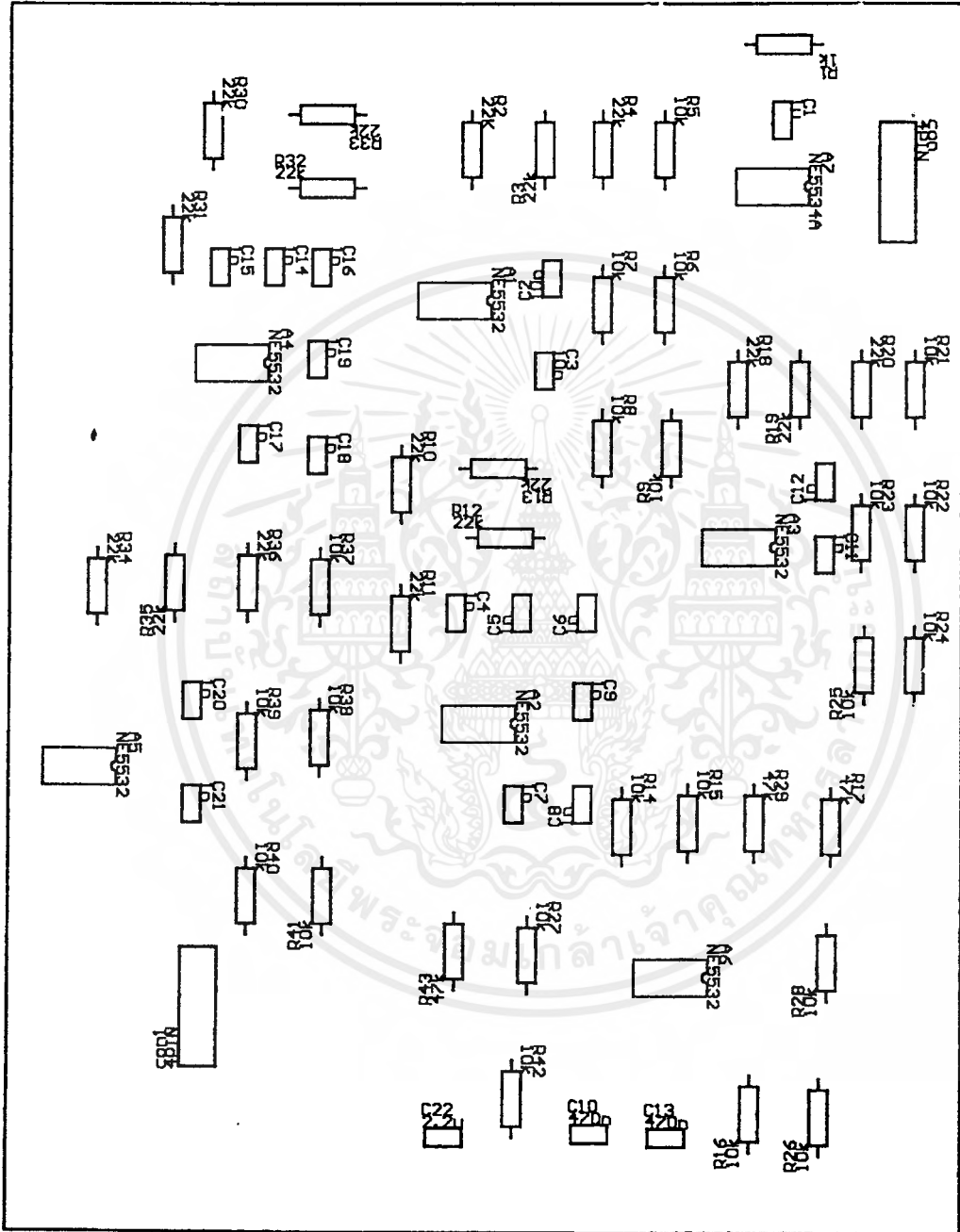


วงจรชุดร้ำสเฟียรึคัถเจินเนอรึไลช้เบสเสถโพลึโนเมียลอันคัถ 2 ชนิด 2 ทาง

