

ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ  
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546  
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

LABORATORY SET ON ACTIVE FILTER CIRCUIT  
FOR DIPLOMA CERTIFICATE CURRICULUM 2003  
OFFICE OF THE VOCATIONAL EDUCATION COMMISSION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารต้นฉบับหลักสูตรปริญญาคุณวุฒินานาชาติ  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่สื่อสาร

คณะกรรมการคุณวุฒินานาชาติ

คณะกรรมการคุณวุฒินานาชาติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-ED-M-231-026

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดปฏิบัติการวงจรองความถี่แบบแอกทีฟ  
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

LABORATORY SET ON ACTIVE FILTER CIRCUIT  
FOR DIPLOMA CERTIFICATE CURRICULUM 2003  
OFFICE OF THE VOCATIONAL EDUCATION COMMISSION



เอกราช นินรัตน์  
AEKARAT NINTARAT

เลขหมู่.....95675  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....27.....พ.ค.....2552

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2552

KMITL-2009-ED-M-231-026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LABORATORY SET ON ACTIVE FILTER CIRCUIT  
FOR DIPLOMA CERTIFICATE CURRICULUM 2003  
OFFICE OF THE VOCATIONAL EDUCATION COMMISSION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION  
IN ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2009**

**KMITL-2009-ED-M-231-026**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะกรรมการอุตสาหกรรม**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง  
 พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา  
 Laboratory Set on Active Filter Circuit for Diploma Certificate Curriculum 2003 Office  
 of the Vocational Education Commission

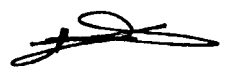
**นักศึกษา** นายเอกราช นิลรัตน์  
**รหัสประจำตัว** 47065407  
**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
**สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า  
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** รศ. วิสุทธิ์  
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** ผศ. กิตติพงษ์



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ด้วยชื่อ
รศ. พิระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	 รศ. พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์
รศ. วิสุทธิ์	สุนทรกนกพงศ์	
ผศ. กิตติพงษ์	มะโน	
รศ. ดร. สุรสิทธิ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ราตรี	
รศ. ดร. กิตติพงษ์	จิตตการุณย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 มีนาคม 2552 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป  
 สถานที่สอบ ณ ห้องเรียนปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรม

คณะกรรมการอุตสาหกรรมรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่.....๖.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ  
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546  
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

ชื่อนักศึกษา

เอกราช นิลทรรัตน์

รหัสประจำตัว

47065407

ปริญญา

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

พ.ศ.

2552

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ. วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผศ. กิติพงศ์ มะโน

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 15 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ใบงานจำนวน 5 ใบงาน แบบทดสอบท้ายใบงาน และแบบทดสอบรวม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประสิทธิภาพของชุดทดลอง คือ  $E_1/E_2$

ผลการวิจัยปรากฏว่า คุณภาพของใบงาน (ค่าเฉลี่ย 4.60 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52) และ แผงทดลอง (ค่าเฉลี่ย 4.53 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55) ของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จัดอยู่ในระดับดีมาก นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการดังกล่าวข้างต้นมีค่าเท่ากับ  $81.33/82.074$  ซึ่งสอดคล้องตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

<b>Thesis Title</b>	Laboratory Set on Active Filter Circuit for Diploma Certificate Curriculum 2003 Office of the Vocational Education Commission
<b>Student</b>	Mr. Aekarat Nintarat
<b>Student ID</b>	47065407
<b>Degree</b>	Master of Science in Industrial Education
<b>Program me</b>	Electrical Communications Engineering
<b>Year</b>	2009
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Wisuit Sunthonkanokpong
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Assist. Prof. Kitipong Mano

### ABSTRACT

This research aimed to develop as well as to find out the quality and efficiency of the laboratory set on Active Filter Circuit for diploma certificate curriculum 2003, Office of the Vocational Education Commission. The sample used in this research consisted of 15 first-year electronics diploma certificate students from Hatyai Technical College during the second semester of 2008 academic year. The tools utilized in the study were the laboratory set on Active Filter Circuit for diploma certificate curriculum 2003, Office of the Vocational Education Commission, 5 worksheets, formative tests, and summative test. The statistics was analyzed by using mean, standard deviation, and the efficiency of the laboratory set which was  $E_1/E_2$

The results of research were that the quality of worksheets ( $M = 4.60$ ,  $SD = 0.52$ ) and protoboard ( $M = 4.53$ ,  $SD = 0.55$ ) of the laboratory set on Active Filter Circuit for diploma certificate curriculum 2003, Office of the Vocational Education Commission were at the great level. The effectiveness of the laboratory as already mentioned was 81.33/82.074 which was congruent with 80/80 as specified.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ร.ศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ศศ.กิติพงศ์ มะโน อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือ และช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ ได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราชตรี รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ และศศ.ดร.พรพิมล ฉายรัศมี กรรมการสอบที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 5 ท่าน คือ ศศ.สุชิน อาจหาญ นายปิยะ ประสงค์จันทร์ นายเสนอ สะอาด นายเอี่ยมโอภาส วาณิชย์ปกรณ์ และนายณรงค์ เชื้อพราหมณ์ ที่ได้กรุณา สละเวลาในการประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟ ตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพที่ดีสุด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนให้ข้อคิดต่าง ๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้า เป็นแนวทางในแนวทางในการจัดวิทยานิพนธ์ จนประสบความสำเร็จ ตามจุดมุ่งหมายที่ได้กำหนดไว้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อณรงค์ นิลรัตน์ คุณแม่สมจิตร นิลรัตน์ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่งที่ได้ เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในการศึกษาแก่ผู้วิจัยอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณภรรยาและบุตรของข้าพเจ้า คุณกาญจนา นิลรัตน์ และเด็กชายญาณวุฒิ นิลรัตน์ ที่คอยเป็นกำลังใจและเสมือนเพื่อนคู่คิดที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารรุ่นที่ 8 ที่คอย ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบใจ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ได้ให้ความร่วมมือ เสียสละเวลา ให้ความร่วมมือในการวิจัยในครั้งนี้ จนประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ งานบัณฑิตศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ ให้ความร่วมมือช่วยเหลือด้านการติดต่อสอบถาม และแบบฟอร์มเอกสารต่าง ๆ

คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ ที่เป็นผลจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกราช นิลรัตน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	2
1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 สังเขปรายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	6
2.2 ทฤษฎีเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ.....	9
2.3 การวิจัยเชิงทดลอง.....	17
2.4 การประเมินคุณภาพสื่อ.....	23
2.5 งานที่วิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	27
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.3 การดำเนินการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล.....	38
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>41</b>
4.1 ผลการประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ด้านใบงาน.....	41
4.2 ผลการประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ด้านแผงทดลอง.....	42
4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ..	44
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>45</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	45
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	48
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	50
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>52</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>54</b>
ภาคผนวก ก ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์.....	56
หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย.....	57
หนังสือขอความร่วมมือให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือและเก็บรวบรวม ข้อมูลเพื่อการวิจัย.....	62
ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟโดย ผู้ทรงคุณวุฒิ.....	64
แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทาง การเรียนรู้กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม.....	68
ภาคผนวก ค ใบงาน.....	77
แบบทดสอบ.....	119
รูปแบบของแผงทดลองปฏิบัติการ.....	144
ภาคผนวก ง ตารางแสดงค่าความยากง่าย $p$ และค่าอำนาจจำแนก $r$ .....	146
ตารางคะแนนเพื่อหาความเชื่อมั่น.....	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตารางแสดงค่า IOC.....	162
ตารางคะแนนของแบบทดสอบท้ายใบงาน และคะแนนจาก แบบทดสอบรวม ใช้กับนักเรียน 15 คน.....	168
ภาคผนวก จ คำแนะนำการใช้งานชุดปฏิบัติการตรวจกรองความถี่แบบแฮคทีฟ.....	170
ประวัติผู้เขียน.....	171



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายการสอนวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	7
4.1 ค่าเฉลี่ยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านใบงาน...	41
4.2 ค่าเฉลี่ยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิของด้านแพ่ง ทดลอง.....	43
4.3 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ ใช้กับนักเรียน 15 คน.....	44
6.1 ค่าความยากง่าย p ค่าอำนาจจำแนก r ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 1 LPF.....	146
6.2 ค่าความยากง่าย p ค่าอำนาจจำแนก r ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 2 HPF.....	146
6.3 ค่าความยากง่าย p ค่าอำนาจจำแนก r ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 3 BPF.....	147
6.4 ค่าความยากง่าย p ค่าอำนาจจำแนก r ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 4 BSF.....	147
6.5 ค่าความยากง่าย p ค่าอำนาจจำแนก r ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 5 APF	148
6.6 ค่าความยากง่าย p ค่าอำนาจจำแนก r ของแบบทดสอบรวม.....	148
6.7 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 1.....	150
6.8 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 2.....	152
6.9 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 3.....	154
6.10 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 4.....	156
6.11 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 5.....	158
6.12 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบรวม.....	160
6.13 การหาค่า IOC ของแบบทดสอบท้ายใบงาน.....	162
6.14 การหาค่า IOC ของแบบทดสอบรวม.....	165
6.15 คะแนนของแบบทดสอบท้ายใบงาน 4 ใบงานระหว่างการเรียน และคะแนนจาก แบบทดสอบรวมใช้กับนักศึกษา 15 คน.....	168

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำ และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ.....	10
2.2 วงจรกรองความถี่สูง และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง .....	12
2.3 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน.....	13
2.4 วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่.....	14
2.5 (ก) วงจร All-Pass Filter กรณีส $v_o$ ถัดหลัง $v_{in}$ (ข) วงจร All-Pass Filter กรณีส $v_o$ นำหน้า $v_{in}$ (ค) การตอบสนองความถี่ของวงจร All-Pass Filter.....	15
2.6 รูปตัวอย่างแอมพลิจูดปฏิบัติการ .....	22
3.1 ลำดับขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ.....	29
3.2 ลำดับขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	33
3.3 ลำดับขั้นตอนการสร้างใบงานปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ.....	35
3.4 ลำดับขั้นตอนการสร้างแอมพลิจูดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ.....	37
6.1 รูปแอมพลิจูดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ (ด้านบน) .....	144
6.2 รูปแอมพลิจูดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ (ด้านข้าง) .....	144

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit) มีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาทางด้านสื่อสารและโทรคมนาคม ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุสื่อสารจะต้องมีการแยกข้อมูลข่าวสารออกจะคลื่นพาห์ จึงมีความจำเป็นที่จะใช้วงจรกรองความถี่ แยกสัญญาณดังกล่าวออกจากความถี่วิทยุ ที่ส่งจากเครื่องส่งคลื่นวิทยุ มิฉะนั้น ก็จะไม่สามารถแยกและรับข้อมูลข่าวสารจากเครื่องส่งต้นทางได้ อนึ่ง ในด้านการเรียนการสอน พบว่า วงจรกรองความถี่ยังเป็นพื้นฐานการเรียนในรายวิชาอื่น อาทิเช่น การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ระบบเครื่องเสียง ระบบวิทยุ โทรศัพท์ โทรทัศน์ เครื่องรับส่งวิทยุสื่อสาร และ การสื่อสารดาวเทียม ดังนั้นเป็นต้น ซึ่งในการเรียนการสอนวิชาดังกล่าว ต้องอาศัยวงจรกรองความถี่ เช่น ในวิชาโทรศัพท์จะต้องมีการรวมสัญญาณ (Multiplex) ที่เป็นข้อมูลข่าวสาร และส่งในตัวกลางเดียวกัน ด้านปลายทางก็จะต้องแยกสัญญาณ (Demultiplex) โดยใช้การออกแบบวงจรกรองความถี่ ก็จะสามารถกรองแยกสัญญาณออกจากการรวมสัญญาณข้างต้น ได้ ซึ่งนี่เป็นตัวอย่างสำคัญในการนำวงจรกรองความถี่ไปประยุกต์ในการออกแบบในระบบสื่อสาร

อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์การสอนในแผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่า ปัญหาของการเรียนการสอนเรื่อง วงจรกรองความถี่ สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้ คือ

1. ผู้สอนจะต้องอธิบายเกี่ยวกับความพื้นฐานของวงจรกรองความถี่แต่ละชนิด ออกแบบ คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงผลการออกแบบ ซึ่งเนื้อหาดังกล่าว เกี่ยวข้องกับความถี่ ซึ่งเป็นสิ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและเป็นสิ่งยากต่อการทำความเข้าใจ
2. ผู้เรียนจะต้องพยายามสร้างจินตนาการเพื่อให้มีความเข้าใจถึงสิ่งที่ผู้สอนกำลังบรรยาย และ สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่ ชนิดต่างๆ ได้
3. ธรรมชาติของเนื้อหาวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ จะมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีการออกแบบวงจรกรองชนิดต่างๆ โดยจะต้องออกแบบให้ได้ค่าต่างๆตามความต้องการของโจทย์ที่กำหนดขึ้น ซึ่งโดยภาพรวมแล้วเนื้อหาดังกล่าวค่อนข้างมาก ทำการเรียนการสอนไม่ทันกับเวลาที่มีอยู่ จึงทำให้การสอนไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

สำหรับ แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัย จึงเห็นควรให้นำเอารูปแบบการฝึกภาคปฏิบัติที่เน้นการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาทฤษฎีที่เรียนมา โดยที่ผู้เรียนจะได้พิสูจน์หลักการทำงานทางทฤษฎีด้วยการทดลองจริง ช่วยให้เกิดประสบการณ์ตรง เกิดทักษะและสามารถพิสูจน์หาข้อเท็จจริงได้ ดังนั้น การปฏิบัติจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเรียนการสอนด้านอาชีวศึกษา

จากความสำคัญ ปัญหา และแนวทางการแก้ไขปัญหารื่องของวงจรรองความถี่ดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีความต้องการที่จะแก้ปัญหาเกี่ยวกับการเรียนการสอน โดยทำการสร้างชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ขึ้นเพื่อสร้างความเข้าใจในเรื่องของวงจรรองความถี่ ให้กับผู้เรียน อีกทั้งช่วยลดระยะเวลาในการทดลองจากภาคปฏิบัติในรูปแบบเดิมอีกทางหนึ่ง ซึ่งเน้นให้ผู้เรียนสามารถออกแบบวงจรรองความถี่แบบต่างๆ และให้เห็นพฤติกรรม ในการตอบสนองความถี่ของวงจรรองความถี่ แต่ละชนิด ตลอดจนให้มีความคุ้นเคยกับการวิเคราะห์สัญญาณในเชิงเวลาและในเชิงความถี่ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้และความเข้าใจให้กับผู้เรียนมากยิ่งขึ้น และยังสามารถนำไปใช้กับผู้เรียนระดับอื่นหรือสถาบันการศึกษาอื่น ๆ ที่มีเนื้อหาวิชาในลักษณะเดียวกันได้อีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
2. เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
3. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

## 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1. ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟที่สร้างขึ้นมีคุณภาพระดับดี ( $\bar{X} \geq 3.5$ ) ขึ้นไป
2. ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประกอบการเรียนการสอน ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่ต่ำกว่า 80/80

## 1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้กรอบแนวคิด ในการสร้างชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ โดยยึดแนวขั้นตอนการออกแบบของ วัลลภ จันทร์ตระกูล ซึ่งมีกระบวนการทั้งหมด 5 ขั้นตอน (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2536 : 44-46) ดังนี้

1. กำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา
2. กำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์จากขอบข่ายเนื้อหาที่ได้นำมาศึกษา
3. ออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการ
4. ทดลองใช้
5. ปรับปรุง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังใช้กรอบแนวคิดในการหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการของ อรพันธ์ ประสิทธิ์รัตน์ (2530 : 80-84) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำบทเรียนที่พัฒนาเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน
2. นำมาปรับปรุงแก้ไขจนเป็นที่พอใจ
3. ทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเล็ก
4. ตรวจสอบหาจุดบกพร่องและปรับปรุงแก้ไข
5. นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างจริงเพื่อหาประสิทธิภาพ

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ลงทะเบียนเรียน วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ภาคการศึกษา ที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 60 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ลงทะเบียนเรียน วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 15 คน โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling)

2. ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ เป็นส่วนหนึ่งในวิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ใบบาน คือ

หน่วยที่ 1 คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter)

หน่วยที่ 2 คือ วงจรกรองความถี่สูงผ่าน ( High Pass Filter)

หน่วยที่ 3 คือ วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน ( Band Pass Filter)

หน่วยที่ 4 คือ วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ ( Band Stop Filter)

หน่วยที่ 5 คือ วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน (All Pass Filter)

## 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดปฏิบัติการ หมายถึง ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการทดลอง ในรายวิชาออปโตอิเล็กทรอนิกส์ และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา โดยชุดปฏิบัติการ จะประกอบด้วย ใบบาง และแผงทดลองปฏิบัติการ

2. ใบบาง ประกอบด้วย ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการสั่งงานให้นักศึกษาปฏิบัติการ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง ซึ่งมีทั้งหมด 5 ใบบาง

3. แผงทดลอง หมายถึง ชุดปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ 5 ชนิดคือ (1) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter) (2) วงจรกรองความถี่สูงผ่าน ( High Pass Filter) (3) วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน ( Band Pass Filter) (4) วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ ( Band Stop Filter) และ วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน (All Pass Filter)

4. คุณภาพของชุดปฏิบัติการ หมายถึง คุณภาพของใบบางและแผงทดลองซึ่งประเมินโดยของผู้ทรงคุณวุฒิ

4.1 คุณภาพของใบบาง หมายถึง ความถูกต้องเหมาะสมของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม รูปแบบของใบบาง เนื้อหา ตัวอักษร รูป ตาราง กราฟ และ ลำดับการทดลอง ความชัดเจน ตัวอักษร รูป ตาราง กราฟ และคำอธิบายแต่ละขั้นตอน ความสัมพันธ์ระหว่างการเรียนรู้กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียนรู้ รูปแบบของใบบางง่ายต่อการใช้งาน ความเชื่อมั่นต่อการใช้งาน และ/หรือ การควบคุมเนื้อหาตามหลักสูตร

4.2 คุณภาพของแผงทดลอง หมายถึง ขนาด ความเหมาะสม รูปแบบ ตำแหน่ง อุปกรณ์ ความแข็งแรง ความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ ความสะดวกในการดูแลรักษา การจัดเตรียมการทดลอง ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา ความสัมพันธ์ของแผงทดลองปฏิบัติการต่อใบบาง ความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง และ คุณค่าทางวิชาการของแผงการทดลองปฏิบัติการโดยภาพรวม

5. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบท้ายใบงานและแบบทดสอบรวมของกลุ่มตัวอย่างจากชุดปฏิบัติการวงจรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

5.1 แบบทดสอบท้ายใบงาน หมายถึง แบบทดสอบเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่าง หลังจบการทดลองในแต่ละใบงาน มีลักษณะเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก

5.2 แบบทดสอบรวม หมายถึง แบบทดสอบ เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่าง หลังสิ้นสุดการทดลองครบทั้ง 5 ใบงาน มีลักษณะเป็นแบบปรนัยเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก

6. ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนจากชุดปฏิบัติการ โดยวัดจากค่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบท้ายใบงาน ( $E_1$ ) และแบบทดสอบรวม ( $E_2$ ) ตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ  $E_1 / E_2$  เท่ากับ 80/80 โดยที่

เกณฑ์ 80 ตัวแรก ( $E_1$ ) หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบท้ายใบงานแต่ละใบงานรวมกันของกลุ่มตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 80 ขึ้นไป

เกณฑ์ 80 ตัวหลัง ( $E_2$ ) หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบรวมของกลุ่มตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 80 ขึ้นไป

7. นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ลงทะเบียนเรียน วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2551

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่องชุดปฏิบัติการวงจรความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ให้บรรลुวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 2.1 สังเขปรายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
- 2.2 ทฤษฎีวงจรความถี่แบบแอกทีฟ
- 2.3 การวิจัยเชิงทดลอง
- 2.4 การประเมินคุณภาพสื่อ
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สังเขปรายวิชา ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

หลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ได้บรรจุวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี รหัส (3105-2003) จำนวน 3 หน่วยกิต ไว้โดยกำหนดให้ในแต่ละสัปดาห์ใช้เวลาเรียนทฤษฎีและปฏิบัติ 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 18 สัปดาห์ ใน 1 ภาคการศึกษา

#### จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติ วงจรออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
2. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานออกแบบและทดสอบวงจรออปแอมป์ในงานอิเล็กทรอนิกส์
3. เพื่อให้มีทัศนคติในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย ตระหนักถึงคุณภาพของงานและจริยธรรมในงานอาชีพ

#### มาตรฐานรายวิชา

1. ออกแบบวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
2. สร้างวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
3. วัดและทดสอบวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
4. ประยุกต์ใช้วงจรออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติ วงจรดีฟเฟอร์เรนเชียลแอมป์ปลัไฟเออร์ ออกแบบวงจรรองความถี่ วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า วงจรสวิตช์ ชมิตต์ทริกเกอร์ วงจรเกต วงจรขยายสัญญาณหลายช่อง วงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ รูปสแควร์ รูปแรมพ์ วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่และกระแสคงที่ วงจรแปลงรูปคลื่นสัญญาณ วงจรเฟสล็อกกลูป วงจรซินทีไซเซอร์ และวงจรเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

## การวิเคราะห์รายวิชา

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1	คุณสมบัติของออปแอมป์
หน่วยการเรียนรู้ที่ 2	วงจรออปแอมป์พื้นฐาน
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3	วงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ
หน่วยการเรียนรู้ที่ 4	วงจรกิจกำเนิดสัญญาณ
หน่วยการเรียนรู้ที่ 5	ออปแอมป์ในวงจรของเครื่องเสียง
หน่วยการเรียนรู้ที่ 6	ออปแอมป์ในวงจรเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า
หน่วยการเรียนรู้ที่ 7	การป้องกัน ทดสอบและเพิ่มเสถียรภาพให้วงจรออปแอมป์
หน่วยการเรียนรู้ที่ 8	การออกแบบวงจรออปแอมป์

## ตารางที่ 2.1 รายการสอนวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

หน่วยที่	ลำดับที่	ชื่อหน่วย	คาบเรียน(ชั่วโมง)	
			ทฤษฎี	ปฏิบัติ
1	1	คุณสมบัติของออปแอมป์	4	0
2	2	วงจรออปแอมป์พื้นฐาน	2	2
3	3-4	วงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ	4	4
4	5-7	วงจรกิจกำเนิดสัญญาณ	4	4
5	8-10	ออปแอมป์ในวงจรของเครื่องเสียง	4	4
6	11-12	ออปแอมป์ในวงจรเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	4	4
7	13-14	การป้องกัน ทดสอบและเพิ่มเสถียรภาพให้วงจรออปแอมป์	4	4
8	15-17	การออกแบบวงจรออปแอมป์	8	8

ผู้วิจัยได้เลือกหน่วยที่ 3 และ 8 เรื่องวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟและ เรื่องการออกแบบวงจรออปแอมป์ เพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ โดยพัฒนาชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบ แอกทีฟเพื่อนำไปใช้ในการเรียนการสอน วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในหัวข้อชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟซึ่งประกอบด้วยใบงานทั้งหมด 5 ใบงาน และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของแต่ละใบงานดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ใบงานที่ 1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่จบบทเรียนแล้ว นักเรียนจะมีความสามารถทำสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

## ใบงานที่ 2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่จบบทเรียนแล้ว นักเรียนจะมีความสามารถทำสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

## ใบงานที่ 3 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่จบบทเรียนแล้ว นักเรียนจะมีความสามารถทำสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

## ใบงานที่ 4 วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter)

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่จบบทเรียนแล้ว นักเรียนจะมีความสามารถทำสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

## ใบงานที่ 5 วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน (All Pass Filter)

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่จบบทเรียนแล้ว นักเรียนจะมีความสามารถทำสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

อุปกรณ์แต่ละชนิด ที่นำมาประกอบเป็นชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมานั้น จะต้องผ่านขั้นตอนการออกแบบ การตรวจปรับ การตรวจสอบและทดลองใช้ก่อนนำไปใช้งานจริง ดังนั้น การศึกษาขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบจึงถูกต้องตรงตามทฤษฎี เพื่อให้ผลการทำงานของชุดปฏิบัติการใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด

## 2.2 ทฤษฎีเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ

วงจรกรองความถี่ ( Filter Circuit) คือ วงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรซึ่งวงจรกรองความถี่ สามารถแบ่งได้ 2 แบบ

1. วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ (Passive filters)
2. วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ (Active filters)

วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟเป็นวงจรที่ทำงานร่วมกัน 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่หนึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณ จะใช้อุปกรณ์จำพวก Transistor หรือ IC จำพวก Op-Amp ที่มีคุณสมบัติ High Speed ที่มี Slew Rate สูงและUnity Gain Bandwidth สูงๆ ซึ่งจะช่วยให้คุณสมบัติด้านความถี่และด้านอัตราการขยายของวงจรกรองความถี่ดีขึ้น

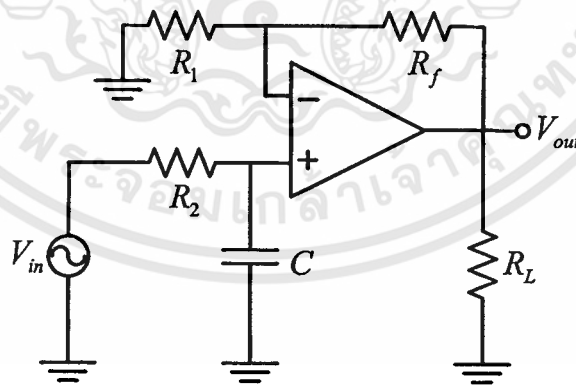
ส่วนที่สองทำหน้าที่เลือกความถี่ (Frequency Selective Network) จะใช้อุปกรณ์จำพวก ตัวต้านทาน กับ ตัวเก็บประจุ ซึ่งวงจรจะให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณในช่วงความถี่ที่กำหนด ขณะเดียวกันจะขวางกั้น (Block) หรือลดทอนสัญญาณนอกเหนือช่วงความถี่ดังกล่าวมิให้ปรากฏ ที่เอาท์พุท

วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ สามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานเป็น 5 ชนิดดังนี้

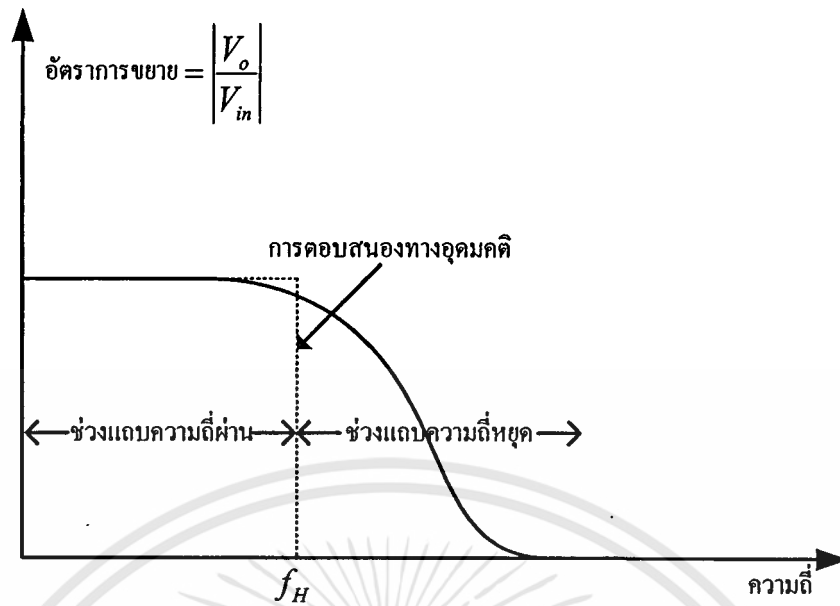
- ก. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter)
- ข. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน ( High Pass Filter)
- ค. วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน ( Band Pass Filter)
- ง. วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ ( Band Stop Filter)
- จ. วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน ( All Pass Filter)

### ก. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่งซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณความถี่ต่ำกว่าค่าที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมด ในขณะที่กำจัดหรือลดทอนความถี่ที่สูงกว่าค่าที่เลือกไว้ คุณสมบัติของวงจร Low Pass Filter แสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.1 ซึ่งแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณค่อย ๆ ตกลงเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นจนใกล้ Cutoff Frequency ( $f_c$ ) และที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) จะมีค่าเท่ากับ 0.707 เท่า หรือถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-3$  dB ซึ่งที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency นี้ บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังตกลงเหลือครึ่งหนึ่ง และถ้าเลยจุดนี้ไปอัตราการลดลงของขนาดหรืออัตรากำลังขยายแรงดันจะลดลงด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง  $-20$  dB/decade หรือ  $-40$  dB/decade หรือ  $-60$  dB/decade ดังรูปที่ 2.1 ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจร ความหมายของ  $-20$  dB/decade คือ เมื่อความถี่แปรค่าสูงขึ้นผลตอบสนองของวงจรจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงโดยมีความชันเท่ากับ  $-20$  dB/decade ต่อความถี่ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปสิบเท่า (decade) หรือเรียกว่า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ  $-20$  dB/decade โดยทั่วไปการหาค่าคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร จะทำการป้อนแรงดันด้านอินพุต ( $V_{in}$ ) คงที่ ค่า ๆ หนึ่ง แต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วย แต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรและคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร



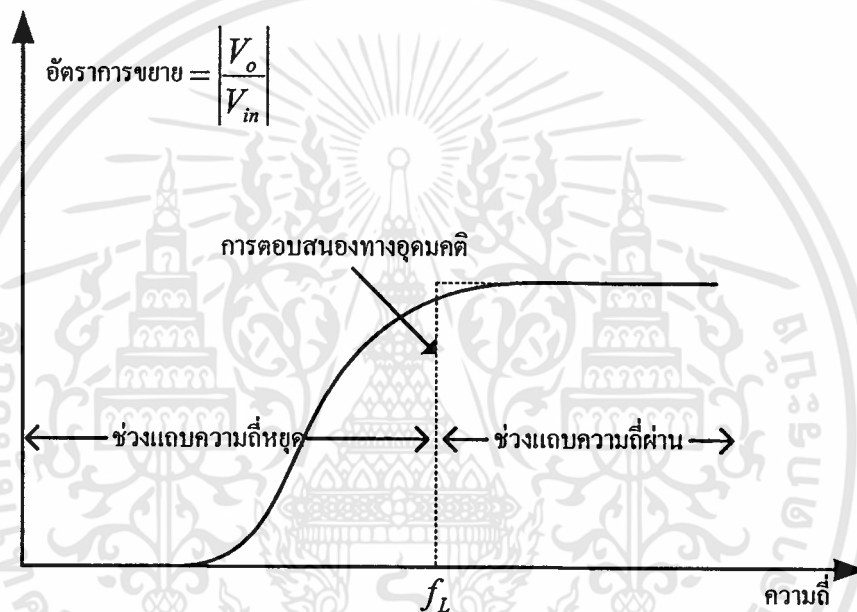
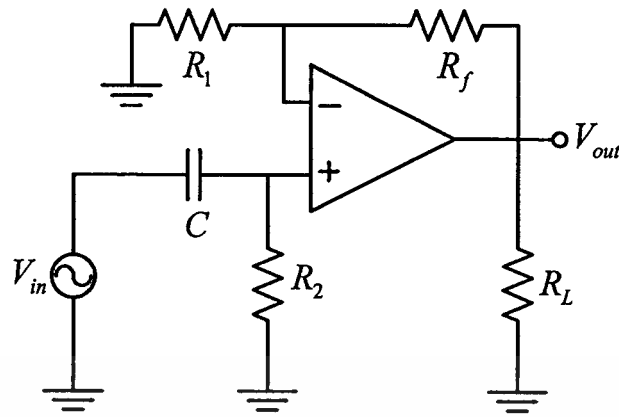
ภาพที่ 2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



ภาพที่ 2.1(ต่อ) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

### ข. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

วงจรกรองความถี่สูงผ่านเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่งซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณความถี่สูงกว่าค่าที่เลือกไว้ ผ่านไปได้ทั้งหมด ในขณะที่จะกำจัดหรือลดทอนความถี่ที่ต่ำกว่าค่าที่เลือกไว้ คุณสมบัติของวงจร High Pass Filter แสดงให้เห็นดังกราฟการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ขนาดของสัญญาณค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นจนใกล้ Cutoff Frequency ( $f_c$ ) และที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) จะมีค่าเท่ากับ 0.707 เท่า หรือถ้าเปลี่ยนเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่า  $-3$  dB ซึ่งที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency นี้บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด และถ้าเลขจุดนี้ไป อัตราการเพิ่มขึ้นของขนาด หรืออัตราการขยายแรงดันจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง  $+20$  dB/decade หรือ  $+40$  dB/decade หรือ  $+60$  dB/decade ดังภาพที่ 2.2 ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจร ความหมายของ  $+20$  dB/decade คือเมื่อความถี่แปรค่าสูงขึ้น ผลตอบสนองของวงจรจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง โดยมีความชันเท่ากับ  $+20$  dB ต่อความถี่ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปสิบเท่า (decade) หรือเรียกว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ  $+20$  dB/decade โดยทั่วไปการหาคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร จะทำการป้อนแรงดันด้านอินพุต ( $V_{in}$ ) คงที่ ค่า ๆ หนึ่ง แต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วย แต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจร และคุณลักษณะการตอบสนองความถี่



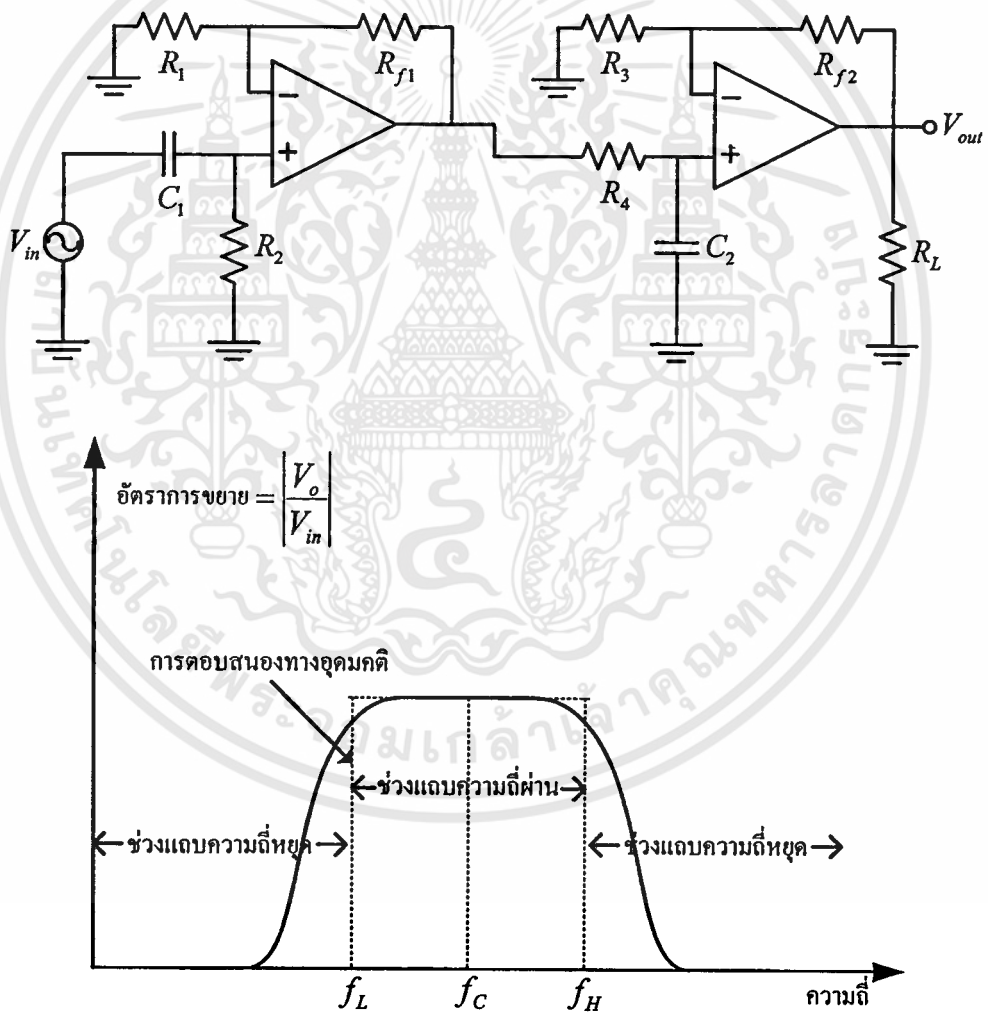
ภาพที่ 2.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

### ค. วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)

วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่านเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณลักษณะในการทำงานคือ จะยอมให้สัญญาณอินพุต ซึ่งมีความถี่ตามที่กำหนดผ่านวงจรไปได้ ส่วนสัญญาณอินพุตซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนหรือไม่ยอมให้สัญญาณผ่านวงจรไปได้ คุณสมบัติเช่นนี้ของวงจร Band Pass Filter แสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ จะเป็นไปได้ว่าอัตราขยายสูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่า หรือ  $-6$  dB เกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนท์  $f_r$  (Resonant Frequency) และตำแหน่งความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนท์ลงมาที่ทำให้อัตราขยายสัญญาณหรืออัตราขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราขยายสูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับ 0.354 เท่า หรือ ถ้าแปลงเป็น เดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-9$  dB นั้นจะเรียกความถี่นี้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

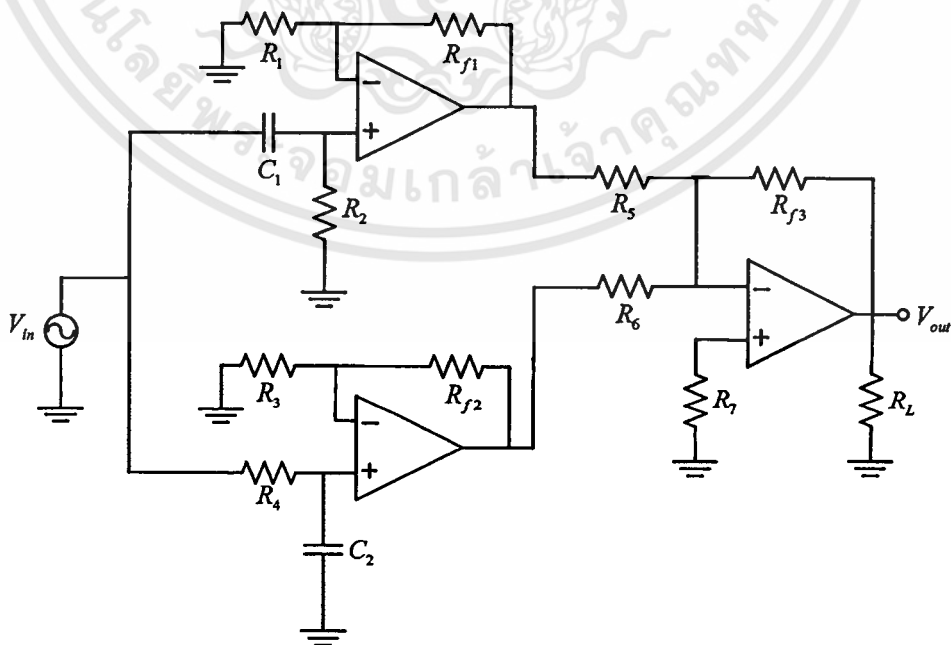
“ความถี่คัตออฟด้านต่ำ  $f_L$  (Low-Cutoff Frequency)” และค่าความถี่ซึ่งสูงกว่าความถี่เรโซแนนท์ที่ทำให้อัตราขยายสัญญาณหรืออัตราขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราขยายสูงสุดของวงจร มีค่าเท่ากับ 0.354 หรือถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-9$  dB เช่นกันนั้นจะเรียกว่า “ความถี่คัตออฟด้านสูง  $f_H$  (High-Cutoff Frequency)” ซึ่งที่ตำแหน่งนี้บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังตกลงเหลือครึ่งหนึ่ง โดยทั่วไปการหาคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจรจะทำการป้อนแรงดันด้านอินพุต ( $V_{in}$ ) คงที่ ค่าๆ หนึ่งแต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อยๆ ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วยแต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรและคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร



ภาพที่ 2.3 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน และ การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน

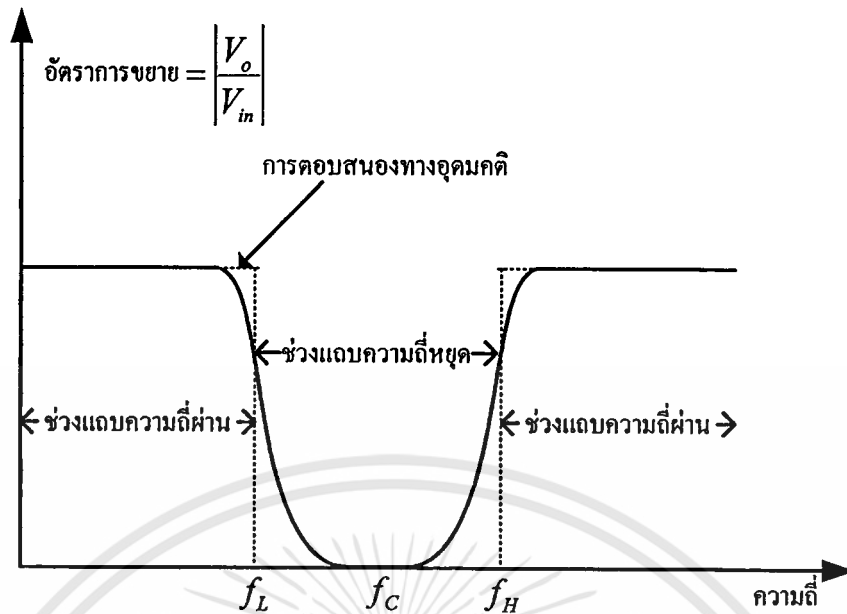
## ง. วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter)

วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่เป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีคุณลักษณะในการทำงานคือสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการจะลดทอนในช่วง Stop Band สัญญาณความถี่ที่ต้องการจะถูกส่งผ่านไปได้ ในช่วง Pass Band คุณสมบัติเช่นนี้ของวงจร Band Stop Filter แสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.4 ซึ่งแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ จะเห็นได้ว่าอัตราการขยายสูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่า หรือ  $-6$  dB และอัตราการขยายต่ำสุดของวงจรจะเกิดขึ้นที่จุดความถี่เรโซแนนท์  $f_r$  (Resonant Frequency) โดยตำแหน่งความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนท์ลงมาที่ทำให้อัตราการขยายสัญญาณหรืออัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราการขยายสูงสุดของวงจร มีค่าเท่ากับ 0.354 เท่า หรือถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-9$  dB นั้นจะเรียกค่าความถี่นี้ว่า “ความถี่คัตออฟด้านต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency)” และค่าความถี่ซึ่งสูงกว่าความถี่เรโซแนนท์ที่ทำให้อัตราการขยายสัญญาณหรืออัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราการขยายสูงสุดของวงจร มีค่าเท่ากับ 0.354 หรือถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-9$  dB เช่นกันนั้นจะเรียกว่า “ความถี่คัตออฟด้านสูง  $f_H$  (High-Cutoff Frequency)” ซึ่งที่ตำแหน่งนี้บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังตกลงเหลือครึ่งหนึ่ง โดยทั่วไปการหาคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจรจะทำการป้อนแรงดันด้านอินพุต ( $V_{in}$ ) คงที่ ค่า ๆ หนึ่ง แต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วย แต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรและคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร



ภาพที่ 2.4 วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่

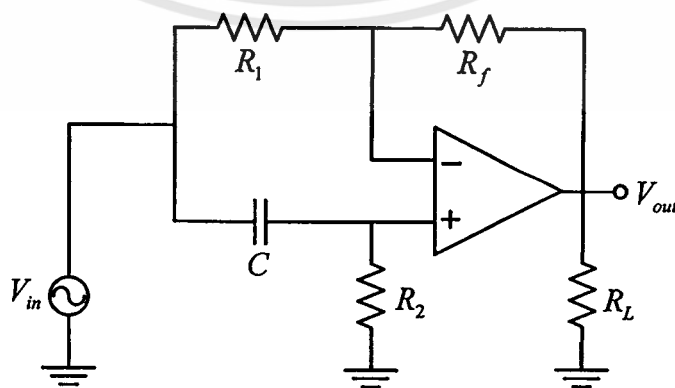
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 (ต่อ) วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ และการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่

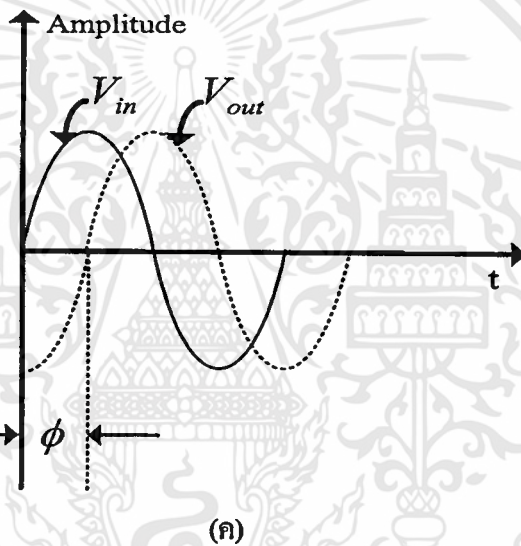
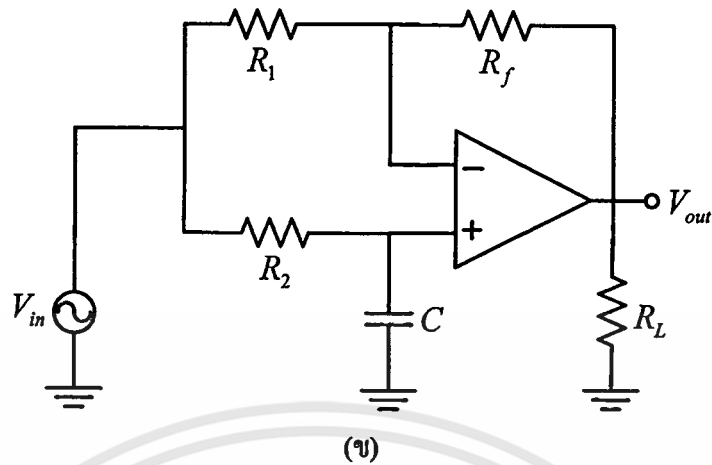
#### จ. วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน (All Pass Filter)

วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (all pass filter) หรือ phase - shift filter เป็นวงจรกรองความถี่ที่มีคุณสมบัติในอันที่จะยอมให้สัญญาณทุกความถี่ผ่านไปได้โดยเท่าเทียมกันตลอด ในขณะเดียวกันจะทำการเปลี่ยนหรือเลื่อนเฟสของความถี่ทั้งหลายไปด้วยค่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่ง ถ้าจำนวนนั้นที่เรากำหนดไว้เป็นค่าลบเหมือนกับมีการหน่วงสัญญาณความถี่ด้วยช่วงเวลาหนึ่ง ขณะที่สัญญาณเหล่านี้ความถี่ชนิดนี้ ฉะนั้นวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (all pass filter) นี้ อาจเรียกชื่อหนึ่งได้ว่า วงจรไทม์ ดีเลย์ (Time - delay circuit) หรือวงจรหน่วงเวลาเฟสที่เลื่อนไป หรือเวลาที่หน่วงออกไป จะแปรเปลี่ยนไปตามความถี่ในขณะที่ค่าแอมพลิจูดหรือขนาดของสัญญาณยังคงมีค่าคงที่เท่าเทียมกันไปตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ก. วงจร All-Pass Filter กรณี  $v_o$  ถ้าหลัง  $v_{in}$   
 ข. วงจร All-Pass Filter กรณี  $v_o$  นำหน้า  $v_{in}$   
 ค. การตอบสนองความถี่ของวงจร All-Pass Filter

ภาพที่ 2.5 แสดง Phase Shift ระหว่าง Input Voltage  $v_{in}$  กับ Output Voltage  $v_o$  ของ All-Pass Filter วงจร All-Pass Filter มีคุณสมบัติในการให้สัญญาณทุกความถี่ผ่านได้เท่า ๆ กัน กล่าวคือให้  $v_o$  เท่ากับ  $v_{in}$  ในทุกความถี่โดยปรากฏ Phase Shift ขึ้นระหว่าง  $v_o$  กับ  $v_{in}$  ในบางความถี่ แต่ค่าความถี่สูงสุดซึ่ง  $v_o$  กับ  $v_{in}$  ยังคงมีขนาดเท่ากันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ Unity Gain Bandwidth ของ Op-Amp ที่ความถี่นี้ Phase Shift ที่เกิดขึ้นระหว่าง  $v_o$  กับ  $v_{in}$  จะมีค่าสูงสุด

## 2.3 การวิจัยเชิงทดลอง

### 2.3.1 ความหมาย

การวิจัยเชิงทดลองเป็นวิธีการแสวงหาความรู้ที่มีระบบและมีเหตุผล การทดลองเป็นวิธีการทดสอบสมมุติฐานอย่างหนึ่ง คือ เมื่อผู้วิจัยนิยามปัญหาที่จะวิจัยแล้ว ก็จะตั้งสมมุติฐานซึ่งอาจจะถูกหรือผิดก็ได้ การที่สมมุติฐานจะได้รับการยืนยัน หรือไม่ได้รับการยืนยันจากข้อมูลขึ้นอยู่กับ การควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีความถูกต้องเพียงใด จุดมุ่งหมายของการวิจัยเชิงทดลอง ก็เพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ที่ได้ผลจากการทดลอง และหาผลสรุปเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ (อนันต์ ศรีโสภณ. 2527 : 97)