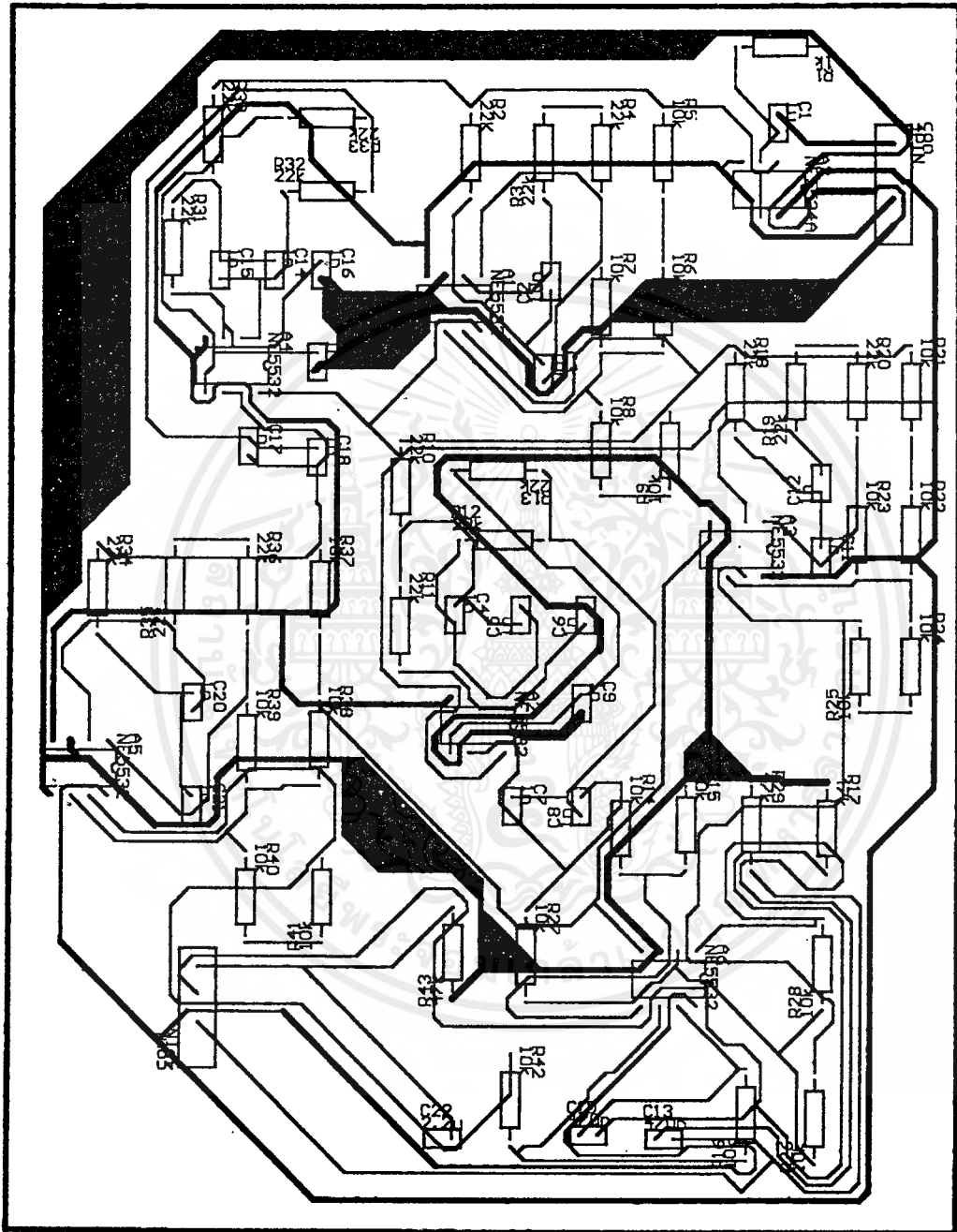
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