### 2.3.2 วิธีดำเนินการวิจัยเชิงทดลอง

ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. การศึกษางานวิจัย หนังสือ บทความต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่จะทำการวิจัย
2. กำหนดจุดมุ่งหมาย และนิยามปัญหาที่จะทำให้ชัดเจน
3. ตั้งสมมุติฐาน นิยามคำศัพท์เฉพาะ และตัวแปรให้ชัดเจน
4. สร้างแบบแผนการทดลองให้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ระบุตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องทั้งหมด เลือกแผนการวิจัยที่สอดคล้องกับปัญหา เลือกกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของประชากรทั้งหมด คัดเลือกเครื่องมือในการวิจัย โดยพิจารณาถึงความเที่ยงตรงของเครื่องมือ แปลงสมมุติฐานให้เป็นข้อมูลทางสถิติ
5. ดำเนินการทดลอง และต้องควบคุมสิ่งต่าง ๆ ให้คงที่
6. กำจัดลักษณะการกระทำต่าง ๆ ที่อาจจะทำให้ได้ข้อมูลที่ผิด และมีอิทธิพลต่อการทดลอง
7. นำวิธีทางสถิติมาทดสอบสมมุติฐาน และพิจารณาความเชื่อมั่นของผลการวิจัยที่ได้ (อนันต์ ศรีโสภณ. 2527 : 97)

### 2.3.3 การสอนลักษณะการทดลอง

การสอนลักษณะการทดลอง หมายถึง การสอนเนื้อหาวิชา โดยให้นักเรียนทำการทดลองด้วยตนเอง เป็นวิธีการสอนทำให้เกิดการเรียนรู้จากการค้นพบจากผลการทดลอง นักเรียนได้รับความรู้จากประสบการณ์ตรงซึ่งเป็นธรรมชาติที่สุด การเรียนรู้เป็นจุดหมายปลายทางของการศึกษา ควรจะส่งเสริมให้มีการเรียนการสอนแบบทดลองมาก ๆ (อัญชลี แจ่มเจริญ. 2526: 45)

ประโยชน์ของการสอนโดยให้นักเรียนทำการทดลองด้วยตนเองมีดังนี้

1. ทำให้เกิดความสนใจในบทเรียน

2. ทำให้มองเห็นว่าเป็นสิ่งแปลกใหม่
3. ทำให้มองเห็นและจับต้องได้
4. ทำให้ค้นหาคำตอบได้เอง
5. ทำให้สนุกสนานกับการเรียน
6. ทำให้ความคิดรวบยอดชัดเจนยิ่งขึ้น

### 3.3.4 หลักการสอนโดยให้นักเรียนทำการทดลองด้วยตนเอง

1. ต้องเป็นการทดลองที่เร้าให้เกิดความคิดเห็นและประหลาดใจจนถึงขั้นนำไปสู่การแก้ปัญหาในที่สุด
2. นักเรียนจะต้องรู้จุดมุ่งหมายของการทดลองแต่ละครั้งเสมอ
3. ครูต้องเตรียมแผนการทดลองด้วยความละเอียดถี่ถ้วน
4. ให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการทดลองมากที่สุด
5. ครูต้องให้นักเรียนปฏิบัติโดยเป็นตัวของตัวเองมากที่สุด
6. ครูต้องทำการทดลองก่อนเพื่อความแน่ใจ
7. ครูต้องสร้างให้นักเรียนเกิดการสังเกต ควบคุมไปกับการทดลองเสมอ ๆ โดยกำหนดไว้ตามขั้นตอนต่าง ๆ
8. ใช้อุปกรณ์ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน
9. การทดลองทุกครั้งต้องสรุปผลและถ้าเป็นไปได้ ควรเขียนรายงานสรุปด้วยตนเอง (อริณัฎฐ์ พรหมศิริ. 2521 : 92)

### 3.3.5 การสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดปฏิบัติการ

แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอนสาขาช่างอุตสาหกรรม คือ การมีสื่อการเรียนการสอนที่ดีสอดคล้องกับหลักสูตร และถ้าผู้สอนได้นำไปใช้ได้อย่างถูกวิธีจะเป็นผลให้คุณภาพ คือ ชุดทดลองการสอนดีขึ้น ในการผลิตสื่อการสอน โดยเฉพาะสื่อในวิชาการทดลองปฏิบัติการ เช่น ชุดปฏิบัติการ นอกจากจะพิจารณาถึงระบบและวิธีสอนที่จะต้องใช้แล้ว ยังมีหลักอีก 3 ประการ คือ

1. เทคนิคการผลิต
2. ความคิดสร้างสรรค์ในการผลิต
3. การออกแบบให้สอดคล้องกับกระบวนการสอน จุดมุ่งหมายการสอนและลักษณะที่จะนำไปใช้ (ไชยยศ เรืองสุวรรณ. 2529 : 4)

สำหรับแนวทางในการออกแบบชุดสื่อการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอน (วัลลภ จันทร์ตระกูล, 2529 : 44-46)

1. กำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา ประกอบด้วยองค์ ประกอบ 4 ประการ ที่ดำเนินการควบคู่กันไป คือ การศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหาวิชา การศึกษาเปรียบเทียบเทียบหลักสูตร การสำรวจโรงงาน และการสำรวจสถานศึกษา

1.1 การศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหาวิชา เพื่อการวางโครงร่าง ลำดับความสัมพันธ์และแบ่งระดับความยากง่ายของเนื้อหาวิชาที่จะทำการออกแบบสร้างสื่อการเรียนการสอน โดยการศึกษาจากตำรา เอกสาร การสัมมนา ปรัชญาผู้เชี่ยวชาญ และศึกษางานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.2 การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตร เพื่อศึกษาความสอดคล้องและความแตกต่างของหลักสูตรใช้เรียนของสถานศึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยการศึกษาจากเอกสารหลักสูตรการสอน ครูผู้สอน ผลที่ได้จะช่วยในการเลือก และกำหนดหัวข้อเรื่องได้สอดคล้องกับหลักสูตร

1.3 การสำรวจโรงงานเป็นการสำรวจสภาพการทำงานเครื่องมืออุปกรณ์ และเทคนิคที่ใช้ในการทำงานตามหัวข้อเรื่องของชุดสื่อการเรียนการสอน โดยสอบถามวิศวกรโรงงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดรายละเอียดของการวิเคราะห์งาน ความสามารถในงานความรู้ และทักษะที่ต้องการในงาน

1.4 การสำรวจสถานศึกษา เป็นการเรียนรู้วิธีการเรียนการสอน ความพร้อมเครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในสถานศึกษา ตลอดจนปัญหา และอุปสรรคในการเรียนการสอน โดยการสำรวจหรือสอบถามจากครูผู้สอน

2. การกำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์ จากขอบข่ายเนื้อหาที่ได้ นำมาศึกษาเพื่อให้สามารถจำแนกเป็นส่วนต่าง ๆ เท่าที่จำเป็น กล่าวคือ ให้รู้ถึงจุดมุ่งหมายและหน้าที่ (Purpose and Function) ของชุดปฏิบัติการ ว่าทำอย่างไรจึงจะสามารถทำงานได้ตามต้องการและสามารถตอบสนองจุดมุ่งหมายของเนื้อหาวิชาได้อย่างครบถ้วน

3. การออกแบบและการสร้างชุดสื่อการเรียนการสอน วัตถุประสงค์ของชุดปฏิบัติการ ที่ผ่านการวิเคราะห์ และตรวจสอบแล้ว เป็นแนวทางในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์การสอน หรือชุดปฏิบัติการที่ทำการออกแบบนี้ สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์การสอนของครู และอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมของนักเรียน ชุดปฏิบัติการจึงมีความสำคัญมากต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนและสามารถในการทำงานด้านช่างอุตสาหกรรม สื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง หรือชุดปฏิบัติการเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากนักเรียนช่างอุตสาหกรรมจำเป็นต้องได้รับประสบการณ์จากการเรียนรู้ที่เป็นรูปธรรมมากที่สุด เพื่อที่จะสามารถปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี การออกแบบและสร้างสื่อประเภทชุดปฏิบัติการนั้น จำเป็นต้องนำหลักการด้านการออกแบบทางด้านวิศวกรรม เชิงปฏิบัติ มาประยุกต์กับงานที่ออกแบบสร้าง ตามลำดับดังนี้

3.1 กำหนดวัตถุประสงค์ ในการทำชุดปฏิบัติการไปใช้ในการเรียนการสอน ควรกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียน การออกแบบการสร้างจะสำเร็จผลตาม เป้าหมายและใช้ได้จริง และกลุ่มผู้เรียน จากนั้นนำไปเขียนวัตถุประสงค์เป็นข้อ ๆ และกำหนด ขอบเขตคุณลักษณะของชุดปฏิบัติการที่จะออกแบบสร้าง สุดท้ายจะต้องตรวจสอบความสอดคล้อง กับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง

3.2 การกำหนดหน้าที่ของชุดปฏิบัติการ จากคำบรรยายคุณลักษณะของชุดปฏิบัติการ ที่กำหนดขึ้นในข้อ 3.1 นำมาวิเคราะห์ เพื่อค้นหาคำพื้นฐาน (Basic Term) ซึ่งจะทำให้เราทราบถึง รายการหน้าที่ต่าง ๆ ของชุดทดลองและพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามกำหนด

3.3 การศึกษาปัจจัยที่ทำให้ชุดปฏิบัติการ ทำงานได้ตามรายการหน้าที่ที่กำหนด โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของวัสดุ (Material) พลังงาน (Energy) และสัญญาณ (Signal) สิ่งที่ต้อง กำหนดอาจเขียนเป็นคำสั้น ๆ ภาพสเก็ทซ์ต่าง ๆ หรือแบบขนาดวงจร เพื่อให้สามารถทราบถึง ส่วนประกอบของอุปกรณ์ให้มากที่สุด ชิ้นส่วนหรือแบบของงานที่คิดค้นขึ้นมา ควรจะพิจารณาถึง การนำมาประกอบของอุปกรณ์ให้มากที่สุด ชิ้นส่วนหรือแบบของงานที่คิดค้นขึ้นมาควรจะพิจารณา ถึงการนำมาประกอบความยากง่ายในการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้และค่าใช้จ่าย

3.4 การวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์จากการเลือกใน หัวข้อที่ 3.3 นำมาหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยพิจารณาเกณฑ์กำหนด เรื่องประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง ความคงทน การบำรุงรักษา และราคา

3.5 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบ เมื่อเลือกชิ้นส่วนและอุปกรณ์ได้แล้ว ต้องนำมา สเก็ทซ์เป็นภาพประกอบต้นแบบคร่าว ๆ หรือเป็นภาพงานชิ้นงานง่าย ๆ จากนั้นจึงทำการสร้าง ต้นแบบ ในขั้นตอนนี้จะต้องมีการทดสอบการทำงานของส่วนต่าง ๆ ตามรายการหน้าที่ที่กำหนด ตามความจำเป็น

3.6 การเขียนแบบเพื่อประโยชน์ในการผลิตครั้งต่อไป งานเขียนนับว่ามีความสำคัญ อย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิต ดังนั้น แบบงานของชุดปฏิบัติการต้องมี แบบ ทั้งแบบภาพประกอบและการแยกชิ้นหรือแบบลายวงจรของแผ่นวงจรพิมพ์

3.7 การเตรียมเอกสารประกอบ อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไป ควรต้องจัด เอกสารประกอบหรือคู่มือการใช้งาน เพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องกับ วัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้าง

4. การทดลองใช้ ชุดสื่อการเรียนการสอนจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษา โดยผู้วิจัย เพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ อาทิเช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน และความสะดวกในการลอกเลียนขึ้นมาทำใหม่

5. การปรับปรุง ข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการ ปรับปรุงชุดสื่อการเรียนการสอนให้มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับได้

วิธีการสร้างแฟงทดลองปฏิบัติการและใบงาน มีลำดับขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

1. ชั้นเตรียมเอกสารข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ชั้นเตรียมการ จะต้องหาบุคคล ที่จะช่วยในการสร้างแฟงทดลองปฏิบัติการและใบงาน

ซึ่งประกอบด้วย

2.1 ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการในสาขาวิชานั้น

2.2 วิทยากร วิศวกรหรือครูผู้สอนและนักเทคโนโลยีทางการศึกษา

3. ชั้นดำเนินการ

3.1 เลือกเนื้อหาวิชา

3.2 กำหนดเวลา

3.3 กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

3.4 จัดลำดับเนื้อหา

3.5 วางแผนวิธีการสอนจะสอนแบบใด ใช้สื่ออะไรบ้าง กิจกรรมอะไร

ประเมินผลอย่างไร

3.6 ลงมือผลิตสื่อโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

3.6.1 การสร้างแฟงทดลองปฏิบัติการ ซึ่งเป็นตัวเครื่องที่จะนำไปทดลองหรือสาธิตให้กับผู้เข้ารับการฝึกอบรม ส่วนการฝึกอบรมได้ทดลองในชั่วโมงฝึกปฏิบัติของวิชาช่างทุกสาขาวิชา โดยทั่วไปแล้วเครื่องมือหรือแฟงทดลองปฏิบัติการ 1 ชุดจะให้กับผู้เข้ารับการฝึกอบรมจำนวนไม่เกิน 2 คนเท่านั้น การสร้างโดยทั่วไปใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายและต้องมีราคาถูก คุณภาพดี

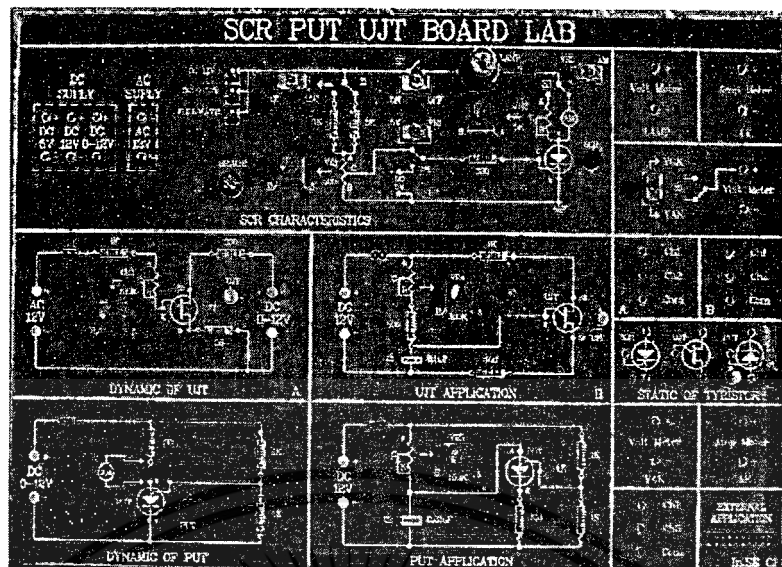
3.6.2 การสร้างใบงานจะต้องมีรายละเอียดทั้งทฤษฎีบรรยายประกอบรูปวงจร คำตอบ สรุป และแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง ซึ่งส่วนการฝึกอบรมได้กำหนดให้เป็นรูปแบบเดียวกัน

3.7 นำแฟงทดลองปฏิบัติการและใบงานไปทดลองใช้

3.8 นำกลับมาแก้ไข (ถ้ามี)

3.9 ปรับปรุง

3.10 ผลิตชุดปฏิบัติการที่สมบูรณ์ให้เพียงพอกับการใช้งานต่อไป



ภาพที่ 2.6 รูปตัวอย่างแผงทดลองชุดปฏิบัติการ

### 1.3.6 การหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ

อรพันธ์ ประสิทธิ์รัตน์. (2530 : 80-84) กล่าวไว้ว่า ในกรณีที่ได้บทเรียนที่สมบูรณ์แล้วก่อนนำบทเรียนไปใช้กับผู้เรียนควรได้นำบทเรียนนั้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน แล้วอาจต้องปรับปรุงแก้ไขจนเป็นที่น่าพอใจแล้วนำไปทดลอง โดยหากกลุ่มตัวอย่างเล็กๆ ประมาณ 2-3 คนก่อนเพื่อจะได้ตรวจสอบว่าความถูกต้องเหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องเหมาะสมจะต้องแก้ไขปรับปรุงใหม่ หลังจากนั้นนำไปใช้ทดลองกับกลุ่มตัวอย่างประมาณ 10 คน เพื่อหาประสิทธิภาพบทเรียนตามกระบวนการหาประสิทธิภาพของสื่อการสอน โดยผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการตั้งไว้ที่ 80/80

80 ตัวแรก คือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ที่ลงปฏิบัติในแต่ละใบงานซึ่งคำนวณจากค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบท้ายใบงาน หลังจบการทดลองแต่ละใบงาน โดยคิดเป็นร้อยละ

80 ตัวหลัง คือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ที่ลงปฏิบัติในใบงานทั้งหมด ซึ่งคำนวณจากค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบรวม โดยทำการทดสอบหลังจบการทดลองในใบงานทั้งหมด และคิดเป็นร้อยละ โดยใช้สูตร  $E_1/E_2$  ดังนี้

$$E_1 = \frac{\sum X/N}{A} \times 100$$

$$E_2 = \frac{\sum F/N}{B} \times 100$$

เมื่อ	$E_1$ หมายถึง	ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน แต่ละใบงาน ระหว่างทำการทดลองชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟ
	$E_2$ หมายถึง	ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากทำการทดลองกับชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟครบทุกใบงาน
	$\sum X$ หมายถึง	คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงานแต่ละใบงาน
	$\sum F$ หมายถึง	คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงานครบทุกใบงาน
	N หมายถึง	จำนวนผู้เรียน
	A หมายถึง	คะแนนเต็มของแบบทดสอบท้ายใบงานแต่ละใบงาน
	B หมายถึง	คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังทำใบงานครบทุกใบงาน

ถ้าปรากฏว่าค่าคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างในการทำแบบทดสอบท้ายใบงาน หลังลงปฏิบัติกับชุดปฏิบัติการ เรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟ ในแต่ละใบงานและค่าคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละที่ได้จากการทำแบบทดสอบรวม หลังจบการทดลองในใบงานทั้งหมดได้ไม่ต่ำกว่า 80 ทั้งคู่ ถือว่าชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์

## 2.4 การประเมินคุณภาพสื่อ

เพื่อให้รู้ว่าสื่อที่เลือกหรือผลิตขึ้นมานั้นสามารถใช้สอนได้ตามที่ความต้องการหรือไม่จะต้องมีการประเมินคุณภาพสื่อ (พิสิฐ เมธาภักธ และธีรพล เมธิกุล, 2529 : 171-173) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

### 1. ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย (ด้านวิชาการ)

#### 1.1 ด้านวัตถุประสงค์

##### 1.1.1 สื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์

##### 1.1.2 สื่อเหมาะสมกับระดับความยากง่ายของวัตถุประสงค์

#### 1.2 ด้านเนื้อหา

##### 1.2.1 เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด

##### 1.2.2 เนื้อหาวิชาแยกย่อยได้

##### 1.2.3 เนื้อหาวิชาเรียงลำดับเป็นตรรกะ (Logic)

#### 1.3 ประสิทธิภาพ และประสิทธิผลในการสื่อความหมาย

- 1.3.1 บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์
- 1.3.2 สามารถลดปริมาณการให้เนื้อหาแบบเลื่อนลอย (Abstract) ให้มีความหมายและเป้าหมาย (Concrete) มากขึ้น
- 1.3.3 ช่วยเพิ่มกิจกรรมในการเรียนการสอน ให้ผู้เรียนกระตือรือร้นมากขึ้น
- 1.3.4 ดึงดูดความสนใจของผู้เรียนให้ดีขึ้น
2. องค์ประกอบที่เกี่ยวกับคน (Human Factor)
  - 2.1 ด้านผู้เรียน สื่อที่ใช้เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน
  - 2.2 ด้านผู้สอน
    - 2.2.1 สื่อไม่จำเป็นอาศัยความสามารถพิเศษในการใช้สอน
    - 2.2.2 สื่อที่ใช้เหมาะสมกับประสบการณ์ของผู้สอน
3. องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความพร้อม และการนำไปใช้งาน
  - 3.1 ด้านวัสดุและอุปกรณ์
    - 3.1.1 ใช้วัสดุราคาพอสมควรกับความจำเป็น
    - 3.1.2 ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น
    - 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบส่วนใหญ่หาได้ตามวิทยาลัยทั่ว ๆ ไป
  - 3.2 ด้านราคา
    - 3.2.1 เวลาที่ใช้ในการผลิตไม่มากนัก
    - 3.2.2 เวลาที่ใช้ในการแสดงสื่อไม่น่ามากเกินไป
  - 3.3 ด้านการใช้งาน
    - 3.3.1 สามารถนำไปใช้ง่าย และสะดวก
    - 3.3.2 ไม่ยุ่งยากในการเตรียมงาน
    - 3.3.3 ไม่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยพิเศษอื่น ๆ ขณะไปใช้งาน

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและหาประสิทธิภาพ หรือ การหาผลสัมฤทธิ์ผลทางการเรียนการสอนของชุดฝึกหรือชุดทดลอง ได้ดังนี้

ไวกุล พรศักดิ์ประเสริฐ (2540) ได้ทำการวิจัยและสร้างชุดทดลอง เรื่องการทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลอง และหาประสิทธิภาพของชุดทดลองตามเกณฑ์ 80/80 การวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน หลักการ วิธีการในการสร้างชุดทดลองโดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือ ชุดทดลองจำนวน 5 ชุด ได้มาจากการวิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาที่จะทำการอบรม และนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน

30 คน ซึ่งเป็นพนักงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งผลการวิจัย พบว่า ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 94.66/93.98 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ (2540) ทำการวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาการออกแบบวงจรขยายเชิงเส้น หลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง (ปทส.) โดยสร้างชุดทดลอง ใบงาน และแบบทดสอบ ครอบคลุมเนื้อหาตามหลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง พุทธศักราช 2533 ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ใช้เกณฑ์กำหนดร้อยละ 80/80 กลุ่มทดลองที่ใช้เป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้า วิชาเอกเทคนิคไฟฟ้าสื่อสาร วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาจำนวน 21คน ผลการวิจัย พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการฝึกภาคทดลอง และการทำแบบทดสอบท้ายการทดลอง มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 83.33 ผลคะแนนเฉลี่ยจากการทำข้อสอบรวม มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 84.53 ซึ่งผลการวิจัยทั้งสองสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนผลความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวกับชุดทดลอง และใบงานมีความเห็นว่าชุดทดลองมีคุณค่าและมีประโยชน์ เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นสื่อการเรียน การสอนมาก โดยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความชัดเจนของเนื้อหา และคำถามในข้อทดสอบท้าย การทดลองเกี่ยวกับผลการทดลอง เพื่อเป็นการตรวจสอบทักษะที่เกิดขึ้น

พุทธทอง โพรปัญญา (2539) ทำการวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง หลักสูตรแผนกวิชามัลติเพล็กซ์ กองวิชาการเทคโนโลยีสื่อสาร ส่วนราชการฝึกรอบรม ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย เครื่องมือที่ใช้หาประสิทธิภาพได้แก่ ใบประลอง แบบทดลอง หลังการประลอง และแบบทดสอบรวมทุกการประลอง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็นผู้เข้ารับการฝึกรอบรม แผนกวิชามัลติเพล็กซ์ จำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 84.42/85.57 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย

ดิเรก มณีวรรณ (2543) ทำการวิจัย การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชาการระบบโทรคมนาคมระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2535 ผลการวิจัยปรากฏว่า ชุดการสอน วิชาการระบบโทรคมนาคม ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.75/81.31 แสดงว่าชุดการสอนนี้ มีประสิทธิภาพเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ 80/80

สุธน แก่นตัน (2545) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาวงจรไฟฟ้า 2 เรื่องวงจรไฟฟ้า 3 เฟส หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2540 กรมอาชีวศึกษา ผลการวิจัยพบว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.87/82.45 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

สุรพงษ์ เอ็มอุทัย (2547) ทำการวิจัยการสร้างและหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดปฏิบัติการ เรื่อง วงจรกรองความถี่วิทยุแบบพาสซีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้น (ปวช.) พุทธศักราช 2545 (ฉบับปรับปรุง) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เป็นการวิจัยเชิงทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แบบแผนการทดลองแบบกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมวัดครั้งเดียว เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน กับชุดทดลองเดิม กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่  $\alpha = 0.05$  (ความเชื่อมั่นร้อยละ 95) กลุ่มทดลองที่ใช้เป็นกลุ่มเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้น (ปวช.) แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพนวมินทรราชูทิศ ผลการวิจัยพบว่า ชุดปฏิบัติการ เรื่อง วงจรกรองความถี่วิทยุแบบพาสซีฟ ที่สร้างขึ้น นักเรียนทำแบบทดสอบท้ายการทดลองแต่ละใบงานเฉลี่ยได้ 33.20 คะแนน จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน (ใบงานละ 10 คะแนน) คิดเป็นร้อยละ 83.00 และทำแบบทดสอบรวมหลังทำการทดลองครบ 4 ใบงานแล้ว ได้คะแนนเฉลี่ย 33.07 คะแนน จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 82.67 ชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่วิทยุแบบพาสซีฟมีประสิทธิภาพเท่ากับ  $83.00/82.67$  ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์  $80/80$  ที่กำหนด

อรอนงค์ วิริยานุรักษ์นกร (2545) ได้ทำการวิจัย เรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชา การวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิทัล หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2543 ผลการวิจัยพบว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ  $83.60/80.71$  เป็นไปตามเกณฑ์ ที่กำหนด อีกทั้งชุดการสอนที่สร้างขึ้นนี้ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ .01

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัย เรื่อง ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ให้บรรดวัตดุประสงค์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย ตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ลงทะเบียนเรียน วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 60 คน

3.1.2. กลุ่มตัวอย่าง หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ลงทะเบียนเรียน วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ภาคการศึกษา ที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 15 คน โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling)

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

##### 3.2.1 แบบประเมินคุณภาพ

1. แบบประเมินคุณภาพใบงาน
2. แบบประเมินคุณภาพแผนทดลอง

##### 3.2.2 แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1. แบบทดสอบท้ายใบงาน
2. แบบทดสอบรวม

##### 3.2.3 ใบงานจำนวน 5 ใบงาน

##### 3.2.4 แผนทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 แบบประเมินคุณภาพ

ขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินคุณภาพใบงาน และ แฝงทดลอง มีดังนี้

1. โดยศึกษาทฤษฎีเรื่องที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดต่าง ๆ จากใบงานและ แฝงทดลอง ปฏิบัติการที่สร้างขึ้น นำสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มากำหนดหัวข้อที่จะประเมิน แล้วออกแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟ แบบประเมินแต่ละด้านจะมีช่องให้ผู้ทรงคุณวุฒิ เลือกประเมินแสดงความคิดเห็น ซึ่งการประเมินแบ่งออกเป็น 5 ระดับ (Scale) คือ ดีมาก, ดี, ปานกลาง, พอใช้ และควรปรับปรุง โดยระดับความคิดเห็นเป็นบวกมีคะแนนเป็น 5, 4, 3, 2, และ 1 ในแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการนั้น ผู้วิจัยแบ่งระดับความคิดเห็น ออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

5	หมายถึง	คุณภาพของชุดปฏิบัติการ ดีมาก
4	หมายถึง	คุณภาพของชุดปฏิบัติการ ดี
3	หมายถึง	คุณภาพของชุดปฏิบัติการ ปานกลาง
2	หมายถึง	คุณภาพของชุดปฏิบัติการ พอใจ
1	หมายถึง	คุณภาพของชุดปฏิบัติการ ควรปรับปรุง

โดยมีเกณฑ์การตีความ ของการแสดงความคิดเห็น จากผู้ทรงคุณวุฒิ ตามแบบของ John W Best ซึ่งการนำคะแนนที่ได้จากแบบประเมินสื่อ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำการประเมินดังนี้

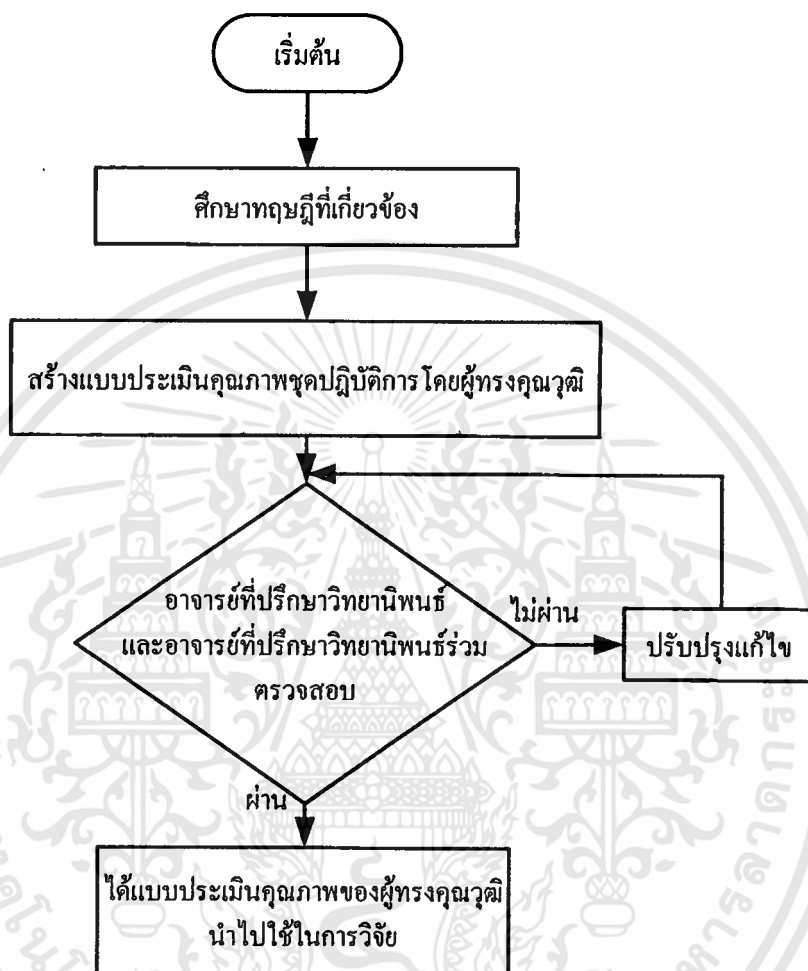
เกณฑ์การตีความหมายของการแสดงความคิดเห็น

ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	ระดับความคิดเห็น
4.50-5.00	หมายถึง คุณภาพของชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับ ดีมาก
3.50-4.49	หมายถึง คุณภาพของชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับ ดี
2.50-3.49	หมายถึง คุณภาพของชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับ ปานกลาง
1.50-2.49	หมายถึง คุณภาพของชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับ พอใช้
1.00-1.49	หมายถึง คุณภาพของชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

ในการประเมินนั้น คะแนนเฉลี่ยที่ได้ด้านใบงานและแฝงทดลองปฏิบัติจะต้องได้เกณฑ์ ( $\bar{X}$ ) ตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ

2. นำแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟ ให้อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ตรวจสอบ และปรับปรุงแก้ไข

3. ได้แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟที่ปรับปรุงแล้ว เพื่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิใช้แสดงความคิดเห็น (รายละเอียดดังภาคผนวก ข. หน้า 64-75)



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

### 3.2.2 แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบท้ายใบงาน และ แบบทดสอบรวม มีดังนี้

การสร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวงจรออพแอมป์และลิเนียร์ไอซี วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ เป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ซึ่งได้ดำเนินการสร้างตามลำดับ ดังนี้

1. ศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากนั้นทำการวิเคราะห์หลักสูตรและกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

2. สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทั้งแบบทดสอบท้ายใบงาน จำนวนใบงานที่ 1-4 อย่างละ 10 ข้อ ใบงานที่ 5 5 ข้อ ข้อละคะแนนและแบบทดสอบรวมจำนวน 45 ข้อ 45 คะแนน เป็นปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก โดยสร้างแบบทดสอบในแนวคำถามทางปฏิบัติ ทั้งจากผลการทดลองและจากการวิเคราะห์ผลในการออกแบบวงจร ซึ่งมีคำตอบถูกเพียง คำตอบเดียว และคำตอบลวง 3 คำตอบ ให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ ตรงตามเนื้อหา ซึ่งมีเกณฑ์ การให้คะแนนในแต่ละข้อ คือ ข้อที่ตอบถูกให้คะแนนเป็น 1 และข้อที่ตอบผิด ไม่ตอบ หรือตอบมากกว่า 1 ข้อให้คะแนนเป็น 0 นำแบบทดสอบไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยาลัยนพนธ์ตรวจสอบแก้ไข นำมาปรับปรุงจนถูกต้องเหมาะสม

3. นำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปหาคุณภาพ ดังนี้

3.1 ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเป็นรายข้อ ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างขึ้น ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ประเมิน ซึ่งทั้ง 5 คนเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ ชุคเดียวกันกับที่ประเมินคุณภาพด้านใบงานและแผนทดลอง โดย ใช้หลักเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

คะแนน +1 สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

คะแนน 0 สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ไม่แน่ใจว่าไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

คะแนน -1 สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่แน่ใจว่าไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

นำผลการพิจารณาแต่ละข้อของผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิชุกเดียวกันกับที่ประเมินคุณภาพด้านใบงาน ไปหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยใช้สูตร (พวงรัตน์ มณีรัตน์. 2540 : 117) ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{n}$$

เมื่อ  $IOC$  หมายถึง คำนวณความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

$\Sigma R$  หมายถึง ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

$n$  หมายถึง จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

จากนั้นจึงเลือกข้อสอบที่มีดัชนีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป นำไปใช้งาน (รายละเอียดดังภาคผนวก ง. หน้า 162-167) โดยค่าดัชนีความสอดคล้องมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.8-1 ซึ่งครอบคลุมทุกวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

3.2 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่อง

3.3 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่คัดเลือกแล้ว ไปทดลองใช้ (try out) กับนักเรียนระดับ ปวส. ของวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จำนวน 20 คน ซึ่งเคยเรียนเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทิพ มาแล้ว เพื่อนำผลที่ได้จากการสอบมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (รายละเอียดดังภาคผนวก ง. หน้า 146-161)

3.4 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาตรวจให้คะแนนข้อที่ตอบถูกให้คะแนนเป็น 1 ข้อที่ตอบผิด ข้อที่ไม่ได้ตอบหรือข้อที่ตอบมากกว่า 1 คำตอบ ให้คะแนนเป็น 0 คะแนน

3.5 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรวมคะแนน เรียงจากคนที่ได้คะแนนสูงสุดไปหาคนที่ได้คะแนนต่ำสุด

3.6 คัดเลือกเอาคะแนนต่ำสุดขึ้นมา 50% ของจำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมดซึ่งจัดว่าเป็น กลุ่มต่ำ และคัดเลือกเอาคะแนนสูงสุดลง 50% ของจำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมดซึ่งจัดว่าเป็นกลุ่มสูง

3.7 หากความถี่ของคนตอบถูกในกลุ่มสูง และกลุ่มต่ำเป็นรายข้อ และมาวิเคราะห์หาความยากง่าย (Difficulty) ของแบบทดสอบ เพื่อเลือกแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีค่าความยากง่าย อยู่ที่ค่าระหว่าง 0.2-0.8 ไปใช้งาน ซึ่งค่าความยากง่ายของแบบทดสอบนี้มีค่าอยู่ ระหว่าง 0.45-0.65 โดยใช้สูตร (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2538: 237) ดังนี้

$$p = \frac{f_H + f_L}{N_H + N_L}$$

เมื่อ  $p$  หมายถึง ระดับความยากง่ายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

$f_H$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

$f_L$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

$N_H$  หมายถึง จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มสูง

$N_L$  หมายถึง จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มต่ำ

3.8 หาค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) คัดเลือกข้อที่มีอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป นำไปใช้งาน ซึ่งค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.7 โดยเฉลี่ยให้ครอบคลุม วัตถุประสงค์และเนื้อหาแล้วปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมในบาง รายข้อ เพื่อให้สอดคล้องตาม วัตถุประสงค์โดยใช้สูตร (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2538: 237) ดังนี้

$$r = \frac{f_H - f_L}{N_H}$$

เมื่อ	$r$	หมายถึง ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ
	$f_H$	หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง
	$f_L$	หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ
	$N_H$	หมายถึง จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มสูงขอบเขตของค่า $r$ และความหมาย

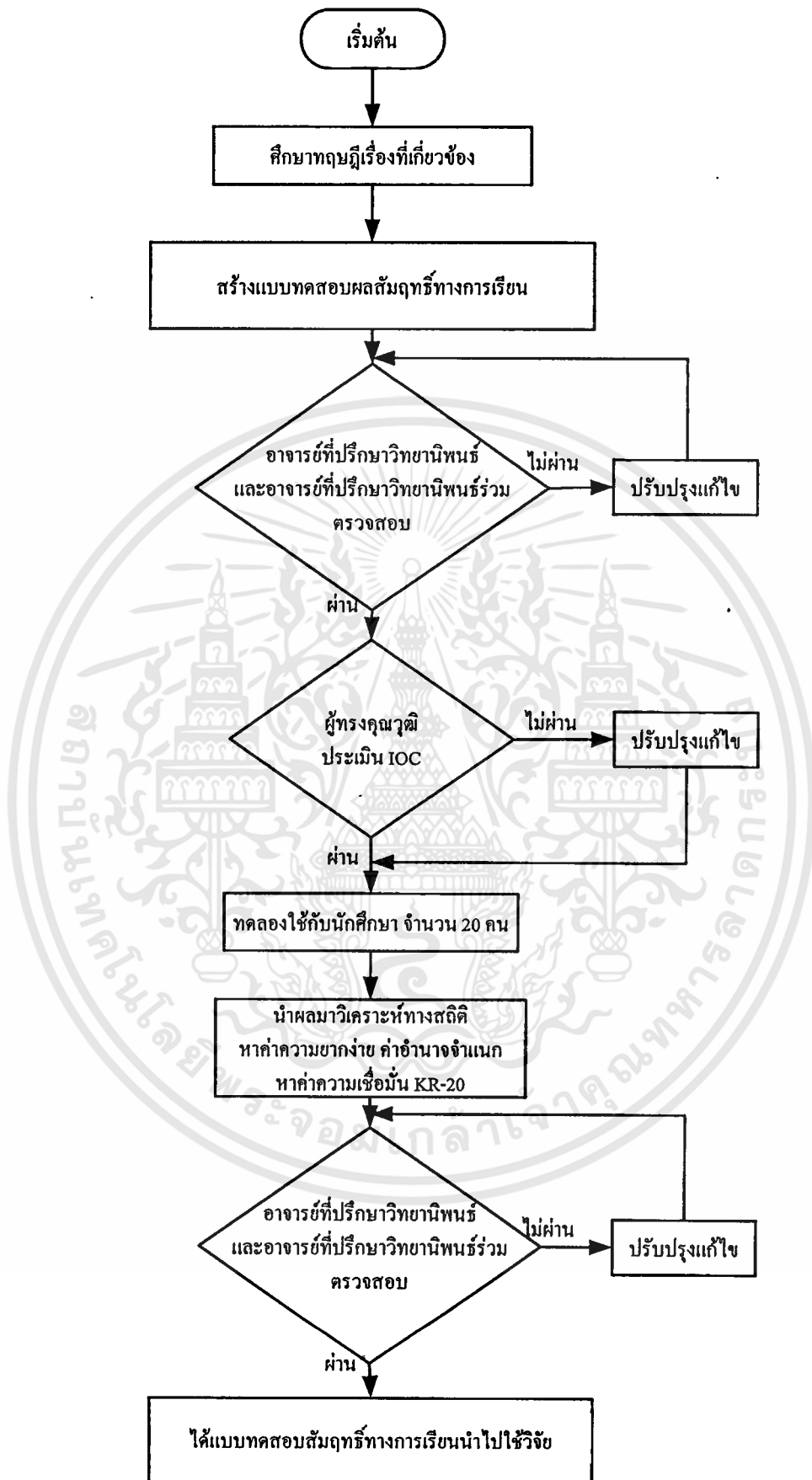
3.9 หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตร KR-20 ของคูเคอร์ ริชาร์ดสัน (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2538: 14) โดยได้ค่าความเชื่อมั่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.41-0.80

$$r_{11} = \frac{K}{K-1} \left\{ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right\}$$

เมื่อ	$r_{11}$	หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
	$K$	หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด
	$P$	หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ
	$q$	หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ
	$S^2$	หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบที่มีค่า 0.7-1.0 แสดงว่าแบบทดสอบมีความ เชื่อมั่นสูง ถ้ามีความเชื่อมั่น 0.3-0.7 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นปานกลาง ถ้ามีค่าความ เชื่อมั่นต่ำกว่า 0.3 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นต่ำ

3.10 ได้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สมบูรณ์แล้วใช้เป็น แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนครบทุกบทเรียน (รายละเอียดดังภาคผนวก ค. หน้า 119-143) ผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนออกมา ดังภาพที่ 3.2



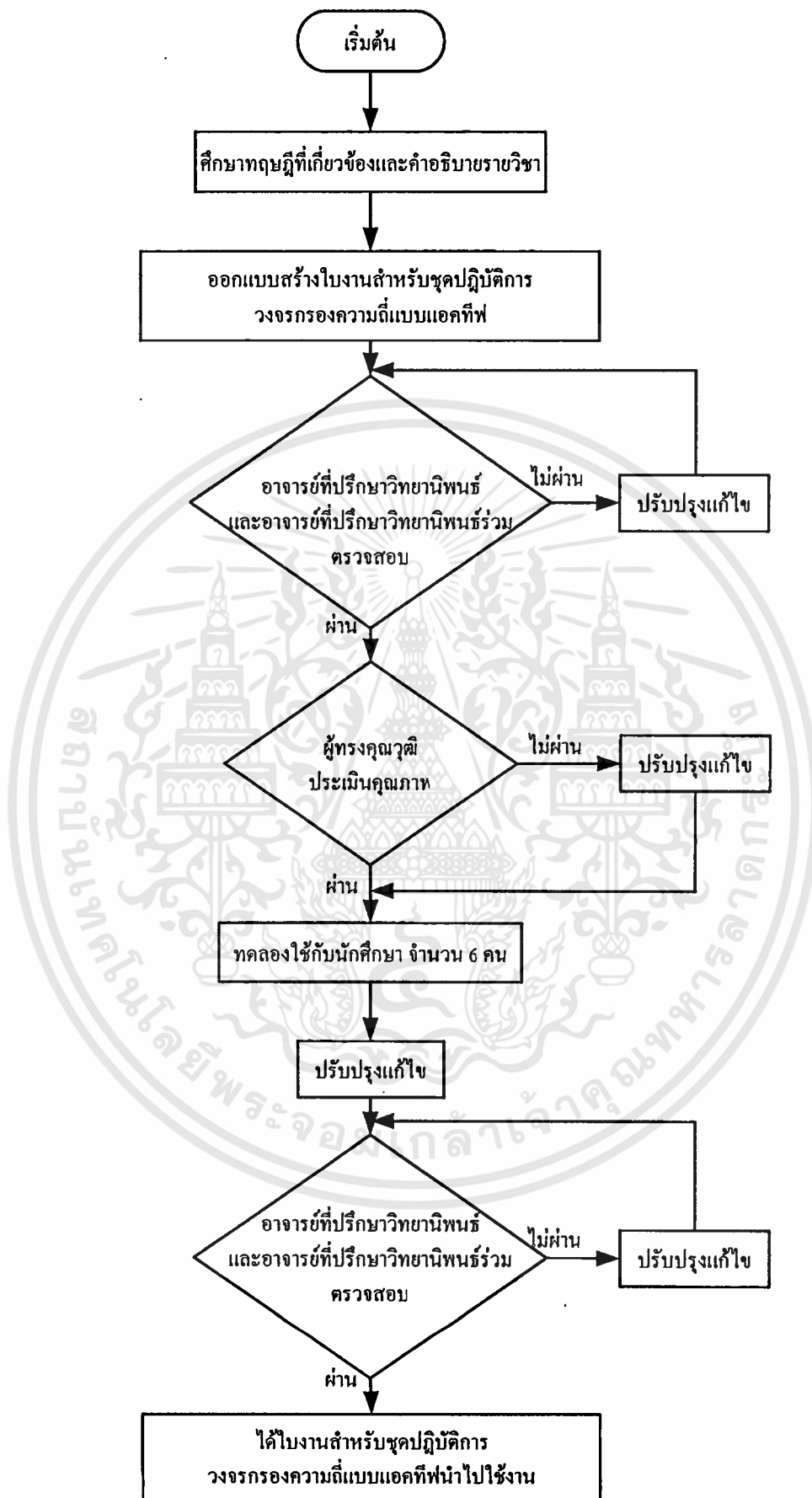
ภาพที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 ใบบางจำนวน 5 ใบบาง

ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดำเนินการสร้างดังนี้

1. ทำการศึกษาทฤษฎีในเรื่องที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาหลักสูตรสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) คำอธิบายรายวิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี รหัสวิชา(3105-2003) ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการส่งงานเพื่อให้นักศึกษาปฏิบัติกร ทดลอง บันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง ซึ่งมีทั้งหมด 5 ใบบาง
3. ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับหลักการสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดปฏิบัติการ
4. ศึกษาเอกสารและตำราเกี่ยวกับการสร้างใบบาง นำทฤษฎีเหล่านั้นมากำหนดวัตถุประสงค์และเนื้อหาใบบาง
5. สร้างใบบางที่เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ ทั้ง 5 แบบ จำนวน 5 ใบบาง
6. หลังจากสร้างใบบางเรียบร้อยแล้ว ส่งให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจสอบแก้ไข และให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 คน ประเมิน ดังนี้
  - 6.1 ผศ.สุชิน อาจหาญ ภาควิชาวิศวกรรมสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
  - 6.2 นายปิยะ ประสงค์จันทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา
  - 6.3 นายเสนอ สะอาด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา
  - 6.4 นายณรงค์ เชื้อพราหมณ์ แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
  - 6.5 นายเอี่ยม โอภาส วาณิชย์ปกรณ์ แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
7. นำมาปรับปรุงแก้ไขจนถูกต้องเหมาะสม
8. นำไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับ ปวส. ที่เคยเรียนเรื่องวงจรกรองความถี่แบบ แอกทีฟ แล้ว จำนวน 6 คน แล้วสังเกตผลและนำผลไปปรับปรุงแก้ไข ซึ่งหลังจากการทดลองผลปรากฏว่านักเรียนสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง
9. ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วมตรวจสอบแก้ไขอีกครั้ง นำผลมาปรับปรุงแก้ไขเป็นขั้นสุดท้าย
10. ได้ใบบางเรื่องกรองความถี่แบบแอกทีฟ วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี เพื่อนำไปใช้วิจัย (รายละเอียดคังภาคผนวก ก. หน้า 77-118) ลำดับขั้นตอนการสร้างใบบาง แสดงใน ภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ลำดับขั้นตอนการสร้างใบงานชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 แผลงทดลอง

ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดำเนินการสร้างดังนี้

1. ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีในเรื่องที่เกี่ยวข้องของรูปแบบและการสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดปฏิบัติการ หลักการสร้างวงจร และรายละเอียดต่าง ๆ จากใบงานที่สร้างขึ้น
2. นำส่วนต่าง ๆ เหล่านี้มาทำการกำหนดอุปกรณ์ที่ต้องใช้ คัดเลือกและจัดหาอุปกรณ์ที่มีคุณภาพดี อุปกรณ์ที่มีค่าผิดพลาดต่ำ
3. ทำการทดลองวงจรต่าง ๆ เพื่อหาข้อผิดพลาดจากการประกอบวงจรจริงเทียบกับค่าที่คำนวณออกแบบไว้ และทำการแก้ไขค่าอุปกรณ์และวงจรให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง
4. ออกแบบสร้างแผลงทดลองปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟและส่งให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบแก้ไข
5. นำมาปรับปรุงจนถูกต้องเหมาะสม
6. นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 คนประเมิน ซึ่งทั้ง 5 คนเป็นผู้ทรงคุณวุฒิชุดเดียวกันกับที่ประเมินคุณภาพด้านใบงาน
7. นำมาปรับปรุงแก้ไข
8. นำไปทดลองใช้กับนักศึกษา ปวส. ที่เคยเรียนเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟแล้วจำนวน 6 คน ตรวจสอบแก้ไข ซึ่งหลังจากทำการทดลองนักศึกษาสามารถประกอบอุปกรณ์ที่ได้การออกแบบไว้ได้อย่างถูกต้อง
9. ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วมตรวจสอบแก้ไขอีกครั้ง
10. เมื่อผ่านการตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ได้แผลงทดลองปฏิบัติการที่สมบูรณ์ จึงนำไปใช้วิจัยกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพต่อไป (รายละเอียดดังภาคผนวก ก. หน้า 144) ลำดับขั้นตอนการสร้างแผลงทดลองปฏิบัติการ แสดงในภาพที่ 3.4 และผู้วิจัยได้ออกแบบให้ด้านบนของแผลงทดลองปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 5 หน่วย โดยแต่ละหน่วยแสดงวงจรกรองความถี่แต่ละชนิดดังนี้