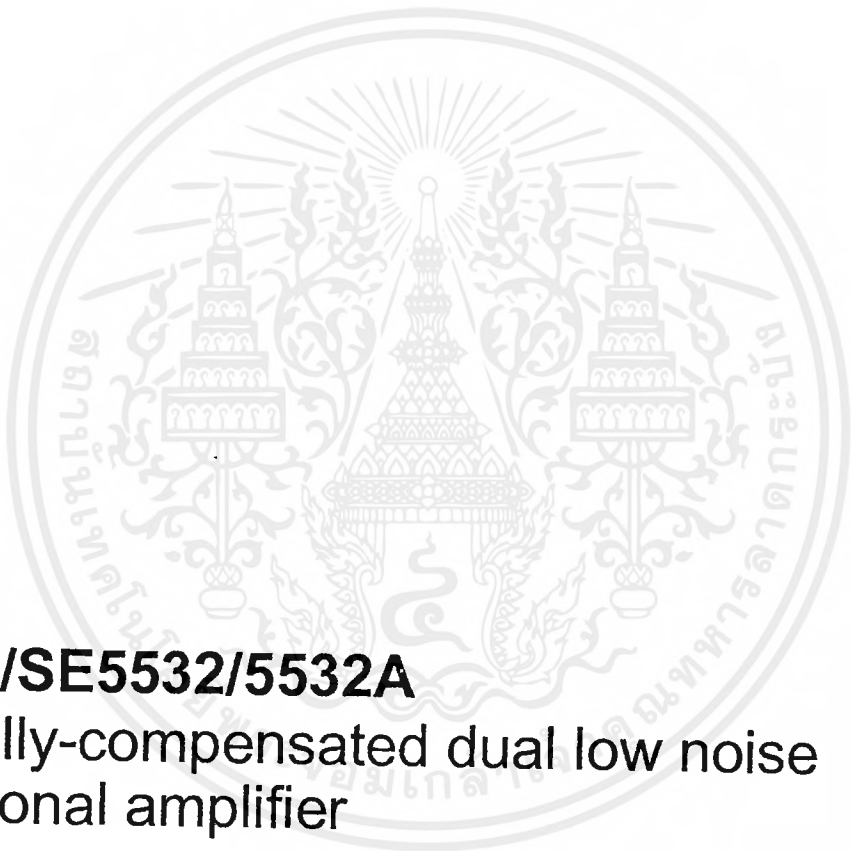


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA SHEET



## **NE/SA/SE5532/5532A**

Internally-compensated dual low noise operational amplifier

Product specification

1997 Sept 29

IC11 Data Handbook

Philips  
Semiconductors



# PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Internally-compensated dual low noise operational amplifier

## NE/SA/SE5532/5532A

### DESCRIPTION

The 5532 is a dual high-performance low noise operational amplifier. Compared to most of the standard operational amplifiers, such as the 1458, it shows better noise performance, improved output drive capability and considerably higher small-signal and power bandwidths.

This makes the device especially suitable for application in high-quality and professional audio equipment, instrumentation and control circuits, and telephone channel amplifiers. The op amp is internally compensated for gains equal to one. If very low noise is of prime importance, it is recommended that the 5532A version be used because it has guaranteed noise voltage specifications.

### FEATURES

- Small-signal bandwidth: 10MHz
- Output drive capability: 600Ω, 10V<sub>RMS</sub>
- Input noise voltage: 5nV/√Hz (typical)
- DC voltage gain: 50000
- AC voltage gain: 2200 at 10kHz
- Power bandwidth: 140kHz
- Slew rate: 9V/μs
- Large supply voltage range: ±3 to ±20V
- Compensated for unity gain

### PIN CONFIGURATIONS

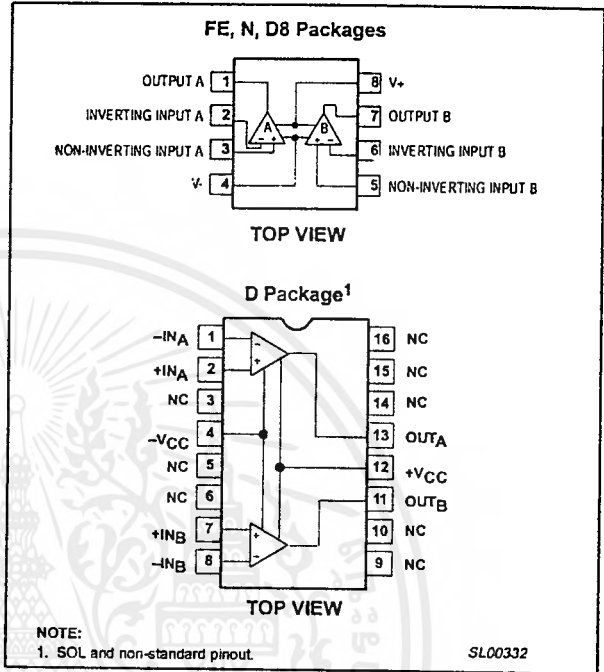


Figure 1. Pin Configurations

### ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to 70°C	NE5532N	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	SA5532N	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	SA5532AN	SOT97-1
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to 70°C	NE5532FE	0580A
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to 70°C	NE5532AN	SOT97-1
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to 70°C	NE5532AF	0580A
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE5532FE	0580A
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE5532AF	0580A
8-Pin Small Outline Package (SO)	0 to 70°C	NE5532AD8	SOT96-1
8-Pin Small Outline Package (SO)	-40°C to 85°C	SA5532D8	SOT96-1
8-Pin Small Outline Package (SO)	-40°C to 85°C	SA5532AD8	SOT96-1
8-Pin Small Outline Package (SO)	-55°C to +125°C	SE5532AD8	SOT96-1
8-Pin Small Outline Package (SO)	0 to 70°C	NE5532D8	SOT96-1
8-Pin Small Outline Package (SO)	-40°C to 85°C	SA5532D8	SOT96-1
8-Pin Small Outline Package (SO)	-40°C to 85°C	SA5532AD8	SOT96-1
8-Pin Small Outline Package (SO)	-55°C to +125°C	SE5532D8	SOT96-1
16-Pin Plastic Small Outline Large (SOL) Package	0 to 70°C	NE5532D	SOT162-1
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	SE5532N	SOT38-4

Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

EQUIVALENT SCHEMATIC (EACH AMPLIFIER)

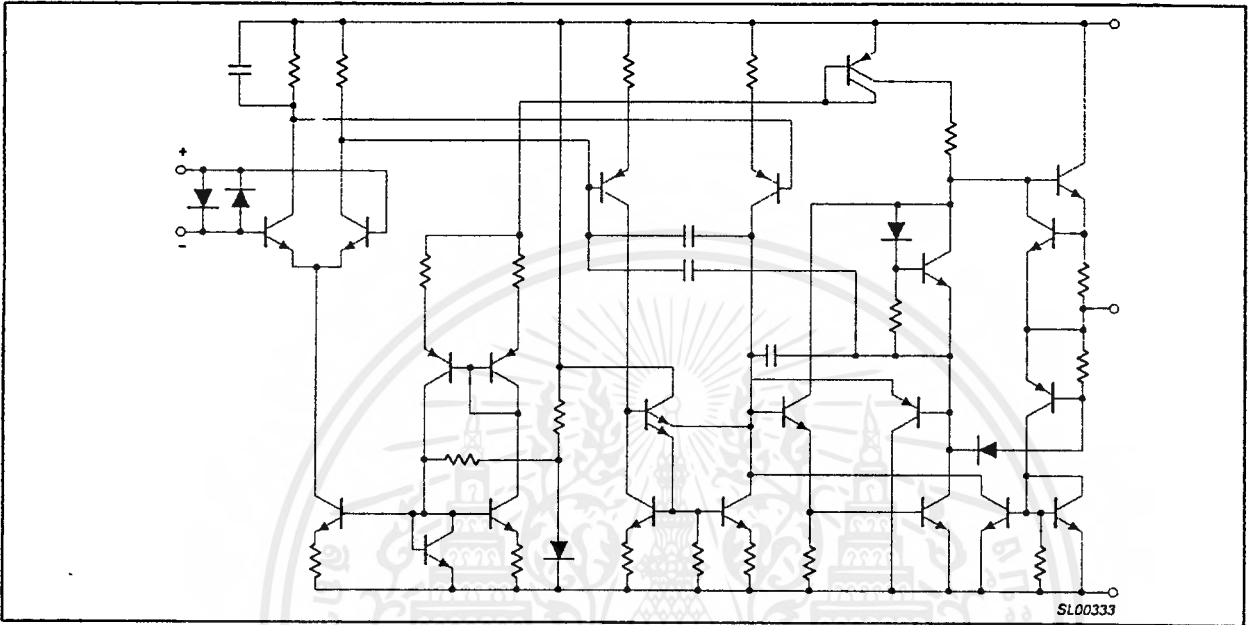


Figure 2. Equivalent Schematic (Each Amplifier)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V <sub>S</sub>	Supply voltage	±22	V
V <sub>IN</sub>	Input voltage	±V <sub>SUPPLY</sub>	V
V <sub>DIFF</sub>	Differential input voltage <sup>1</sup>	±0.5	V
T <sub>A</sub>	Operating temperature range SA5532/A NE5532/A SE5532/A	-40 to +85 0 to 70 -55 to +125	°C °C °C
T <sub>STG</sub>	Storage temperature	-65 to +150	°C
T <sub>J</sub>	Junction temperature	150	°C
P <sub>D</sub>	Maximum power dissipation, T <sub>A</sub> =25°C (still-air) <sup>2</sup> 8 D8 package 8 N package 8 FE package 16 D package	780 1200 1000 1200	mW mW mW mW
T <sub>SOLD</sub>	Lead soldering temperature (10sec max)	300	°C

NOTES:

- Diodes protect the inputs against over-voltage. Therefore, unless current-limiting resistors are used, large currents will flow if the differential input voltage exceeds 0.6V. Maximum current should be limited to ±10mA.
- Thermal resistances of the above packages are as follows:  
N package at 100°C/W  
F package at 135°C/W  
D package at 105°C/W  
D8 package at 160°C/W

Internally-compensated dual low noise  
operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A=25^\circ\text{C}$   $V_S=\pm 15\text{V}$ , unless otherwise specified. 1, 2, 3