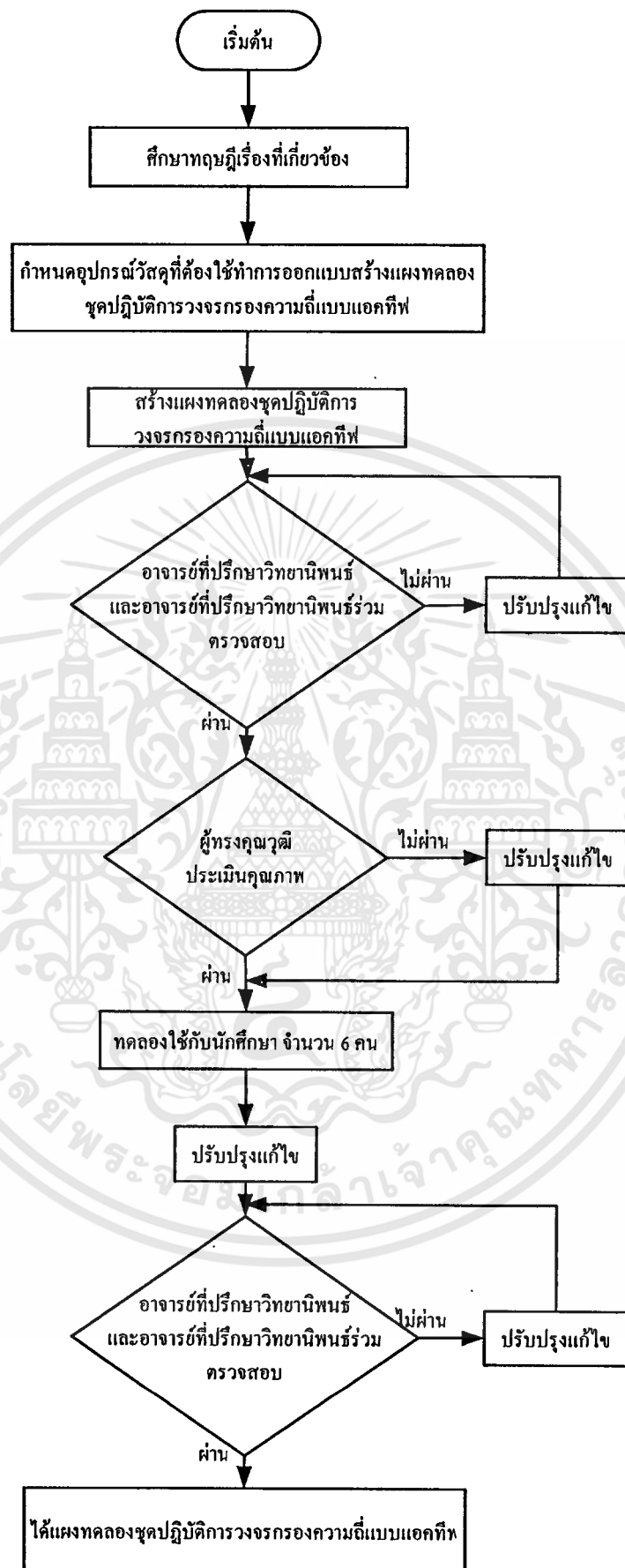
หน่วยที่ 1 คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter)

หน่วยที่ 2 คือ วงจรกรองความถี่สูงผ่าน ( High Pass Filter)

หน่วยที่ 3 คือ วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน ( Band Pass Filter)

หน่วยที่ 4 คือ วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ ( Band Stop Filter)

หน่วยที่ 5 คือ วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน ( All Pass Filter)



ภาพที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนการสร้างแบบทดลองปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนการทดลองใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ผู้วิจัยได้นำหนังสือขอความร่วมมือในการวิจัย จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถึงผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ เพื่อขออนุญาตและประสานงานในการวิจัยในสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์

2. ทำการนัดหมายกับนักเรียนระดับ ปวส. ในสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่เคยเรียนเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ มาแล้ว จำนวน 6 คน ของวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ เพื่อทดลองใช้ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ ที่สร้างขึ้น โดยชี้แจงถึงวัตถุประสงค์ หลักการทำงาน และใบงาน หลังจากนั้นให้ทำการทดลองแต่ละใบงานจนครบทุกใบงาน ทำการสังเกต และจดบันทึกจุดบกพร่องต่าง ๆ เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข

3. ทำการนัดหมายกับนักเรียนระดับ ปวส. ในสาขาอิเล็กทรอนิกส์ ที่เคยเรียนเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ มาแล้ว จำนวน 20 คน ทำแบบทดสอบท้ายใบงานแต่ละใบงานและแบบทดสอบรวม นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ( $p$ ) ให้อยู่ระหว่าง 0.20-0.80 ค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (รวีวรรณ ชินะตระกูล, 2538 : 237) และวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4. ทำการนัดหมายกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน เพื่อหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟที่สร้างขึ้น กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างโดยชี้แจงให้ทราบถึงขอบข่ายการใช้งาน หลักการทำงาน ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง วิธีปฏิบัติก่อนการทดลอง และอธิบายทฤษฎีพร้อมคำแนะนำในการทดลองทุกครั้งก่อนลงมือทำการทดลอง นำชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ ที่ได้รับการพัฒนาแล้วมาทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพ โดยให้เรียนปฏิบัติใบงานและหลังจากจบแต่ละใบงาน ให้ทำแบบทดสอบท้ายใบงานแต่ละใบงานด้วย และหลังจากเรียนครบทุกใบงาน แล้วให้ทำแบบทดสอบรวม จากนั้นนำผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้ มาคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การประเมินความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากแบบประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

3.4.1.1 หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) (รวิวรรณ ชินะตระกูล.2538: 151) ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ	$\bar{X}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ย
	$x$	หมายถึง	คะแนนแต่ละจำนวน
	$\sum x$	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนแต่ละจำนวน
	$n$	หมายถึง	จำนวนข้อมูล

3.4.1.2 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) (รวิวรรณ ชินะตระกูล.2538 : 162) ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ	S.D.	หมายถึง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	$x$	หมายถึง	คะแนนแต่ละจำนวน
	$\sum x$	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนแต่ละจำนวน
	$n$	หมายถึง	จำนวนข้อมูล

3.4.2 การหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอดทีฟ

ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยแยกเป็นคะแนนของแบบทดสอบ วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงานแต่ละใบงาน และคะแนนของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนครบทุกใบงาน เพื่อนำมาหาประเมินผลของคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน กับคะแนนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนครบทุกใบแล้ว โดยใช้ สูตร  $E_1 / E_2$  (อรพันธ์ ประสิทธิ์รัตน์ 2530 : 44-46) ดังนี้

$$E_1 = \frac{\sum X/N}{A} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_2 = \frac{\sum F/N}{B} \times 100$$

เมื่อ	$E_1$	หมายถึง	ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน แต่ละใบงาน ระหว่างทำการทดลองชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ
	$E_2$	หมายถึง	ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากทำการทดลองกับชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ ครบทุกใบงาน
	$\sum X$	หมายถึง	คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงานแต่ละใบงาน
	$\sum F$	หมายถึง	คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงานครบทุกใบงาน
	$N$	หมายถึง	จำนวนผู้เรียน
	$A$	หมายถึง	คะแนนเต็มของแบบทดสอบท้ายใบงานแต่ละใบงาน
	$B$	หมายถึง	คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังทำใบงานครบทุกใบงาน

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยเรื่องชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยดังนี้

- 4.1 ผลการประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟด้านใบบงาน
- 4.2 ผลการประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟด้านแผงทดลอง
- 4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ

#### 4.1 ผลการประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟด้านใบบงาน

การประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟด้านใบบงานวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ทำการประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังใน ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านใบบงาน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
ด้านใบบงาน			
1. ความเหมาะสมของรูปแบบของใบบงาน	4.80	0.45	ดีมาก
2. รูปแบบของใบบงานง่ายต่อการใช้	4.80	0.55	ดีมาก
3. ความเหมาะสมของวัสดุประสงค์เชิงพหุติกรรม	4.60	0.55	ดีมาก
4. ความถูกต้องเหมาะสมของเนื้อหา	4.60	0.45	ดีมาก
5. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4.80	0.45	ดีมาก
6. ความชัดเจนในคำอธิบายแต่ละขั้นตอน	4.80	0.45	ดีมาก
7. ความถูกต้องเหมาะสมของตัวอักษร รูป ตาราง และกราฟ	4.40	0.55	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
8. ความชัดเจนเหมาะสมของตัวอักษร รูป ตาราง และกราฟ	4.60	0.55	ดีมาก
9. เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียนรู้	4.40	0.55	ดี
10. การควบคุมเนื้อหาตามหลักสูตร	4.60	0.55	ดีมาก
11. ความสัมพันธ์ระหว่างการเรียนรู้ในใบงานกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง	4.60	0.55	ดีมาก
12. มีความเชื่อมั่นต่อการใช้งาน	4.40	0.55	ดี
<b>รวม</b>	<b>4.60</b>	<b>0.52</b>	<b>ดีมาก</b>

จากตารางที่ 4.1 ผู้ทรงคุณวุฒิด้าน ใบงาน มีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อรายการประเมินดังนี้ ด้านใบงาน พบว่าอยู่ในระดับดีมาก 9 รายการ เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยดังนี้ (1) ความเหมาะสมของรูปแบบของใบงาน (5) ความเหมาะสมของลำดับขั้นการทดลอง (6) ความชัดเจนในคำอธิบายแต่ละขั้นตอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80 (2) รูปแบบของใบงานง่ายต่อการใช้ (3) ความเหมาะสมของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (4) ความถูกต้องเหมาะสมของเนื้อหา (8) ความชัดเจนเหมาะสมของตัวอักษร รูป ตาราง และกราฟ (10) การควบคุมเนื้อหาตามหลักสูตร (11) ความสัมพันธ์ระหว่างการเรียนรู้ในใบงานกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 รองลงมาอยู่ในระดับดี 3 รายการ (7) ความถูกต้องเหมาะสมของตัวอักษร รูป ตาราง และกราฟ (9) เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียนรู้ (12) มีความเชื่อมั่นต่อการใช้งานงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 ตามลำดับ

ดังนั้น เมื่อสรุปโดยรวมแล้วผู้ทรงคุณวุฒิด้าน ใบงาน จำนวน 5 ท่านมีความคิดเห็นว่าคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟด้าน ใบงาน ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52

#### 4.2 ผลการประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟด้านแผงทดลอง

การประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟด้านแผงทดลอง วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้าน  
แผนกทดลองปฏิบัติการ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
ข. ด้านแผนกทดลองปฏิบัติการ			
1. ขนาดความเหมาะสมของแผนกทดลองปฏิบัติการ	4.60	0.55	ดีมาก
2. รูปแบบของแผนกทดลองปฏิบัติการก่อให้เกิดแรงจูงใจ	4.40	0.55	ดี
3. ความเหมาะสมของตำแหน่งอุปกรณ์	4.40	0.55	ดี
4. ความแข็งแรงของแผนกทดลองปฏิบัติการ	4.20	0.45	ดี
5. ความเหมาะสมของวัสดุที่นำมาใช้สร้างแผนกทดลอง ปฏิบัติการ	4.80	0.45	ดีมาก
6. ความสะดวกในการดูแลรักษาอุปกรณ์	4.60	0.55	ดีมาก
7. ความสะดวกในการจัดเตรียมการทดลอง	4.80	0.45	ดีมาก
8. ความเหมาะสมกับระดับนักเรียน	4.60	0.55	ดีมาก
9. สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก	4.60	0.89	ดีมาก
10. ความสัมพันธ์ของแผนกทดลองปฏิบัติการต่อใบงาน	4.40	0.55	ดี
11. ความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง	4.40	0.55	ดี
12. คุณค่าทางวิชาการของแผนกทดลองปฏิบัติการ โดยภาพรวม	4.60	0.55	ดีมาก
รวม	4.53	0.55	ดีมาก

จากตารางที่ 4.2 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านแผนกทดลอง มีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อรายการ ประเมินดังนี้ ด้านแผนกทดลองปฏิบัติการ พบว่าอยู่ในระดับดีมาก 7 รายการ เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ย ดังนี้ (5) ความเหมาะสมของวัสดุที่นำมาใช้สร้างแผนกทดลองปฏิบัติการ (7) ความสะดวกในการจัดเตรียมการทดลอง มีค่าเฉลี่ย 4.80 (1) ขนาดความเหมาะสมของแผนกทดลองปฏิบัติการ (6) ความสะดวกในการดูแลรักษาอุปกรณ์(8) ความเหมาะสมกับระดับนักเรียน (9) สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก (12) คุณค่าทางวิชาการของแผนกทดลองปฏิบัติการ โดยภาพรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 รองลงมาอยู่ในระดับดี 5 รายการ (2) รูปแบบของแผนกทดลองปฏิบัติการก่อให้เกิดแรงจูงใจ (3) ความเหมาะสมของตำแหน่งอุปกรณ์(10) ความสัมพันธ์ของแผนกทดลองปฏิบัติการต่อใบงาน (11) ความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 (4) ความแข็งแรงของแผนกทดลองปฏิบัติการ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ตามลำดับ

ดังนั้น เมื่อสรุปโดยรวมแสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านแพ่งการทดลอง จำนวน 5 ท่าน มีความคิดเห็นว่า คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ด้านแพ่งทดลองที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.53 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55

#### 4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ

การทดลองใช้ชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟโดยใช้กับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ เป็นการทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 15 คน โดยใช้ 1 คนต่อชุดฝึก 1 เครื่อง มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ได้ผลดัง ตารางที่ 4.3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟใช้กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน

รายการ	จำนวนผู้เรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนแบบทดสอบท้ายใบงานแต่ละใบงาน	15	45	36.6	81.33	80
คะแนนแบบทดสอบรวมหลังทำการทดลองครบ 5 ใบงาน	15	45	36.9	82.07	80

จากตารางที่ 4.3 ผลปรากฏว่า ชุดปฏิบัติวงจรความถี่แบบแอกทีฟ ที่สร้างขึ้นนักเรียนทำแบบทดสอบท้ายการทดลองแต่ละใบงานเฉลี่ยได้ 36.6 คะแนน จากคะแนนเต็ม 45 คะแนน (ใบงานที่ 1-4 ใบงานละ 10 คะแนน และใบงานที่ 5 ใบงานละ 5 คะแนน) คิดเป็นร้อยละ 81.33 และทำแบบทดสอบรวมหลังทำการทดลองครบ 5 ใบงานแล้ว ได้คะแนนเฉลี่ย 36.90 คะแนน จากคะแนนเต็ม 45 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 82.07 ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.33 /82.07 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรความถี่แบบแอกทีฟ ครอบคลุมเนื้อหาในเรื่องของวงจรความถี่แบบแอกทีฟ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี รหัสวิชา(3105-2003)สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ได้สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

##### 5.1.2 สมมติฐานของการวิจัย

##### 5.1.3 ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

##### 5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### 5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

##### 5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

##### 5.1.7 สรุปผลการวิจัย

#### 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

##### 5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

##### 5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

5.1.1.1. เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวงจรความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

5.1.1.2. เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

5.1.1.3. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 สมมติฐานของการวิจัย

5.1.2.1. ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟ ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพระดับดีขึ้นไป ( $\bar{X} \geq 3.5$ )

5.1.2.2. ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟ ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประกอบการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไม่ต่ำกว่า 80/80

### 5.1.3 ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

5.1.3.1 ประชากร หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ลงทะเบียนเรียน วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซีภาคการศึกษา ที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 60 คน

5.1.3.2 กลุ่มตัวอย่าง หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ที่ลงทะเบียนเรียน วิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซีภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 15 คน โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling)

### 5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

#### 5.1.4.1 แบบประเมินคุณภาพ

1. แบบประเมินคุณภาพใบงาน
2. แบบประเมินคุณภาพแผงทดลอง

#### 5.1.4.2 แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1. แบบทดสอบท้ายใบงาน
2. แบบทดสอบรวม

#### 5.1.4.3 ใบงานจำนวน 5 ใบงาน

#### 5.1.4.4 แผงทดลอง

### 5.1.5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จำนวน 15 คน โดยดำเนินการทดลอง ดังนี้

5.1.5.1. ให้อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่านตรวจสอบเครื่องมือที่จะนำไปใช้

5.1.5.2. กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

5.1.5.3. แนะนำกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับการใช้ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ขอบข่ายเนื้อหา วัตถุประสงค์ และคำชี้แจงในการทดลอง

5.1.5.4. ให้กลุ่มตัวอย่างดำเนินการปฏิบัติตามใบงานที่กำหนดร่วมกับแผงทดลองปฏิบัติการ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในแต่ละใบงาน โดยหลังจากจบแต่ละใบงาน ให้ทำแบบทดสอบท้ายใบงานแต่ละใบงานด้วย และหลังจากเรียนครบทุกใบงานแล้วให้ทำแบบทดสอบรวม จากนั้นนำผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้ มาวิเคราะห์ตามวิธีการทางสถิติเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ

### 5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ดังนี้

5.1.6.1 ผลประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ด้านใบงาน

5.1.6.2 ผลประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ ด้านแผงทดลอง

5.1.6.3 ผลประเมินประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ โดยใช้เกณฑ์ 80/80

### 5.1.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.7.1. ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

5.1.7.2. คุณภาพของแบบทดสอบที่ใช้ในการวิจัย โดยได้เลือกแบบทดสอบที่มี ค่าดัชนีความยากง่ายระหว่าง 0.45 – 0.75 และค่าอำนาจจำแนกระหว่าง 0.20 – 0.80 และ ค่าความเชื่อมั่นที่ได้ระหว่าง 0.60 – 0.82

5.1.7.3. คุณภาพของชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟโดยผู้ทรงคุณวุฒิ มีความเห็นเกี่ยวกับชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟด้านใบงานที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52

5.1.7.4. คุณภาพของชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟโดยผู้ทรงคุณวุฒิ มีความเห็นเกี่ยวกับชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟด้านแผนทดลองปฏิบัติการที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55

5.1.7.5. ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟ กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏว่า ชุดฝึกปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 81.33 /82.07 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด และเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีประสิทธิภาพของกระบวนการวัดผล จากคะแนนทำการทดลองได้เฉลี่ยเท่ากับ 81.33 % และมีประสิทธิภาพของแบบทดสอบรวมหลังการทดลองครบ 5 ใบงานแล้วได้เท่ากับ 82.07 %

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพตามสมมติฐานของการวิจัยที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 80/80 โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน คิดเป็นร้อยละมีค่าเท่ากับ 81.33 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรวม คิดเป็นร้อยละมีค่าเท่ากับ 82.07 ซึ่งสอดคล้องตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ผลการหาคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทีฟ ที่ได้จากการนำไปใช้ในครั้งนี้ ทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้เป็นผลตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ อาจมีผลสืบเนื่องมาจากองค์ประกอบดังต่อไปนี้

5.2.1. ชุดปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ผ่านการประเมินผลจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งทางด้านการออกแบบด้านแผนทดลองและทางด้านใบงาน ซึ่งผลการประเมินเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมากและยังได้รับการแก้ไขข้อบกพร่องตามคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิและอาจารย์ที่ปรึกษา จึงเป็นสื่อที่มีการออกแบบและสร้างอย่างมีระบบ เมื่อนักศึกษาได้ทำการเรียนและฝึกปฏิบัติกับชุดปฏิบัติการ จึงเกิดการเรียนรู้และจดจำได้ดี จนเกิดเป็นผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้นกว่าการทดลองในรูปแบบเดิม

และยังสามารถลดระยะเวลาในการทดลอง ทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรพงษ์ เอ็มอุทัย (2547) ทำการวิจัยการสร้างและหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่วิทยุแบบพาสซีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้น (ปวช.) พุทธศักราช 2545 (ฉบับปรับปรุง) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

5.2.2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซึ่งเป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 45 ข้อ ได้ผ่านการหาค่าความยากง่าย (P) อยู่ระหว่าง 0.45-0.75 ซึ่งเป็นข้อสอบที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวัดผลทางการศึกษา โดยการเลือกข้อสอบกำหนดให้เลือกข้อสอบที่มีค่า (P) ใกล้ 0.50 หรืออยู่ระหว่าง 0.20 – 0.79 เพราะถ้าต่ำกว่า 0.20 จะเป็นข้อสอบที่ยากเกินไป และถ้าสูงกว่า 0.80 จะเป็นข้อสอบที่ง่ายเกินไป (รวีวรรณ ชินะตระกูล, 2538: 237) อีกทั้งค่าอำนาจจำแนก (r) ได้เลือกค่าที่อยู่ระหว่าง 0.20 – 0.70 และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ โดยใช้วิธีของคูเคอร์ริชาร์ดสัน สูตร KR-20 ได้ค่าระหว่าง 0.60-0.82 ทำให้ได้ข้อสอบที่มีความสอดคล้องกันในระดับที่เหมาะสม จึงสามารถนำไปทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ (2540) ทำการวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาการออกแบบวงจรขยายเชิงเส้น หลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง (ปทส.)

5.2.3. ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟด้านไบงาน จากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน มีค่าเฉลี่ย 4.60 มีความหมายของระดับคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก และแบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟด้านแพททดลองปฏิบัติการ จากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน มีค่าเฉลี่ย 4.53 มีความหมายของระดับคุณภาพในระดับดีมาก แสดงว่าชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นซึ่งประกอบด้วย ไบงาน และแพททดลองปฏิบัติการ มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ทรงคุณวุฒิ ในระดับดีมาก โดยสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การที่ได้มาของค่าดังกล่าวนี้ อาจจะเนื่องมาจากการที่ได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งได้ให้คำแนะนำในการออกแบบทำให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยของอรอนงค์ วิริยานุรักษ์นกร (2545) ได้ทำการวิจัย การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชา การวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิทัล หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2543

5.2.4. การหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน ปรากฏว่าผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากการทำแบบทดสอบท้ายการ

ทดลองและจากการทำแบบทดสอบรวมหลังจากการทดลองครบ 5 ใบบางแล้ว โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 81.33/82.07 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซีโดยชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นสามารถกระตุ้นให้นักเรียนมีความสนใจในการทดลองแต่ละใบบาง และนักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเอง จึงทำให้ผลการเรียนรู้ของการทดลองครั้งนี้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ การที่  $E_2$  มีค่ามากกว่า  $E_1$  นั้น อาจจะเนื่องมาจากการที่นักเรียนได้ผ่านการทำแบบทดสอบท้ายใบบางมาครั้งหนึ่งแล้ว ซึ่งทำให้มีประสบการณ์ในการเรียนรู้ในเนื้อหาที่ผ่านมาจึงทำให้ค่า  $E_2$  ที่ได้มากกว่าค่า  $E_1$  ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพุทธทอง โพธิปัญญา (2539) ทำการวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง หลักสูตรแผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์กองวิชาการเทคโนโลยีสื่อสาร ส่วนราชการฝึกอบรม ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคลองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

#### 5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟ ผู้วิจัยขอเสนอแนะดังนี้

5.3.1.1 เนื่องจากการสอนเรื่องวงจรรองความถี่ในแต่ละแบบ ส่วนใหญ่เนื้อหาจะเกี่ยวข้องกับการคำนวณเป็นส่วนมาก จึงทำให้ผู้สอนต้องใช้เวลามากในการสอนและเพื่อให้ครบตามกระบวนการเรียนการสอน ทำให้ผู้สอนจำเป็นต้องเร่งเนื้อหา จึงทำให้ผู้เรียนตามเนื้อหาไม่ทัน จึงทำให้ผลของการทำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีคะแนนเฉลี่ยต่ำ ดังนั้นผู้สอนจึงควรมีการเตรียมเอกสารเนื้อหาให้ผู้เรียนได้ศึกษาก่อนเข้าเรียน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถทำความเข้าใจได้เร็วขึ้น

5.3.1.2 เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ผู้เรียนจะต้องทำการทดลอง ดังนั้นผู้สอนควรที่จะดูแลผู้เรียนอย่างใกล้ชิด เพื่อแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง รวมถึงสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนเพื่อให้การทดลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น

#### 5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.3.2.1 เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ เป็นการสร้างชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทิฟ ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างในวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่เพียงแห่งเดียว ดังนั้นจึงควรมีการนำชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้น ไปทดลองใช้กับสถาบันการศึกษาที่มีเนื้อหารายวิชาในลักษณะเดียวกันเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการในภาพรวมให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

5.3.2.2 ควรทำการวิจัยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างผู้เรียนที่ใช้ชุดปฏิบัติการกับผู้เรียนที่ใช้โปรแกรมจำลองการทำงาน ว่ามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกันหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. 2546. หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทช่างอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2521. ระบบสื่อการสอน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ไชยยศ เรืองสุวรรณ. 2529. เทคโนโลยีทางการศึกษา : หลักและแนวปฏิบัติ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์วัฒนาพานิช
- ดิเรก มณีวรรณ. 2543. การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชาระบบโทรคมนาคม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ธีระชัย บุรณ โขติ. 2533. การสร้างผลงานทางวิชาการ เพื่อพัฒนาการเรียนการสอน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- บำรุง กลัดเจริญ, และฉวีวรรณ กनावงศ์. 2527. วิธีการสอนทั่วไป. โครงการตำรามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒพิชญ์โลก. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์พิชญ์เนศ
- พรรณี ลีกิจวัฒน์. 2541. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิจัยทางการศึกษา กรุงเทพมหานคร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พิชัย ภักดีพานิชเจริญ. 2540. คู่มือการออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่. PHYSICS CENTER
- พิสิฐ เมธาภัทร และธีรพล เมธิกุล. 2529. ยุทธวิธีการเรียนการสอนวิชาเทคนิค. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พุทธทอง โพธิ์ปัญญา. 2539. ชุดประลองเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง หลักสูตรแผนกวิชามัลติเพล็กซ์ กองวิชาการเทคโนโลยีสื่อสาร วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. 2540. ชุดทดลองวิชาการออกการออกแบบวงจรขยายเชิงเส้น หลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง (ปทส.) วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พวงรัตน์ มณีรัตน์. 2540. วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2538. วิธีวิจัยการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ

- วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2536. การเลือกใช้สื่อการสอน. วารสารครุศาสตร์เทคโนโลยี. ปีที่ 4  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ไวทยกุล พรศักดิ์ประเสริฐ. 2540. การสร้างชุดฝึกอบรมเรื่องการทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์  
เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีเทคนิคศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุรน แก่นตัน. 2545. การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาวงจรไฟฟ้า 2 เรื่องวงจรไฟฟ้า 3  
เฟสหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2540 กรมอาชีวศึกษา. วิทยานิ  
พนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุรพงษ์ เอ็มอุทัย. 2547. ชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรรองความถี่แบบพาสซีฟ หลักสูตร  
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2546 (ฉบับปรับปรุง) สำนักงาน  
คณะกรรมการการอาชีวศึกษา วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง.
- อนันต์ ศรีโสภะ. 2527. หลักการวิจัยเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์วัฒนา  
พานิช จำกัด
- อัญชลี แจ่มเจริญ และคณะ. 2526. หลักการสอนและการเตรียมประสบการณ์ภาคปฏิบัติ  
(ระบุชุดการสอน). กรุงเทพมหานคร : เฉลิมชัยการพิมพ์
- อรพันธ์ ประสิทธิ์รัตน์. 2530. คอมพิวเตอร์เพื่อการเรียนการสอน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ :  
กราฟแมนเพรส
- อรอนงค์ วิริยานุรักษ์นกร. 2545. การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชาการวิเคราะห์และ  
ออกแบบวงจรดิจิทัล หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยี  
ราชมงคลพุทธศักราช 2543. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาไฟฟ้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าพระนครเหนือ.