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE/5532/5532A			NE/SA/5532/5532A			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{OS}$	Offset voltage	Over temperature		0.5	2		0.5	4	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$				5	3		5	5	mV/ $^\circ\text{C}$
$I_{OS}$	Offset current	Over temperature			100		10	150	nA
$\Delta I_{OS}/\Delta T$				200	200		200	200	nA/ $^\circ\text{C}$
$I_B$	Input current	Over temperature		200	400		200	800	nA
$\Delta I_B/\Delta T$				5	700		5	1000	nA/ $^\circ\text{C}$
$I_{CC}$	Supply current	Over temperature		8	10.5		8	16	mA
					13				mA
$V_{CM}$	Common-mode input range		$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
CMRR	Common-mode rejection ratio		80	100		70	100		dB
PSRR	Power supply rejection ratio			10	50		10	100	$\mu\text{V/V}$
$A_{VOL}$	Large-signal voltage gain	$R_L \geq 2\text{k}\Omega$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	50	100		25	100		V/mV
		Over temperature	25			15			V/mV
		$R_L \geq 600\Omega$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	40	50		15	50		V/mV
		Over temperature	20			10			V/mV
$V_{OUT}$	Output swing	$R_L \geq 600\Omega$	$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
		Over temperature	$\pm 10$	$\pm 12$		$\pm 10$	$\pm 12$		
		$R_L \geq 600\Omega$ , $V_S = \pm 18\text{V}$	$\pm 15$	$\pm 16$		$\pm 15$	$\pm 16$		
		Over temperature	$\pm 12$	$\pm 14$		$\pm 12$	$\pm 14$		
		$R_L \geq 2\text{k}\Omega$	$\pm 13$	$\pm 13.5$		$\pm 13$	$\pm 13.5$		
	Over temperature	$\pm 12$	$\pm 12.5$		$\pm 10$	$\pm 12.5$			
$R_{IN}$	Input resistance		30	300		30	300		k $\Omega$
$I_{SC}$	Output short circuit current		10	38	60	10	38	60	mA

## NOTES:

- Diodes protect the inputs against overvoltage. Therefore, unless current-limiting resistors are used, large currents will flow if the differential input voltage exceeds 0.6V. Maximum current should be limited to  $\pm 10\text{mA}$ .
- For operation at elevated temperature, derate packages based on the package thermal resistance.
- Output may be shorted to ground at  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure dissipation rating is not exceeded.

## AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A=25^\circ\text{C}$   $V_S=\pm 15\text{V}$ , unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	NE/SA/SE5532/5532A			UNIT
			Min	Typ	Max	
$R_{OUT}$	Output resistance	$A_V=30\text{dB}$ Closed-loop $f=10\text{kHz}$ , $R_L=600\Omega$		0.3		$\Omega$
	Overshoot	Voltage-follower $V_{IN}=100\text{mV}_{p-p}$ $C_L=100\text{pF}$ , $R_L=600\Omega$		10		%
$A_V$	Gain	$f=10\text{kHz}$		2.2		V/mV
GBW	Gain bandwidth product	$C_L=100\text{pF}$ , $R_L=600\Omega$		10		MHz
SR	Slew rate			9		V/ $\mu\text{s}$
	Power bandwidth	$V_{OUT}=\pm 10\text{V}$ $V_{OUT}=\pm 14\text{V}$ , $R_L=600\Omega$ , $V_{CC}=\pm 18\text{V}$		140		kHz
				100		kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

T<sub>A</sub>=25°C V<sub>S</sub>=±15V, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	NE/SE5532			NE/SA/SE5532A			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V <sub>NOISE</sub>	Input noise voltage	f <sub>O</sub> =30Hz		8			8	12	nV/√Hz
		f <sub>O</sub> =1kHz		5			5	6	nV/√Hz
I <sub>NOISE</sub>	Input noise current	f <sub>O</sub> =30Hz		2.7			2.7		pA/√Hz
		f <sub>O</sub> =1kHz		0.7			0.7		pA/√Hz
	Channel separation	f=1kHz, R <sub>S</sub> =5kΩ		110			110		dB

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

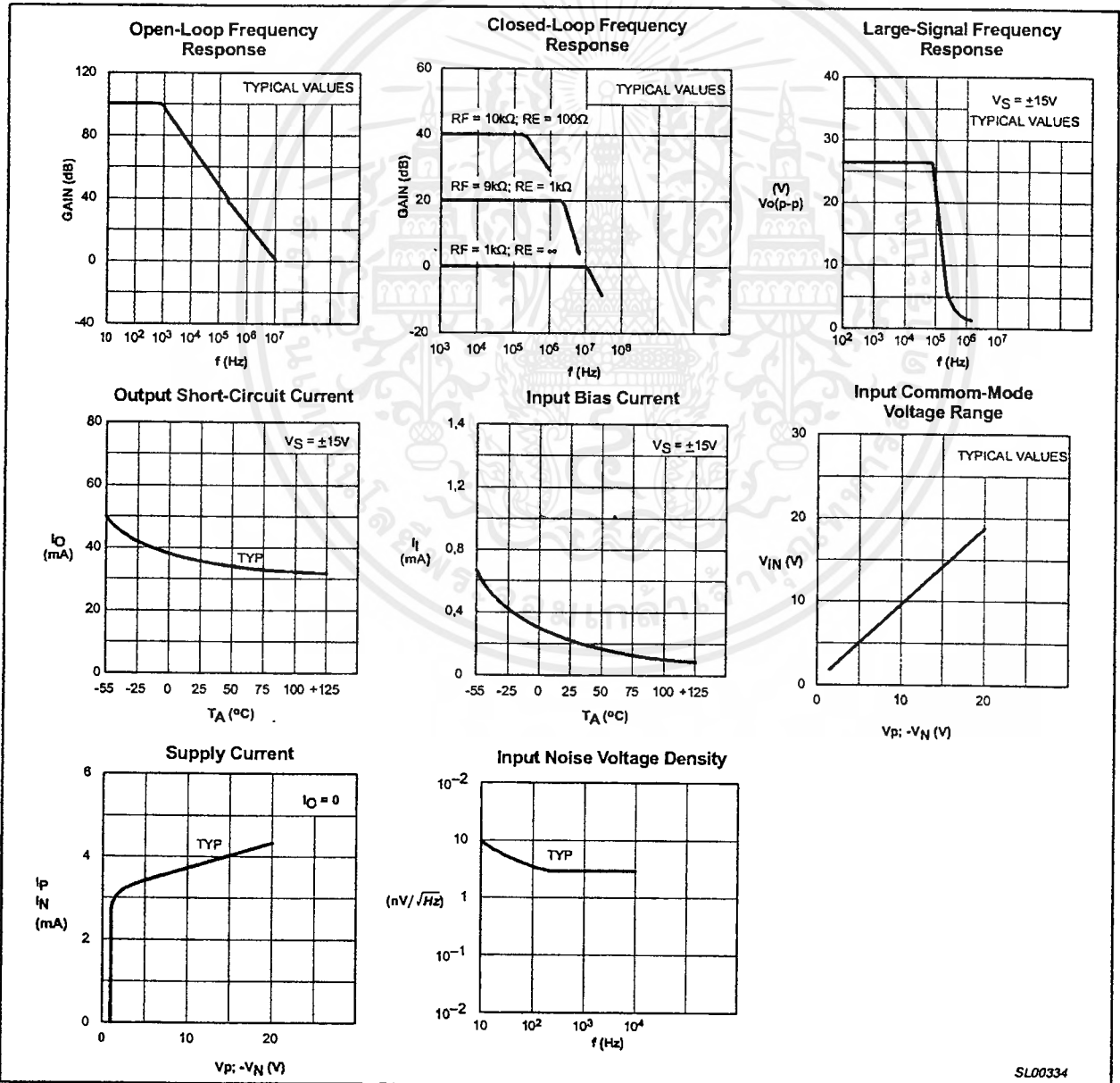


Figure 3. Typical Performance Characteristics

SL00334

# Internally-compensated dual low noise operational amplifier

## NE/SA/SE5532/5532A

### TEST CIRCUITS

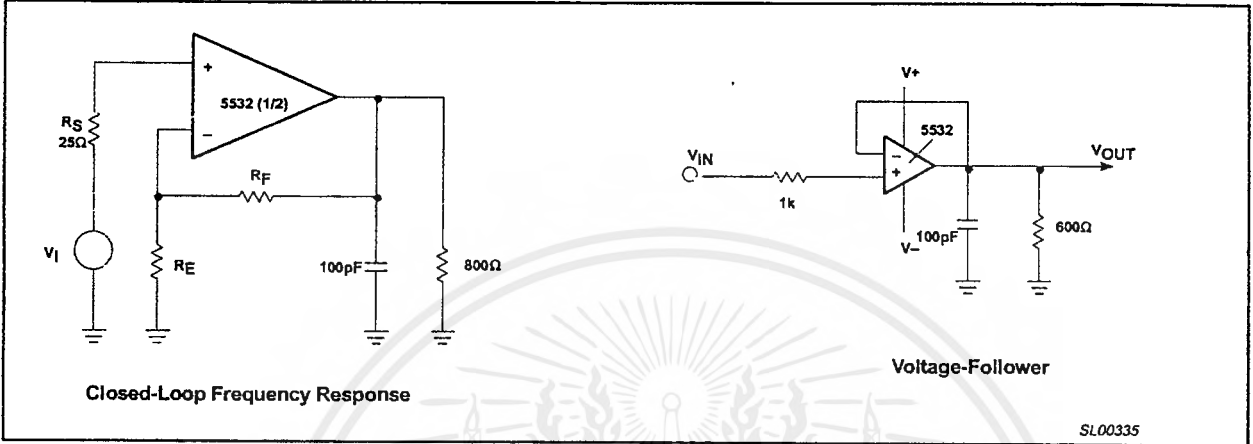


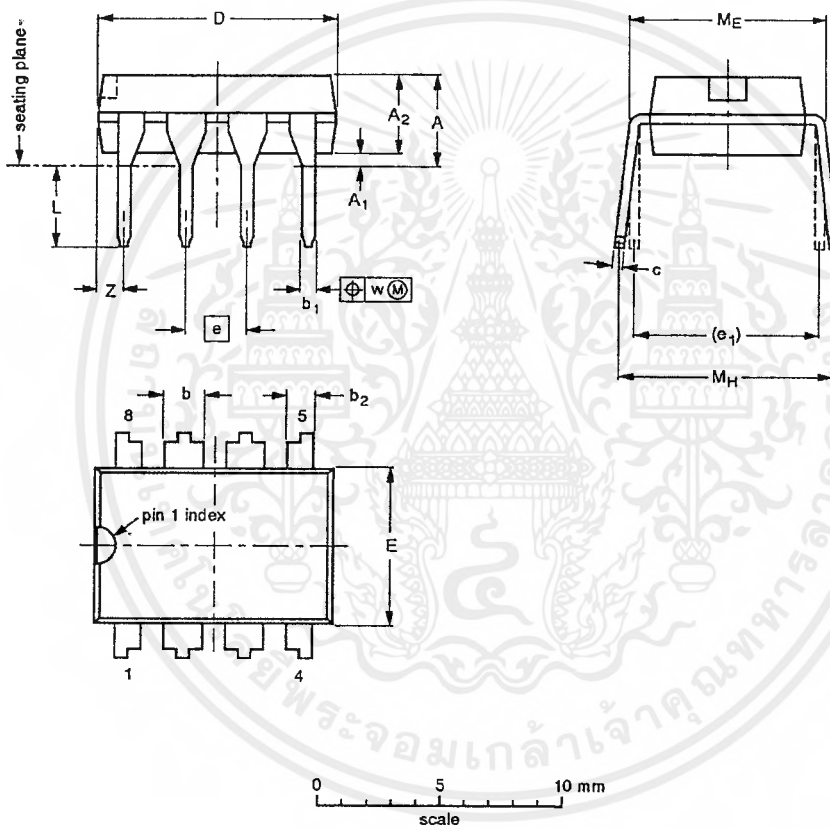
Figure 4. Test Circuits

Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

DIP8: plastic dual in-line package; 8 leads (300 mil)

SOT97-1



DIMENSIONS (Inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A <sub>1</sub> min.	A <sub>2</sub> max.	