John W. Best, **Research in Education**. New Jersey: Prentice Hall, 1970.

Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll. 1998. **Operational Amplifiers & Linear Integrated  
Circuits**. : Prentice-Hall International, inc.

Thomas L. Floyd. 1997. **Electronic Device** : Prentice-Hall International, Inc



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

- ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์
- หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย
- หนังสือขอความร่วมมือให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย



ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2551 ให้ดำเนินการ ดังนี้

นายเอกราช นิลทรันน์ รหัสประจำตัว 47065407 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (Laboratory Set of Active Filter Circuit for Diploma Certificate Curriculum 2003 Vocational Education Commission)” โดยมี รศ.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้น ภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2551

(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ที่ ศธ 0524.04/ 0077

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

12 มกราคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบทดสอบและประเมินชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.สุชิน ออจหาญ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบและแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

ด้วย นายเอกราช นิลรัตน์ นวัตกรรมระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดำรงตำแหน่งวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอสทิฟ หลักสูตรประจักษ์นิยมบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา” โดยมี รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกมลพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิตติพงษ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารรถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบทดสอบและประเมินชุดปฏิบัติการนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของ ท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายเอกราช นิลรัตน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรุสเสถียร ตรีณทร)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.04/ 0077

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

12 มกราคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบทดสอบและประเมินชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

เรียน นายณรงค์ เชื้อพราหมณ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบและแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

ด้วย นายเอกราช นิลทรัตน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา” โดยมี รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการอุดมศึกษา พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบทดสอบและประเมินชุดปฏิบัติการนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายเอกราช นิลทรัตน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรูญเสกข์ ตรีเมธสุนทร)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02-326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.04/ 0077

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

12 มกราคม 2552

เรื่อง ขอบเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบและประเมินชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

เรียน นายเอี่ยม โอภาส วาณิชย์ปกรณ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบและแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

ด้วย นายเอกราช นิลทรัตน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดปฏิบัติการตรวจสอบความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา” โดยมี รศ.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการอุดมศึกษา พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบและประเมินชุดปฏิบัติการนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายเอกราช นิลทรัตน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จระเสกข์ ศรีเมฆสุนทร)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02-326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.04/ 0077

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

12 มกราคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบและประเมินชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

เรียน นายปิยะ ประสงค์จันทร์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบและแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

ด้วย นายเอกราช นิลทรัตน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา” โดยมี รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการอุดมศึกษา พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบและประเมินชุดปฏิบัติการนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายเอกราช นิลทรัตน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัสเสกข์ ตรีเมธสุนทร)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.04/ 0077

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๙๒ มกราคม ๒๕๕๒

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบทดสอบและประเมินชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

เรียน นายเสนอ สะอาด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบและแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการเพื่อการวิจัย

ด้วย นายเอกราช นิลรัตน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดปฏิบัติการตรวจกรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.๒๕๔๖ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา” โดยมี รศ.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการอุดมศึกษา พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบทดสอบและประเมินชุดปฏิบัติการนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายเอกราช นิลรัตน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรูญ เสกข์ ตรีเมธสุนทร)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.04/ 0115

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

14 มกราคม 2552

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถานศึกษา วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่  
(นายสมพงศ์ จตุทอง)

สิ่งที่ส่งมาด้วย ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ

ด้วย นายเอกราช นิลรัตน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทิฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา” โดยมี รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์แล้วเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2551 คณะกรรมการอุดมศึกษา จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายเอกราช นิลรัตน์ ทดลองใช้ชุดปฏิบัติการตรวจรอกความถี่แบบแอกทิฟ ช่วยสอนกับนักศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง และเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบเพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรูญเสกข์ ตรีเมธสุนทร)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวิจัยรองความถี่แบบแอคทีฟโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

### คำชี้แจง

แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวิจัยรองความถี่แบบแอคทีฟโดยผู้ทรงคุณวุฒินี้ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับชุดปฏิบัติการวิจัยรองความถี่ แบบแอคทีฟ ซึ่งใช้เป็นชุดปฏิบัติการและอุปกรณ์การเรียนการสอนในวิชา ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี รหัสวิชา (3105-2003) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

นายเอกราช นิลทรรัตน์

ผู้วิจัย

### ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. อ่านคำแนะนำในการตอบแบบประเมินอย่างละเอียด
2. ให้ท่านกาเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคุณภาพเพียงข้อเดียว ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยกำหนดเกณฑ์การเลือกไว้ 5 ระดับ ดังนี้
 

ระดับ 5	หมายถึง	ระดับคุณภาพดีมาก
ระดับ 4	หมายถึง	ระดับคุณภาพดี
ระดับ 3	หมายถึง	ระดับคุณภาพปานกลาง
ระดับ 2	หมายถึง	ระดับคุณภาพพอใช้
ระดับ 1	หมายถึง	คุณภาพควรปรับปรุง

### ตัวอย่าง

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
		5	4	3	2	1
0	ท่านสนใจที่จะสร้างชุดฝึก		✓			

จากตัวอย่างข้อ 0 หมายความว่า ท่านสนใจที่จะสร้างชุดฝึก “มาก” (4) แต่ถ้าสนใจที่จะสร้างชุดฝึกมากกว่านี้ ให้กาเครื่องหมาย ✓ ที่หมายเลข 5 และถ้าสนใจที่จะสร้างชุดฝึกน้อยลง ให้กาเครื่องหมาย ✓ ที่หมายเลข 3,2,1 ตามลำดับ

## แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
		5	4	3	2	1
1	ก.ด้านใบงาน ความเหมาะสมของรูปแบบของใบงาน ข้อเสนอแนะ.....					
2	รูปแบบของใบงานง่ายต่อการใช้งาน ข้อเสนอแนะ.....					
3	ความเหมาะสมของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ข้อเสนอแนะ.....					
4	ความถูกต้องเหมาะสมของเนื้อหา ข้อเสนอแนะ.....					
5	ความเหมาะสมของลำดับขั้นการทดลอง ข้อเสนอแนะ.....					
6	ความชัดเจนในคำอธิบายแต่ละขั้นตอน ข้อเสนอแนะ.....					
7	ความถูกต้องเหมาะสมของตัวอักษร รูป ตาราง และกราฟ ข้อเสนอแนะ.....					
8	ความชัดเจนเหมาะสมของตัวอักษร รูป ตาราง และกราฟ ข้อเสนอแนะ.....					
9	เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียนรู้ ข้อเสนอแนะ.....					
10	การควบคุมเนื้อหาตามหลักสูตร ข้อเสนอแนะ.....					
11	ความสัมพันธ์ระหว่างการเรียนรู้ในใบงานกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ข้อเสนอแนะ.....					
12	มีความเชื่อมั่นต่อการใช้งาน ข้อเสนอแนะ.....					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
		5	4	3	2	1
1	<u>ข.ด้านแผนกทดลองปฏิบัติการ</u> ขนาดความเหมาะสมของแผนกทดลองปฏิบัติการ ข้อเสนอแนะ.....					
2	รูปแบบของแผนกทดลองปฏิบัติการก่อให้เกิดแรงจูงใจ ข้อเสนอแนะ.....					
3	ความเหมาะสมของตำแหน่งอุปกรณ์ ข้อเสนอแนะ.....					
4	ความแข็งแรงของแผนกทดลองปฏิบัติการ ข้อเสนอแนะ.....					
5	ความเหมาะสมของวัสดุที่นำมาใช้สร้างแผนกทดลอง ปฏิบัติการ ข้อเสนอแนะ.....					
6	ความสะดวกในการดูแลรักษาอุปกรณ์ ข้อเสนอแนะ.....					
7	ความสะดวกในการจัดเตรียมการทดลอง ข้อเสนอแนะ.....					
8	ความเหมาะสมกับระดับนักศึกษา ข้อเสนอแนะ.....					
9	สามารถนำไปใช้ง่ายและสะดวก ข้อเสนอแนะ.....					
10	ความสัมพันธ์ของแผนกทดลองปฏิบัติการต่อบางาน ข้อเสนอแนะ.....					
11	ความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง ข้อเสนอแนะ.....					
12	คุณค่าทางวิชาการของแผนกทดลองปฏิบัติการ โดยภาพรวม ข้อเสนอแนะ.....					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

.....

.....

.....

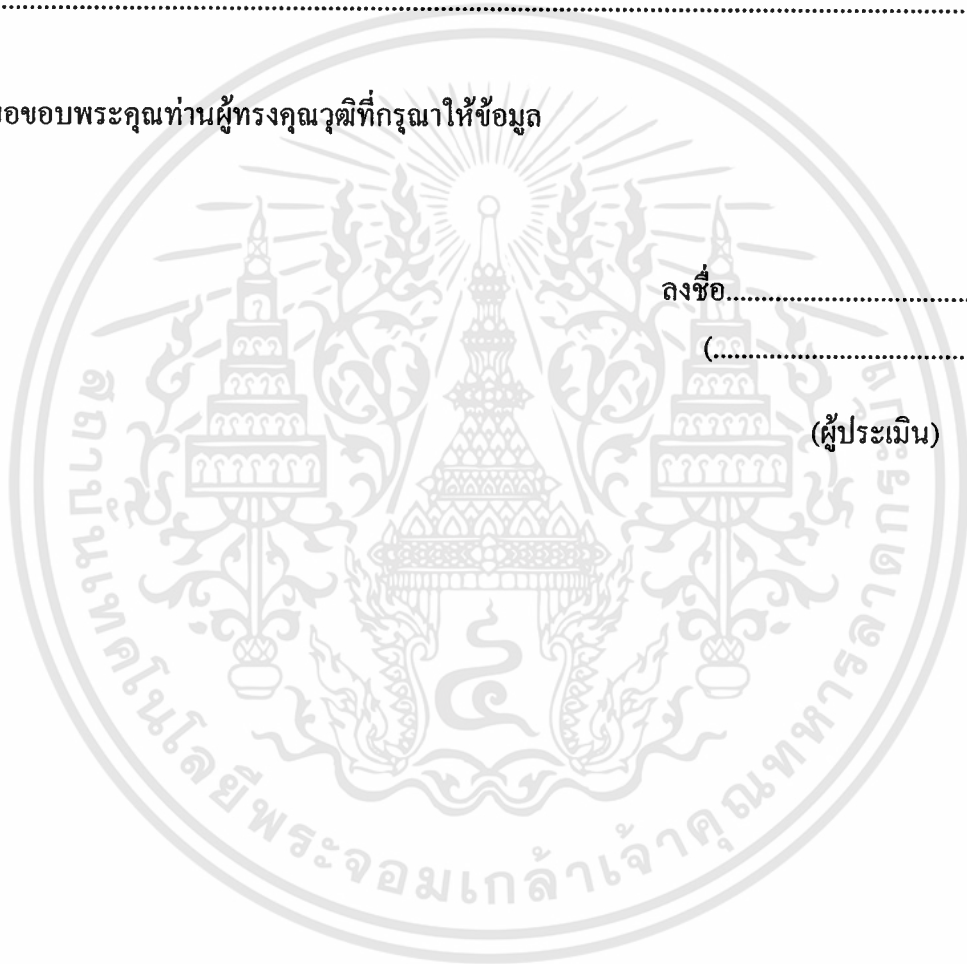
.....

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อมูล



ลงชื่อ.....

(.....)

(ผู้ประเมิน)

## แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

### คำชี้แจง

ให้ท่านทำเครื่องหมาย / ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านว่า แบบประเมินข้อใดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น สามารถวัดความสามารถได้ครอบคลุมเนื้อหา เรื่องวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟตรงตามที่กำหนดหรือไม่ โดยพิจารณาดังนี้

1. แบบประเมินข้อใดแน่ใจว่าสามารถวัดได้ตรงตามเนื้อหา ให้ขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องที่มีคะแนนเท่ากับ 1
2. แบบประเมินข้อใดไม่แน่ใจว่าสามารถวัดได้ตรงตามเนื้อหา ให้ขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องที่มีคะแนนเท่ากับ 0
3. แบบประเมินข้อใดแน่ใจว่าสามารถวัดได้ตรงตามเนื้อหา ให้ขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องที่มีคะแนนเท่ากับ -1

### หมายเหตุ

ในกรณีที่ท่านทำเครื่องหมาย / ลงในช่องว่าง ขอความกรุณาช่วยให้ข้อเสนอแนะเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงต่อไป

ตรวจสอบเรียบร้อย

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

**แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (แบบทดสอบท้ายใบงาน)**

ให้ท่านกาเครื่องหมาย / ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ใบงานที่ 1 เรื่อง วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)				
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบที่	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	1			
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	2			
	3			
	4			
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	5			
	6			
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	7			
	8			
	9			
	10			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 2 เรื่อง วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)				
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบที่	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน	1			
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน	2			
	3			
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน	4			
	5			
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 3 เรื่อง วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ (Band Pass Filter)				
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบที่	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน	1			
	2			
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน	3			
	4			
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน	5			
	6			
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	7			
	8			
	9			
	10			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 4 เรื่อง วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter)				
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบที่	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ 2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ 3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ 4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 5 เรื่อง วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน (All Pass Filter)				
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบที่	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน	1			
2. เขียนกราฟการตอบสนองของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน	2			
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน	3			
	4			
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	5			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (แบบทดสอบรวม)**

ให้ท่านกาเครื่องหมาย ✓ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

หน่วยวงจรกรองความถี่				
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบที่	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
<b>เรื่อง วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter)</b> 1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
<b>เรื่อง วงจรกรองความถี่สูงผ่าน(High Pass Filter)</b> 1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			

หน่วยวงจรกรองความถี่				
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบที่	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
เรื่อง วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่(Band Pass Filter) 1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน 2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน 3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน 4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
เรื่อง วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่(Band Stop Filter) 1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ 2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ 3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ 4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	31			
	32			
	33			
	34			
	35			
	36			
	37			
	38			
	39			
	40			
เรื่อง วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน (All Pass Filter) 1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน 2. เขียนกราฟการตอบสนองของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน 3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน 4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	41			
	42			
	43			
	44			
	45			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ใบงานที่ 1

## วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

### จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

### เครื่องมือและอุปกรณ์

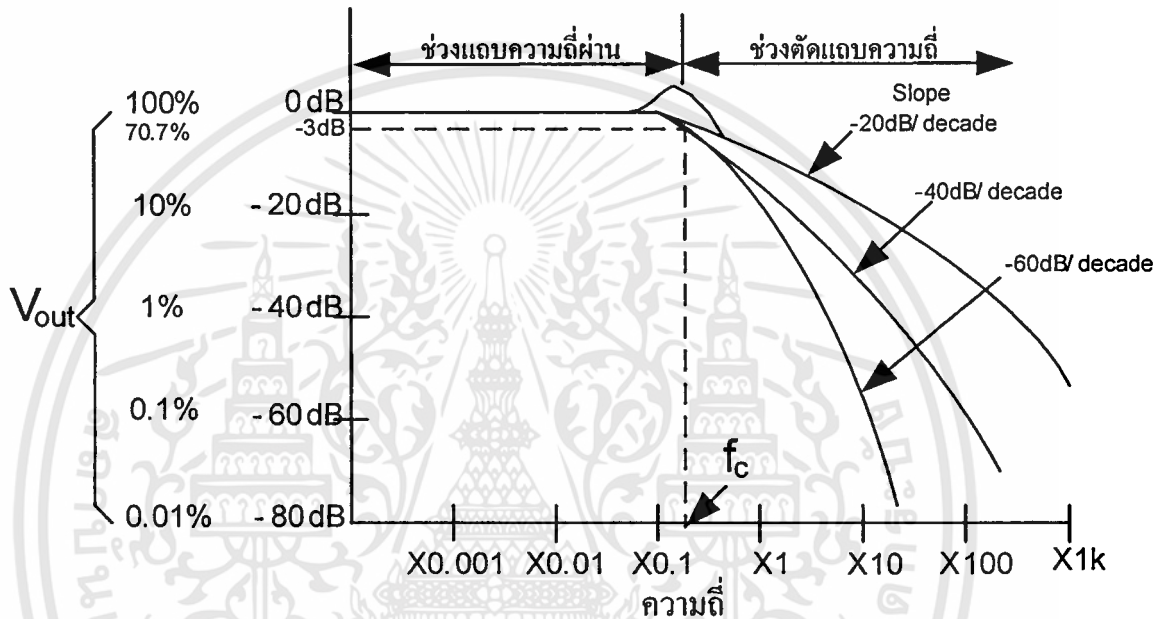
- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. แผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ | 1 | แผง     |
| 2. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ             | 1 | เครื่อง |
| 3. Function Generator พร้อมสายสัญญาณ          | 1 | เครื่อง |
| 4. ตัวต้านทาน                                 |   |         |
| 5. ตัวเก็บประจุ                               |   |         |

### ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่งซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณความถี่ต่ำกว่าค่าที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมด ในขณะที่กำจัดหรือลดทอนความถี่ที่สูงกว่าค่าที่เลือกไว้ คุณสมบัติเช่นนี้ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณค่อย ๆ ตกลงเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นจนใกล้ Cutoff Frequency ( $f_c$ ) และที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) จะมีค่าเท่ากับ 0.707 เท่า หรือถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-3$  dB ซึ่งที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency นี้บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังตกลงเหลือครึ่งหนึ่ง และถ้าเลขจุดนี้ไปอัตราการลดลงของขนาดหรืออัตรากำลังขยายแรงดันจะลดลงด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง  $-20$  dB/decade หรือ  $-40$  dB/decade หรือ  $-60$  dB/decade ดังรูปที่ 1 ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจร ความหมายของ  $-20$  dB/decade คือเมื่อความถี่แปรค่าสูงขึ้นผลตอบสนองของวงจรจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงโดยมีความชันเท่ากับ  $-20$  dB/decade ต่อความถี่ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปสิบเท่า (decade) หรือเรียกว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ  $-20$  dB/decade โดยทั่วไปการหาคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร จะทำการป้อนแรงดันด้านอินพุต ( $V_m$ )

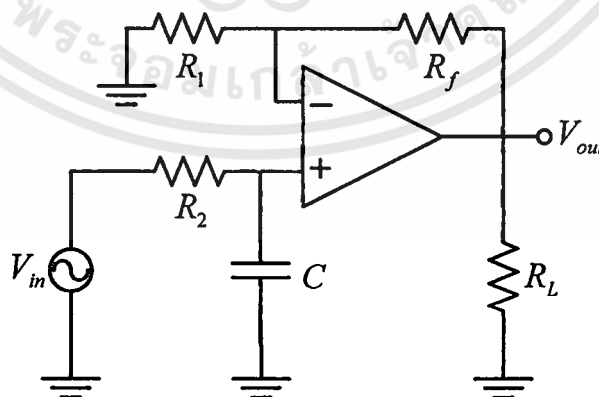
คงที่ ค่าๆ หนึ่ง แต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วย แต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรและคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร คุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร ในใบงานนี้จะนำเสนอวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 2 ชนิดด้วยกันคือ

- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ1 (First - order Low Pass Filter)
- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ2 (Second - order Low Pass Filter)



รูปที่ 1 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 (First - order Low Pass Filter)



รูปที่ 2 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 (First - order Low Pass Filter)

## พารามิเตอร์ที่สำคัญ

$$AV = \frac{|V_o|}{|V_{in}|} = \frac{A_F}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}}$  = อัตราการขยายแรงดันของวงจร

หรือ  $AV_{(dB)} = 20 \log \left[ \frac{V_o}{V_{in}} \right]$

$A_F = 1 + \frac{R_F}{R_1}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain)

$f$  = สัญญาณความถี่อินพุต

$f_c = \frac{1}{(2\pi R_2 C)}$  = ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)

### ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_c$  (Cutoff Frequency)

2. เลือกค่า  $C = \frac{10}{f_c}$  ไมโครฟารัด

3. คำนวณ  $R_2 = \frac{1}{(2\pi f_c C)}$

4. คำนวณหาค่า  $R_f$  และ  $R_1$  ตามค่าอัตราการขยายช่วงผ่านของความถี่  $A_F = 1 + \left(\frac{R_f}{R_1}\right)$

### ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 1 ให้ออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับ 1 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)

$1\text{kHz}$  และอัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2

วิธีทำ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_c = 1\text{kHz}$

2. เลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C = \frac{10}{1000} \mu\text{F} = 0.01 \mu\text{F}$

3. ความต้านทาน  $R_2 = \frac{1}{((2\pi)(1000)(0.01 \times 10^{-6}))} = 15.9 \text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เนื่องจาก  $A_F = 2$  ดังนั้น  $R_f$  จึงต้องเท่ากับ  $R_1$  จึงเลือก  $R_f = R_1 = 10k\Omega$   
 ตัวอย่างที่ 2 ถ้า  $R_2 = 10k\Omega$  และ  $C = 0.015\mu F$  จงคำนวณหาช่วงตัดความถี่ ( $f_c$ ) และ  
 ถ้า  $V_i = 200mV$   $V_o$  จะมีค่าเท่าใดที่ความถี่  $f_c$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(10k\Omega)(0.015\mu F)} = 1061 \text{ Hz}$$

$$f_c \approx 1 \text{ kHz}$$

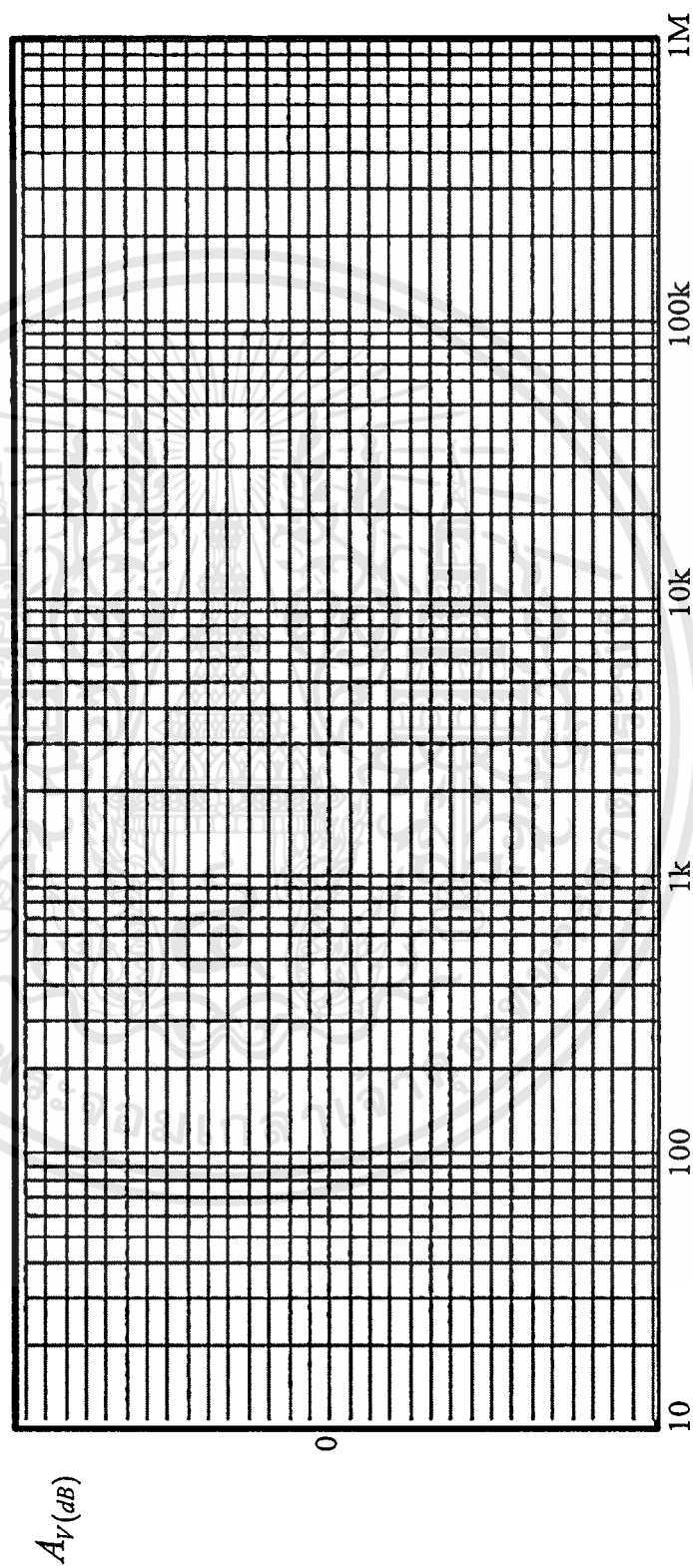
ที่ความถี่  $f_c = 1 \text{ kHz}$   $V_o$  มีค่าเท่ากับ  $0.707 V_i$  ดังนั้น  $V_o = 0.707 (200mV_p) = 141mV_p$

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

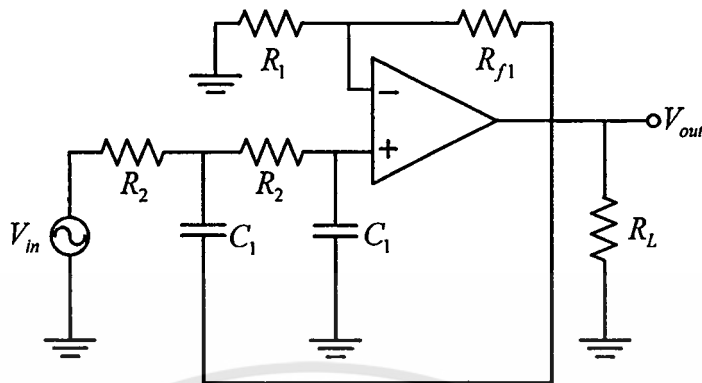
1. เตรียมแผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟ เครื่องออสซิลโลสโคป และเครื่องมือต่าง ๆ และอุปกรณ์ให้พร้อม และทำการทดลองในหน่วยที่ 1 คือ Low Pass filter โดยทำการทดลองที่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 (First - order Low Pass Filter)
2. ออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $10kHz$  และอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 แล้วนำค่าที่ได้จากการออกแบบประกอบในแผงทดลองโดยค่า  $R_L$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $10k\Omega$
3. ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 1 โดยให้ขนาดของสัญญาณ คงที่  $1V_{p-p}$  และป้อนเข้าที่  $V_{in}$  ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 (First - order Low Pass Filter)
4. นำออสซิลโลสโคป Ch.1 วัดที่จุด  $V_{in}$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 (First - order Low Pass Filter) พร้อมบันทึกค่าที่ได้ ลงในตารางที่ 1
5. นำค่า  $A_v$  (dB) ที่ได้ พล็อตลงบนกระดาษ semi log graph ที่กำหนดให้

ตารางที่ 1.1 บันทึกผลการทดลอง

ความถี่ ( $H_z$ )	50	100	200	400	600	800	1k	2k	4k	6k	8k	10k	20k	40k	60k	80k	100k	200k	400k	600k	800k	1M	
$V_i$																							
$V_o$																							
$A_v$																							
$A_v(dB)$																							



## วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 (Second - order Low Pass Filter)



รูปที่ 3 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 (Second - order Low Pass Filter)

### พารามิเตอร์ที่สำคัญ

$$AV = \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{1 + \left( \frac{f}{f_c} \right)^4}}$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}}$  = อัตราการขยายแรงดันของวงจร

หรือ  $AV_{(dB)} = 20 \log \left[ \frac{V_o}{V_{in}} \right]$

$A_F = 1 + \frac{R_F}{R_1}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร

$f$  = สัญญาณความถี่อินพุต

$f_c = \frac{1}{(2\pi R_2 C)}$  = ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)

### ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_c$
2. เลือกค่า  $C = \frac{10}{f_c}$  ไมโครฟารัด
3. คำนวณ  $R_2 = \frac{1}{(2\pi f_c C)}$
4. คำนวณหาค่า  $R_f$  และ  $R_1$  ตามค่าอัตราการขยายช่วงผ่านของความถี่  $A_F = 1 + \left( \frac{R_f}{R_1} \right)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 3 จงออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่ 2 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $1\text{kHz}$  และอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2

วิธีทำ

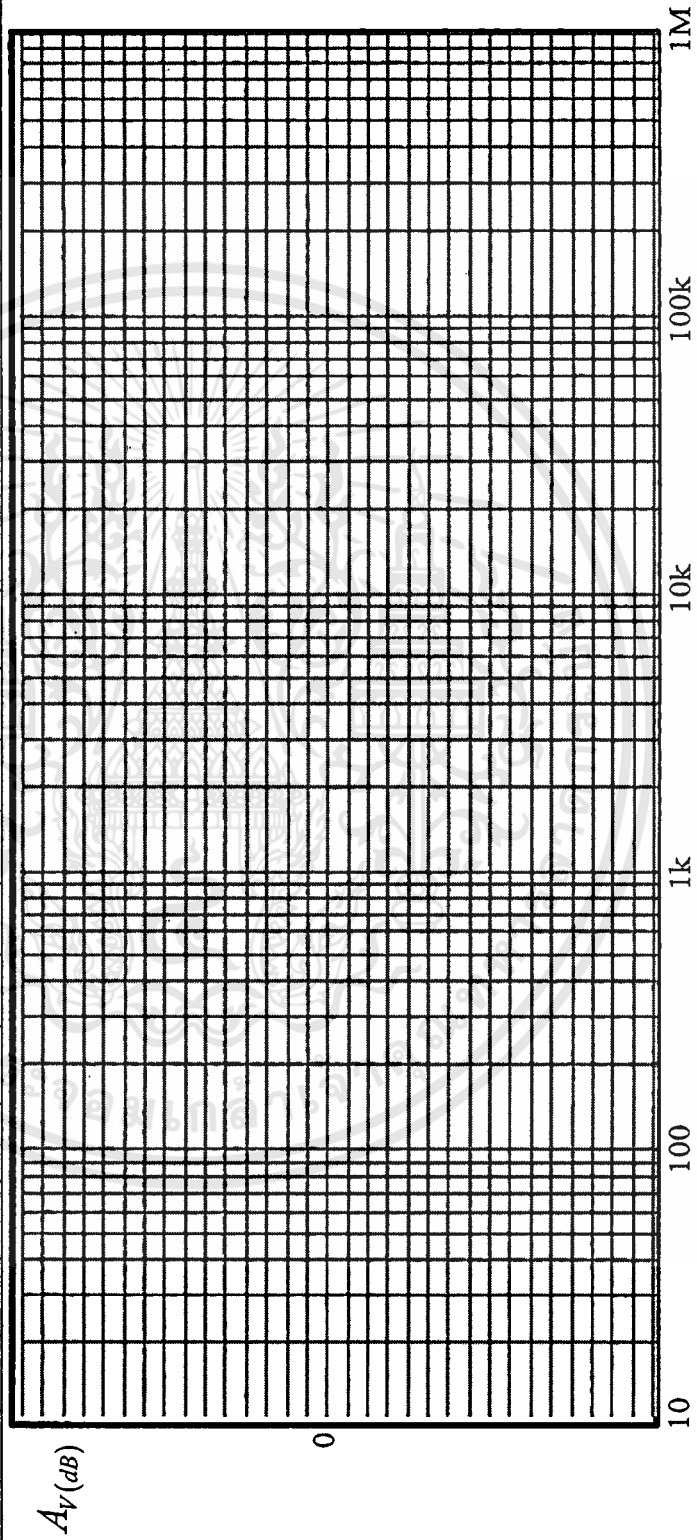
1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_c = 1\text{kHz}$
2. เลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C = \frac{10}{1000} \mu\text{F} = 0.01 \mu\text{F}$
3. ความต้านทาน  $R_2 = \frac{1}{((2\pi)(1000)(0.01 \times 10^{-6}))} = 15.9 \text{ k}\Omega$
4. เนื่องจาก  $A_F = 2$  ดังนั้น  $R_f$  จึงต้องเท่ากับ  $R_1$  จึงเลือก  $R_F = R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

## ลำดับขั้นการทดลอง

1. เตรียมแผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ เครื่องออสซิลโลสโคป และเครื่องมือต่าง ๆ และอุปกรณ์ให้พร้อม และทำการทดลองในหน่วยที่ 1 คือ Low Pass filter โดยทำการทดลองที่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 (Second - order Low Pass Filter)
2. ออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $10\text{kHz}$  และอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 แล้วนำค่าที่ได้จากการออกแบบประกอบในแผงทดลองโดยค่า  $R_L$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $10\text{k}\Omega$
3. ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 1 โดยให้ขนาดของสัญญาณ คงที่  $1V_{p-p}$  และป้อนเข้าที่  $V_{in}$  ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 (Second - order Low Pass Filter)
4. นำออสซิลโลสโคป Ch.1 วัดที่จุด  $V_{in}$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 (Second - order Low Pass Filter) พร้อมบันทึกค่าที่ได้ ลงในตารางที่ 2
5. นำค่า  $A_V(dB)$  ที่ได้ พล็อตลงบนกระดาษ semi log graph ที่กำหนดให้

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลอง

ความถี่ ( $H_z$ )	50	100	200	400	600	800	1k	2k	4k	6k	8k	10k	20k	40k	60k	80k	100k	200k	400k	600k	800k	1M	
$V_i$																							
$V_o$																							
$A_v$																							
$A_v (dB)$																							



### คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองจงอธิบายคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

.....

.....

.....

2. จากการทดลองจงเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 1 กับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 2

.....

.....

.....

3. จงอธิบายขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

.....

.....

.....

.....

4. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 มีค่า  $R_2 = 10k\Omega$  และ  $C = 0.001\mu F$  จงคำนวณค่าตัดความถี่ (Cutoff Frequency) ของวงจร

.....

.....

.....

5. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 ต้องการช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $4kHz$  และ อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 จงคำนวณหาค่า  $R_1, R_2, R_f, C$

.....

.....

.....



## ใบงานที่ 2

### วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

#### จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

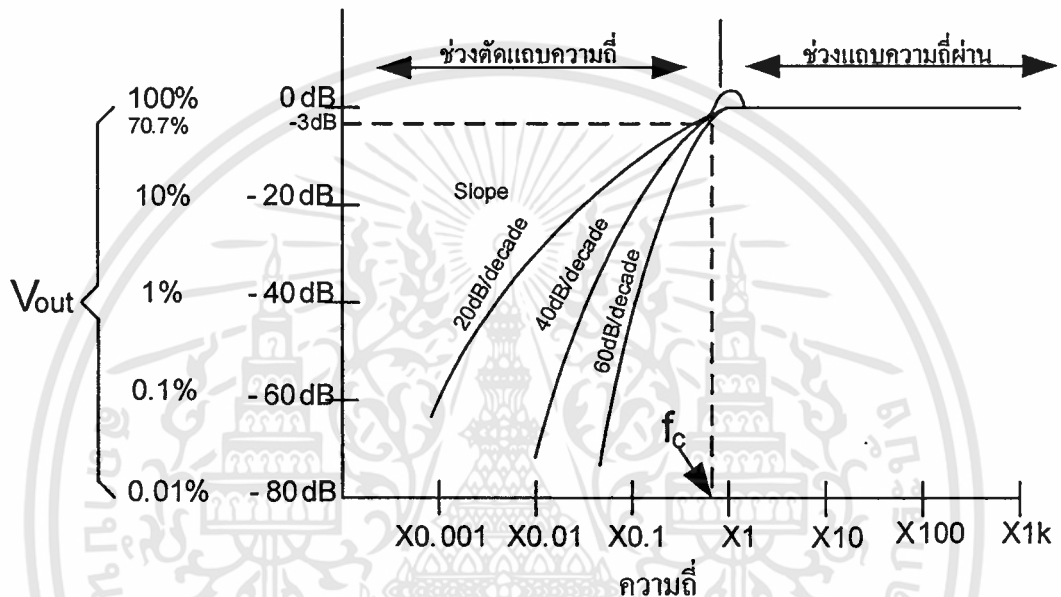
- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. แผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ | 1 | แผง     |
| 2. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ             | 1 | เครื่อง |
| 3. Function Generator พร้อมสายสัญญาณ          | 1 | เครื่อง |
| 4. ตัวต้านทาน                                 |   |         |
| 5. ตัวเก็บประจุ                               |   |         |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรกรองความถี่สูงผ่านเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่งซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณความถี่สูงกว่าค่าที่เลือกไว้ ผ่านไปได้ทั้งหมด ในขณะที่จะกำจัดหรือลดทอนความถี่ที่ต่ำกว่าค่าที่เลือกไว้ คุณสมบัติเช่นนี้ ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1 ซึ่งตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ จะเห็นได้ว่า ขนาดของสัญญาณค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นจนใกล้ Cutoff Frequency ( $f_c$ ) และที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) จะมีค่าเท่ากับ 0.707 เท่า หรือถ้าเปลี่ยนเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่า  $-3$  dB ซึ่งที่ตำแหน่ง Cutoff Frequency นี้บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด และถ้าเลขจุดนี้ไปอัตราการเพิ่มขึ้นของขนาด หรืออัตราการขยายแรงดันจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง  $+20$  dB/decade หรือ  $+40$  dB/decade หรือ  $+60$  dB/decade ดังรูปที่ 1 ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจร ความหมายของ  $+20$  dB/decade คือเมื่อความถี่แปรค่าสูงขึ้น ผลตอบสนองของวงจรจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงโดยมีความชันเท่ากับ  $+20$  dB ต่อความถี่ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปสิบเท่า (decade) หรือเรียกว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ  $+20$  dB/decade โดยทั่วไปการหาคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร จะทำการป้อนแรงดันค่านอินพุต ( $V_{in}$ ) คงที่

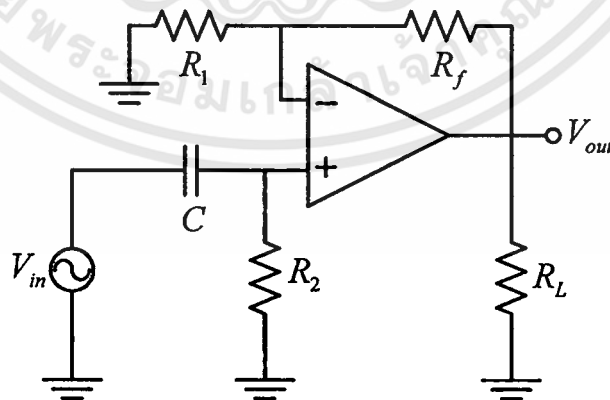
ค่า ๆ หนึ่ง แต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ห้วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ชั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วย แต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจร และคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร ในใบงานนี้จะนำเสนอวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 2 ชนิดด้วยกันคือ

- วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 (First - order High Pass Filter)
- วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 (Second - order High Pass Filter)



รูปที่ 1 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

### วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 (First - order High Pass Filter)



รูปที่ 2 แสดงวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 (First - order High Pass Filter)

## พารามิเตอร์ที่สำคัญ

$$AV = \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_F \frac{f}{f_c}}{\sqrt{1 + \left( \frac{f}{f_c} \right)^2}}$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}}$  = อัตราการขยายแรงดันของวงจร

หรือ  $AV_{(dB)} = 20 \log \left[ \frac{V_o}{V_{in}} \right]$

$A_F = 1 + \frac{R_F}{R_1}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain)

$f$  = สัญญาณความถี่อินพุต

$f_c = \frac{1}{(2\pi R_2 C)}$  = ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)

## ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_c$  (Cutoff Frequency)

2. เลือกค่า  $C = \frac{10}{f_c}$  ไมโครฟารัด

3. คำนวณ  $R_2 = \frac{1}{(2\pi f_c C)}$

4. คำนวณหาค่า  $R_f$  และ  $R_1$  ตามค่าอัตราการขยายช่วงผ่านของความถี่  $A_F = 1 + \left( \frac{R_f}{R_1} \right)$

## ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 1 ให้ออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)

$1\text{kHz}$  และอัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2

วิธีทำ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_c = 1\text{kHz}$

2. เลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C = \frac{10}{1000} \mu\text{F} = 0.01 \mu\text{F}$

3. ความต้านทาน  $R_2 = \frac{1}{((2\pi)(1000)(0.01 \times 10^{-6}))} = 15.9 \text{ k}\Omega$

4. เนื่องจาก  $A_F = 2$  ดังนั้น  $R_f$  จึงต้องเท่ากับ  $R_1$  จึงเลือก  $R_f = R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

ตัวอย่างที่ 2 ถ้า  $R_2 = 10k\Omega$  และ  $C = 0.015\mu F$  จงคำนวณหาช่วงตัดความถี่ ( $f_c$ ) และ ถ้า  $V_i = 200mV$   $V_o$  จะมีค่าเท่าใดที่ความถี่  $f_c$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(10k\Omega)(0.015\mu F)} = 1061 H_z$$

$$f_c \approx 1 kH_z$$

ที่ความถี่  $f_c = 1 kH_z$   $V_o$  มีค่าเท่ากับ  $0.707 V_i$  ดังนั้น  $V_o = 0.707 (200mV_p) = 141mV_p$

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. เตรียมแผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ เครื่องออสซิลโลสโคป และเครื่องมือต่าง ๆ และอุปกรณ์ให้พร้อม และทำการทดลองในหน่วยที่ 2 คือ High Pass filter โดยทำการทดลองวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 (First - order High Pass Filter)

2. ออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $10kH_z$  และอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 แล้วนำค่าที่ได้จากการออกแบบประกอบในแผงทดลองโดยค่า  $R_L$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $10k\Omega$

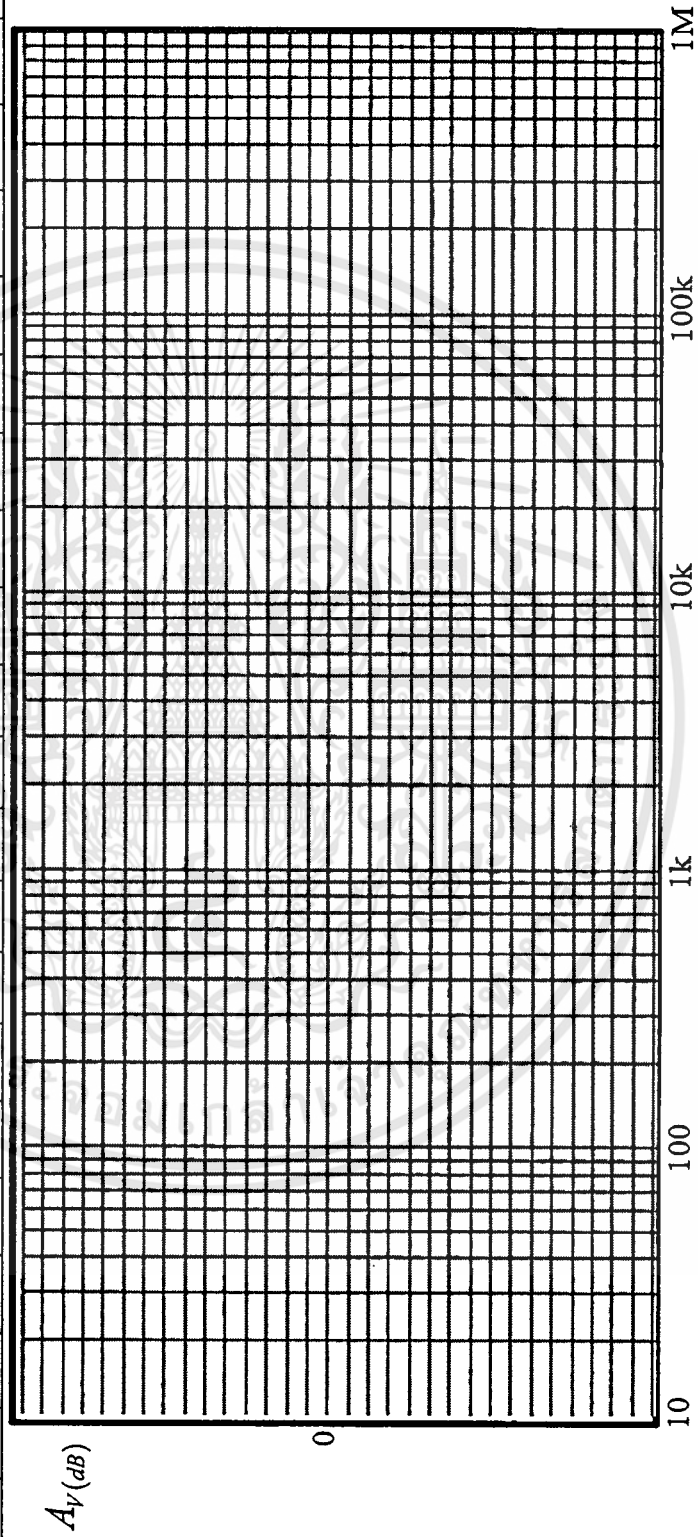
3. ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 1 โดยให้ขนาดของสัญญาณ คงที่  $1V_{p-p}$  และป้อนเข้าที่  $V_{in}$  ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 (First - order High Pass Filter)

4. นำออสซิลโลสโคป Ch.1 วัดที่จุด  $V_{in}$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 (First - order High Pass Filter) พร้อมบันทึกค่าที่ได้ ลงในตารางที่ 1

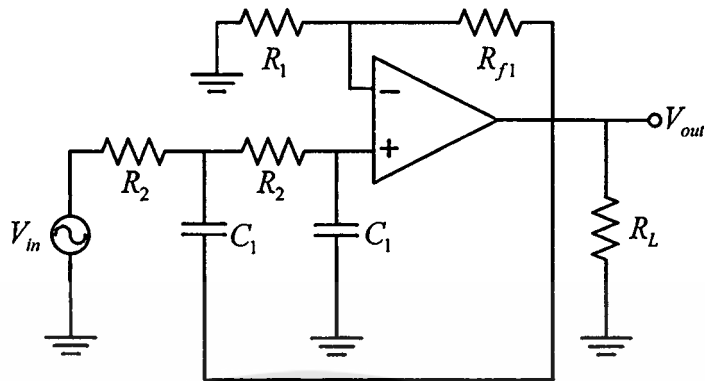
5. นำค่า  $A_{V(dB)}$  ที่ได้ พล็อตลงบนกระดาษ semi log graph ที่กำหนดให้

ตารางที่ 1.1 บันทึกผลการทดลอง

ความถี่ ( $H_z$ )	50	100	200	400	600	800	1k	2k	4k	6k	8k	10k	20k	40k	60k	80k	100k	200k	400k	600k	800k	1M	
$V_i$																							
$V_o$																							
$A_v$																							
$A_v(dB)$																							



## วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 (Second - order High Pass Filter)



รูปที่ 3 แสดงวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 (Second - order High Pass Filter)

### พารามิเตอร์ที่สำคัญ

$$AV = \frac{|V_o|}{|V_{in}|} = \frac{A_F}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_c}{f}\right)^4}}$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}}$  = อัตราการขยายแรงดันของวงจร

หรือ  $AV_{(dB)} = 20 \log \left[ \frac{V_o}{V_{in}} \right]$

$A_F = 1 + \frac{R_F}{R_1}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร

$f$  = สัญญาณความถี่อินพุต

$f_c = \frac{1}{(2\pi R_2 C)}$  = ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)

### ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_c$

2. เลือกค่า  $C = \frac{10}{f_c}$  ไมโครฟารัด

3. คำนวณ  $R_2 = \frac{1}{(2\pi f_c C)}$

4. คำนวณหาค่า  $R_f$  และ  $R_1$  ตามค่าอัตราการขยายช่วงผ่านของความถี่  $A_F = 1 + \left(\frac{R_f}{R_1}\right)$

## ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 3 จงออกแบบวงจรกรองความถี่สูงอันดับที่ 2 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $1\text{kHz}$  และอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2