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c	D <sup>(1)</sup>	E <sup>(1)</sup>	e	e <sub>1</sub>	L	M <sub>E</sub>	M <sub>H</sub>	w	Z <sup>(1)</sup> max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.14	0.53 0.38	1.07 0.89	0.36 0.23	9.8 9.2	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	1.15
Inches	0.17	0.020	0.13	0.068 0.045	0.021 0.015	0.042 0.035	0.014 0.009	0.39 0.36	0.26 0.24	0.10	0.30	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.045

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT97-1	050G01	MO-001AN			92-11-17 95-02-04

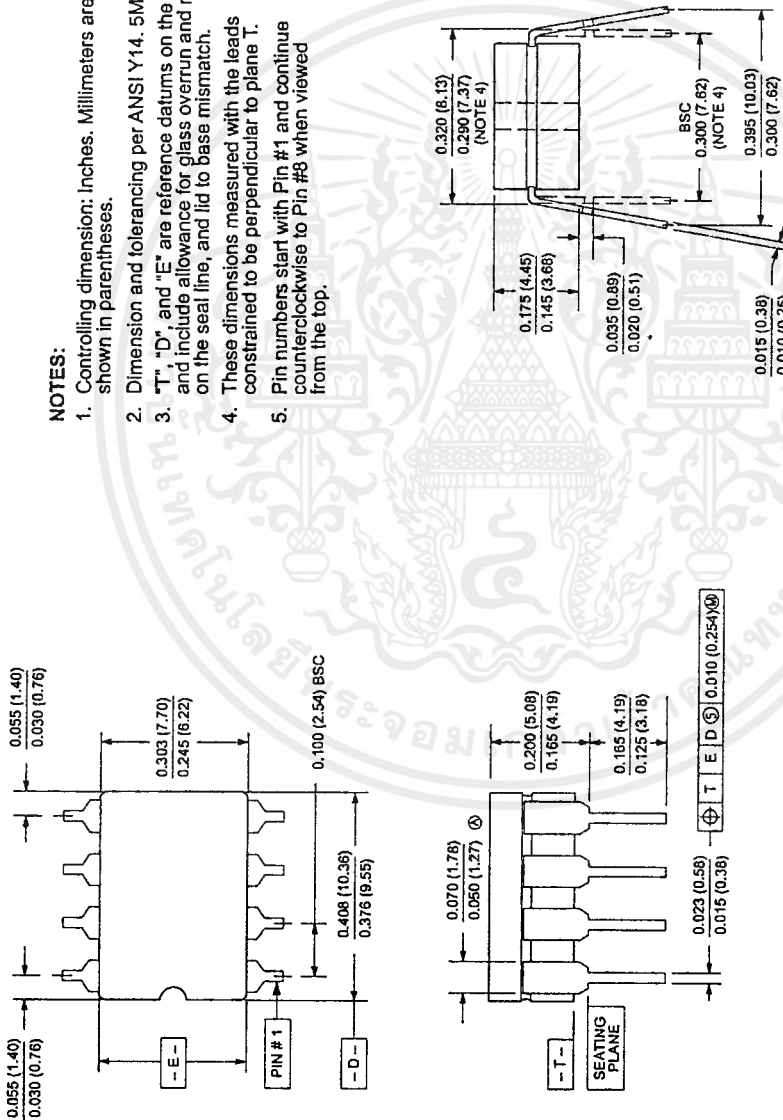
Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

0580A 8-PIN (300 mils wide) CERAMIC DUAL IN-LINE (F) PACKAGE

NOTES:

1. Controlling dimension: Inches. Millimeters are shown in parentheses.
2. Dimension and tolerancing per ANSI Y14. 5M-1982.
3. "T", "D", and "E" are reference datums on the body and include allowance for glass overrun and meniscus on the seal line, and lid to base mismatch.
4. These dimensions measured with the leads constrained to be perpendicular to plane T.
5. Pin numbers start with Pin #1 and continue counterclockwise to Pin #8 when viewed from the top.

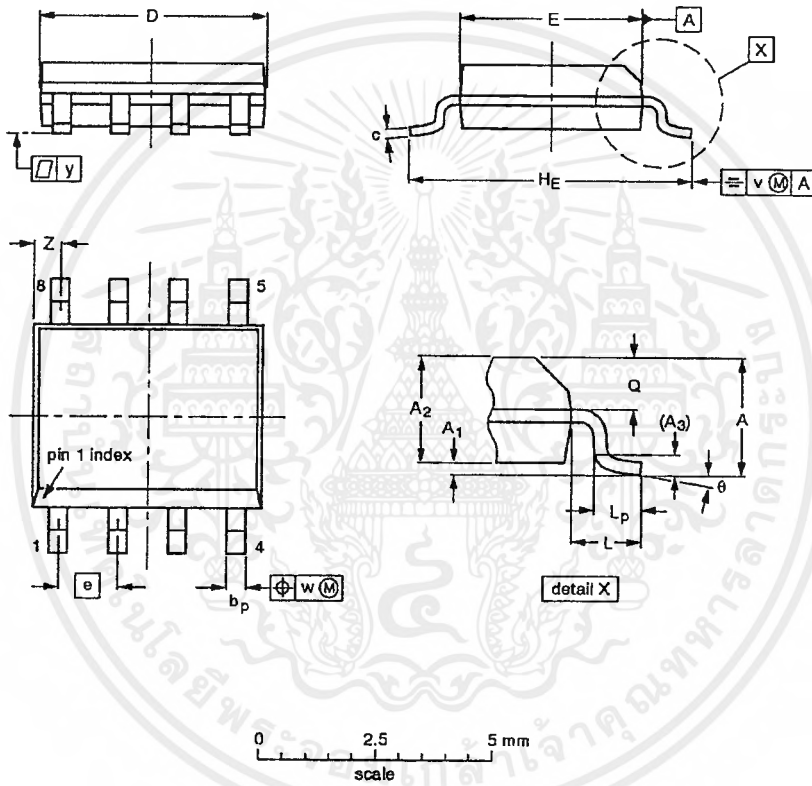


Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

SO8: plastic small outline package; 8 leads; body width 3.9mm

SOT96-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	b <sub>p</sub>	c	D <sup>(1)</sup>	E <sup>(2)</sup>	e	H <sub>E</sub>	L	L <sub>p</sub>	Q	v	w	y	z <sup>(1)</sup>	θ
mm	1.75	0.25	1.45	0.25	0.49	0.25	5.0	4.0	1.27	6.2	1.05	1.0	0.7	0.25	0.25	0.1	0.7	8°
inches	0.069	0.0098	0.057	0.01	0.019	0.0098	0.20	0.16	0.050	0.24	0.041	0.039	0.028	0.01	0.01	0.004	0.028	0°
		0.0039	0.049		0.014	0.0075	0.19	0.15		0.23		0.016	0.024				0.012	

- Notes
1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.
  2. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT96-1	076E03S	MS-012AA			92-11-17 95-02-04