วิธีทำ

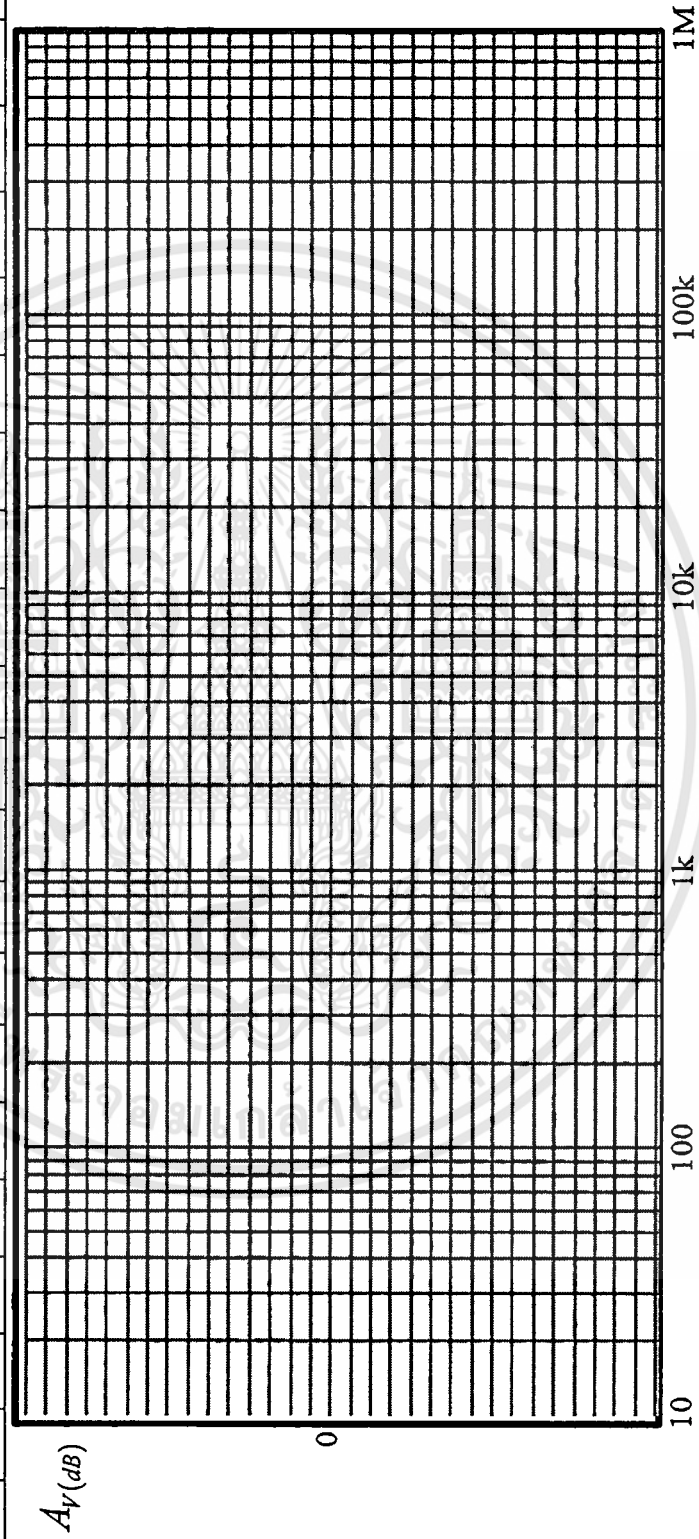
1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่  $f_C = 1\text{kHz}$
2. เลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C = \frac{10}{1000} \mu\text{F} = 0.01 \mu\text{F}$
3. ความต้านทาน  $R_2 = \frac{1}{((2\pi)(1000)(0.01 \times 10^{-6}))} = 15.9 \text{ k}\Omega$
4. เนื่องจาก  $A_F = 2$  ดังนั้น  $R_f$  จึงต้องเท่ากับ  $R_1$  จึงเลือก  $R_F = R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

## ลำดับขั้นการทดลอง

1. เตรียมแผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ เครื่องออสซิลโลสโคป และเครื่องมือต่าง ๆ และอุปกรณ์ให้พร้อม และทำการทดลองในหน่วยที่ 2 คือ High Pass filter โดยทดลองที่วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 (Second - order High Pass Filter)
2. ออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 ที่ช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $10\text{kHz}$  และอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 แล้วนำค่าที่ได้จากการออกแบบประกอบในแผงทดลอง โดยค่า  $R_L$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $10\text{k}\Omega$
3. ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 2 โดยให้ขนาดของสัญญาณ คงที่  $1V_{p-p}$  และป้อนเข้าที่  $V_{in}$  ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 (Second - order High Pass Filter)
4. นำออสซิลโลสโคป Ch.1 วัดที่จุด  $V_{in}$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 (Second - order High Pass Filter) พร้อมบันทึกค่าที่ได้ ลงในตารางที่ 2
5. นำค่า  $A_V(\text{dB})$  ที่ได้ พล็อตลงบนกระดาษ semi log graph ที่กำหนดให้

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลอง

ความถี่ ( $H_z$ )	50	100	200	400	600	800	1k	2k	4k	6k	8k	10k	20k	40k	60k	80k	100k	200k	400k	600k	800k	1M	
$V_i$																							
$V_o$																							
$A_v$																							
$A_v(dB)$																							



### คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองจงอธิบายคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

.....

.....

.....

.....

2. จากการทดลองจงเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 1 กับ วงจรกรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 2

.....

.....

.....

.....

3. จงอธิบายขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

.....

.....

.....

.....

4. วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 1 มีค่า  $R_2 = 10k\Omega$  และ  $C = 0.001\mu F$  จงคำนวณค่าตัดความถี่ (Cutoff Frequency) ของวงจร

.....

.....

.....

.....

5. วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 ต้องการช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency)  $4kHz$  และอัตรา การขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 จงคำนวณหาค่า  $R_1, R_2, R_f, C$

.....

.....

.....

.....



## ใบงานที่ 3

### วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)

#### จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

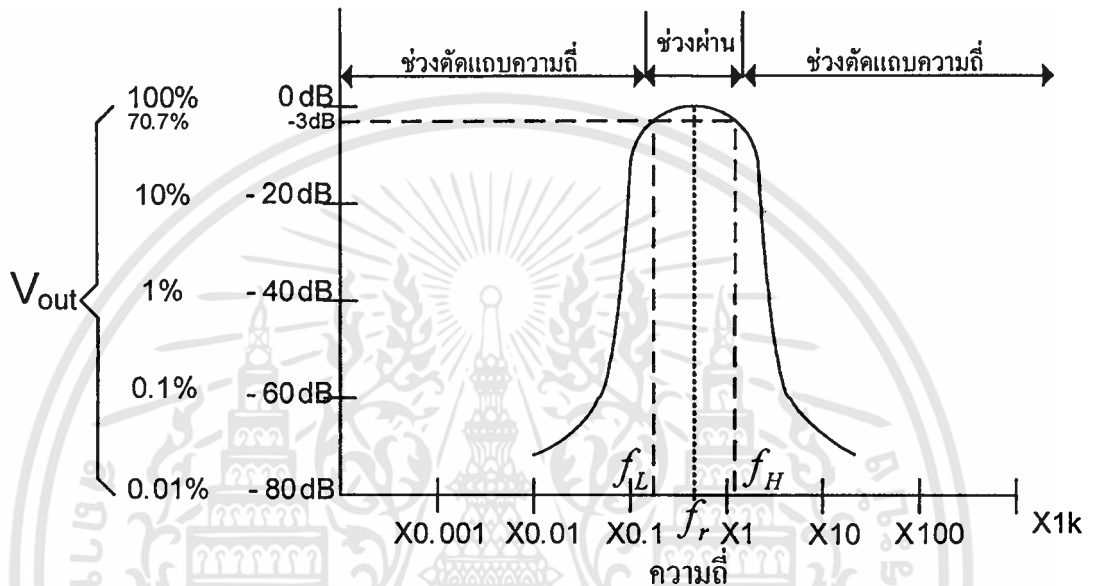
#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. แผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟ | 1 | แผง     |
| 2. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ             | 1 | เครื่อง |
| 3. Function Generator พร้อมสายสัญญาณ          | 1 | เครื่อง |
| 4. ตัวต้านทาน                                 |   |         |
| 5. ตัวเก็บประจุ                               |   |         |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

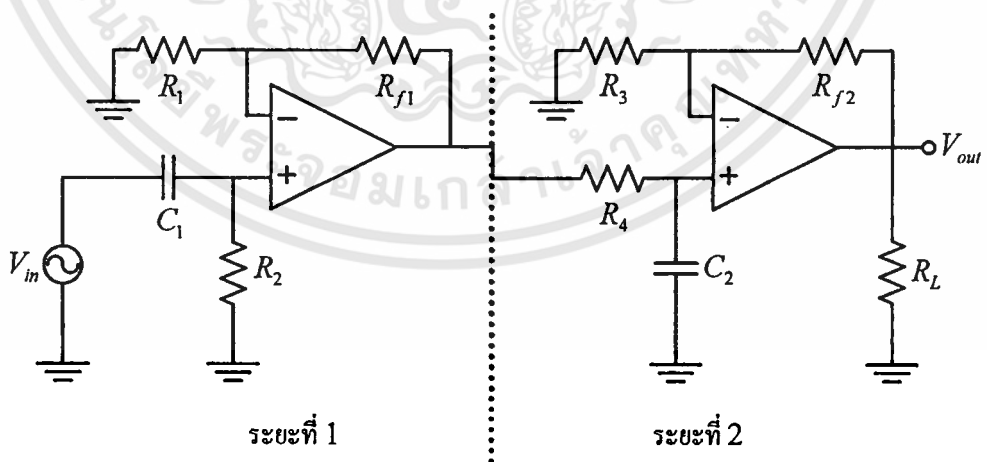
วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่านเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีคุณลักษณะในการทำงานคือจะยอมให้สัญญาณอินพุต ซึ่งมีความถี่ตามที่กำหนดผ่านวงจรไปได้ ส่วนสัญญาณอินพุตซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนหรือไม่ยอมให้สัญญาณผ่านวงจรไปได้ คุณสมบัติเช่นนี้ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ จะเป็นได้ว่าอัตราขยายสูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับ 0dB เกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนท์  $f_r$  (Resonant Frequency) และตำแหน่งความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนท์ลงมาที่ทำให้อัตราขยายสัญญาณหรืออัตราขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราขยายสูงสุดของวงจร ถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-3$  dB นั้นจะเรียกว่าความถี่นี้ว่า “ความถี่คัตออฟด้านต่ำ  $f_L$  (Low-Cutoff Frequency)” และค่าความถี่ซึ่งสูงกว่าความถี่เรโซแนนท์ที่ทำให้อัตราขยายสัญญาณหรืออัตราขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราขยายสูงสุดของวงจร ถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-3$  dB เช่นกันนั้นจะเรียกว่า “ความถี่คัตออฟด้านสูง  $f_H$  (High-Cutoff Frequency)” ซึ่งที่ตำแหน่งนี้บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังตกลง

เหลือครึ่งหนึ่ง โดยทั่วไปการหาค่าคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจรจะทำการป้อนแรงดันด้านอินพุต ( $V_{in}$ ) คงที่ ค่า ๆ หนึ่ง แต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ห้วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วย แต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรและคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร



รูปที่ 1 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน

วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)



รูปที่ 2 แสดงวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)

## พารามิเตอร์ที่สำคัญ

$$AV = \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_{FT} \left( \frac{f}{f_L} \right)}{\sqrt{\left[ 1 + \left( \frac{f}{f_L} \right)^2 \right] \left[ 1 + \left( \frac{f}{f_H} \right)^2 \right]}}$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}}$  = อัตราการขยายแรงดันของวงจร

หรือ  $AV_{(dB)} = 20 \log \left[ \frac{V_o}{V_{in}} \right]$

$A_{FT}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจรรวม (Total Pass Band Gain)

$$= A_{F1} \times A_{F2}$$

โดย  $A_{F1} = 1 + \frac{R_{f1}}{R_1}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร(ระยะที่ 1)

$A_{F2} = 1 + \frac{R_{f2}}{R_3}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร(ระยะที่ 2)

$f$  = สัญญาณความถี่อินพุต

$f_L = \frac{1}{(2\pi R_2 C_1)}$  = ช่วงตัดความถี่ต่ำ (Low Cutoff Frequency) (ระยะที่ 1)

$f_H = \frac{1}{(2\pi R_4 C_2)}$  = ช่วงตัดความถี่สูง (High Cutoff Frequency) (ระยะที่ 2)

$f_r = \sqrt{f_H f_L}$  = ความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency)

$Q = \frac{f_r}{BW}$  = ประสิทธิภาพของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Quality factor)

$BW = f_H - f_L$  = แถบความถี่ที่ต้องการให้ผ่าน (Band width)

## ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่ต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency)
2. เลือกค่าช่วงตัดความถี่สูง  $f_H$  (High Cutoff Frequency)
3. เลือกค่าตัวเก็บประจุ

$$C_1 = \frac{10}{f_L} \text{ ไมโครฟารัด (ระยะที่ 1)}$$

$$C_2 = \frac{10}{f_H} \text{ ไมโครฟารัด (ระยะที่ 2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. คำนวณค่าความต้านทาน

$$R_2 = \frac{1}{(2\pi f_L C_1)} \quad (\text{ระยะที่ 1})$$

$$R_4 = \frac{1}{(2\pi f_H C_2)} \quad (\text{ระยะที่ 2})$$

5. เพื่อความสะดวกในการออกแบบกำหนดให้  $A_{F1} = A_{F2}$ 

คำนวณหาค่า  $R_f$  โดยที่  $R_{f1} = R_{f2}$  และ  $R_1 = R_3$  ตามค่าอัตราขยายช่วงผ่านของ

$$\text{ความถี่ (Pass Band Gain) ดังนั้นเท่ากับ } \frac{A_{FT}}{2} = A_{F1} = A_{F2} = 1 + \left( \frac{R_{f1}}{R_1} \right)$$

$$\text{หรือ } 1 + \left( \frac{R_{f2}}{R_3} \right)$$

## ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 1 จงออกแบบวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน โดยกำหนดช่วงตัดความถี่สูง (High Cutoff Frequency)  $1\text{kHz}$  และที่ช่วงตัดความถี่ต่ำ (Low Cutoff Frequency)  $200\text{Hz}$  และกำหนดอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 4

## วิธีทำ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่ต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency) =  $200\text{Hz}$
2. เลือกค่าช่วงตัดความถี่สูง  $f_H$  (High Cutoff Frequency) =  $1\text{kHz}$
3. เลือกค่าตัวเก็บประจุ

$$C_1 = \frac{10}{f_L} = \frac{10}{200} = 0.05\mu\text{F} \quad (\text{ระยะที่ 1})$$

$$C_2 = \frac{10}{f_H} = \frac{10}{1000} = 0.01\mu\text{F} \quad (\text{ระยะที่ 2})$$

## 4. คำนวณค่าความต้านทาน

$$R_2 = \frac{1}{(2\pi f_L C_1)} = \frac{1}{[2\pi \times (200)(0.05 \times 10^{-6})]} = 15.9\text{ k}\Omega \quad (\text{ระยะที่ 1})$$

$$R_4 = \frac{1}{(2\pi f_H C_2)} = \frac{1}{[2\pi \times (1000)(0.01 \times 10^{-6})]} = 15.9\text{ k}\Omega \quad (\text{ระยะที่ 2})$$

## 5. โจทย์กำหนดให้ อัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 4

ดังนั้นจาก  $A_{FT} = A_{F1} \times A_{F2}$  เพื่อให้ง่ายในการออกแบบจึงกำหนดให้  $A_{F1} = A_{F2} = 2$  ทำให้อัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) ของ  $A_{F1}$  และ  $A_{F2}$  เท่ากัน จากนั้นคำนวณหาค่า  $R_f$  โดยที่  $R_{f1} = R_{f2} = 10\text{k}\Omega$  ทำให้  $R_1 = R_3 = 10\text{k}\Omega$  ด้วย

เพราะว่าหาก  $A_{F1} = A_{F2} = 1 + \left( \frac{R_{f1}}{R_1} \right)$  หรือ  $1 + \left( \frac{R_{f2}}{R_3} \right) = 1 + \left( \frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} \right) = 2$  นั่นเอง

ตัวอย่างที่ 2 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน มีช่วงตัดความถี่ต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency) =  $300\text{Hz}$  และช่วงตัดความถี่สูง  $f_H$  (High Cutoff Frequency)  $3\text{kHz}$  จงหาค่า  $BW$  และ  $f_r$

- หาค่า  $BW$

$$\begin{aligned} BW &= f_H - f_L \\ &= 3000\text{ Hz} - 300\text{ Hz} \\ &= BW = 2.7\text{ kHz} \end{aligned}$$

- หาค่า  $f_r$

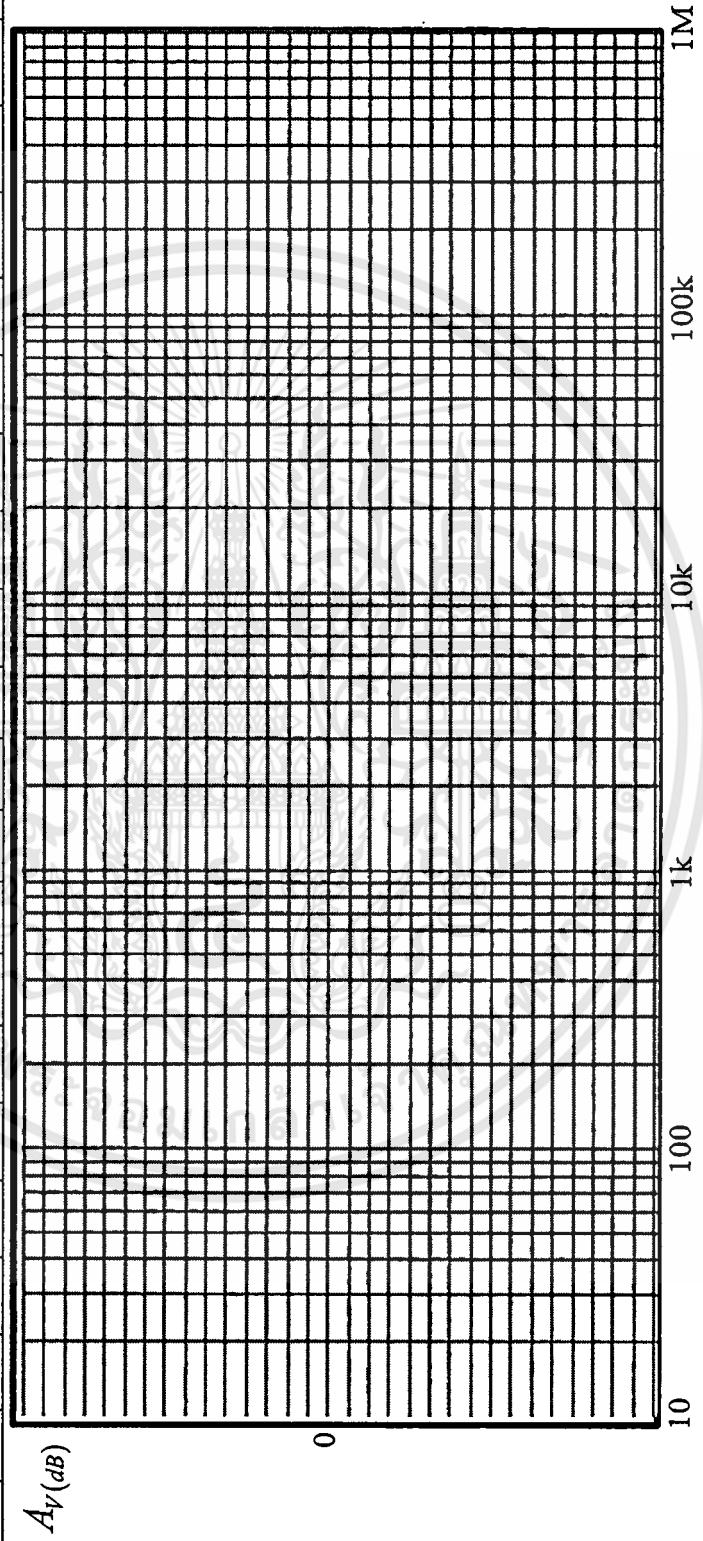
$$\begin{aligned} f_r &= \sqrt{f_L f_H} \\ &= \sqrt{(300\text{ Hz})(3000\text{ Hz})} \\ f_r &= 948.7\text{ Hz} \end{aligned}$$

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. เตรียมแผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอดทีฟ เครื่องออสซิลโลสโคป และเครื่องมือต่าง ๆ และอุปกรณ์ให้พร้อม และทำการทดลองในหน่วยที่ 3 คือ Band Pass filter โดยทำการทดลองที่วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)
2. ออกแบบวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน โดยกำหนดให้ช่วงตัดความถี่สูง (High Cutoff Frequency)  $10\text{kHz}$  และที่ช่วงตัดความถี่ต่ำ (Low Cutoff Frequency)  $1\text{kHz}$  และกำหนดอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 4 แล้วนำค่าที่ได้จากการออกแบบประกอบในแผงทดลอง โดยค่า  $R_L$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $10\text{k}\Omega$
3. ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 1 โดยให้ขนาดของสัญญาณ คงที่  $1V_{p-p}$  และป้อนเข้าที่  $V_m$  ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)
4. นำออสซิลโลสโคป Ch.1 วัดที่จุด  $V_m$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter) พร้อมบันทึกค่าที่ได้ ลงในตารางที่ 1
5. นำค่า  $A_{V(dB)}$  ที่ได้พล็อตลงบนกระดาษ semi log graph ที่กำหนดให้

ตารางที่ 1 มันทึกลมอดการทดลอง

ความถี่ ( $H_z$ )	50	100	200	400	600	800	1k	2k	4k	6k	8k	10k	20k	40k	60k	80k	100k	200k	400k	600k	800k	1M	
$V_i$																							
$V_o$																							
$A_v$																							
$A_v(dB)$																							



### คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองจงอธิบายคุณลักษณะของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน

.....

.....

.....

.....

3. หากกำหนดให้วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน มีช่วงตัดความถี่สูง ( $f_H$ )  $1kHz$  และที่ช่วงตัดความถี่ต่ำ ( $f_L$ )  $500Hz$  จงคำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนท์  $f_r$  (Resonant Frequency), แบนด์วิดท์  $BW$ , ประสิทธิภาพของวงจร  $Q$  (Quality factor)

.....

.....

.....

.....

.....

4. หากวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน มีอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 4 และแรงดันอินพุต ( $V_{in}$ ) =  $1V_{p-p}$  จงหาแรงดันที่เอาต์พุต

.....

.....

.....

.....

.....

5. จากการทดลองความต้านทาน  $R_{r1}$  และ  $R_i$  ในวงจรทำหน้าที่อะไร

.....

.....

.....

.....

.....



## ใบงานที่ 4

### วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter)

#### จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่
2. เขียนกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

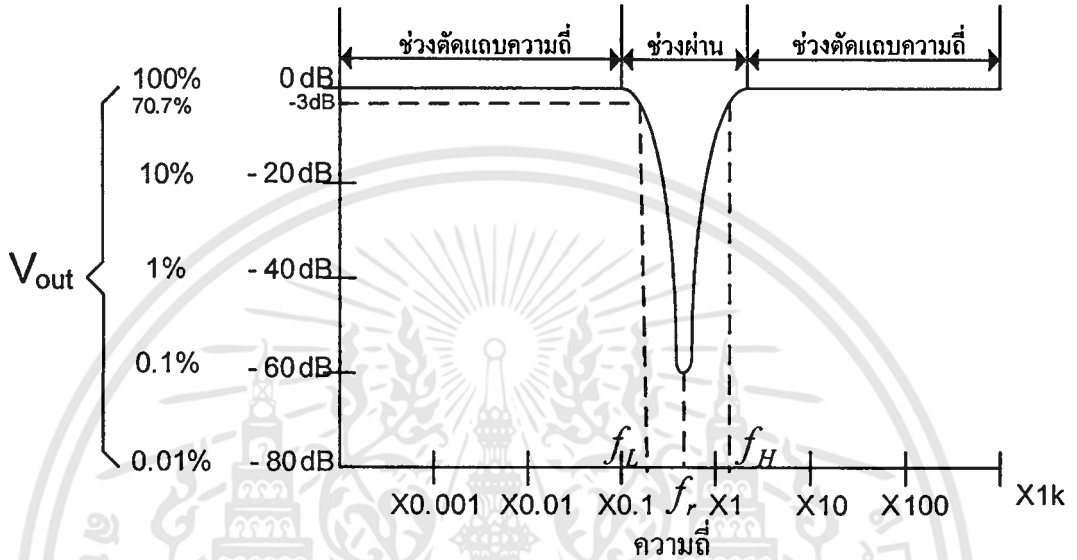
#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. แผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ | 1 | แผง     |
| 2. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ             | 1 | เครื่อง |
| 3. Function Generator พร้อมสายสัญญาณ          | 1 | เครื่อง |
| 4. ตัวต้านทาน                                 |   |         |
| 5. ตัวเก็บประจุ                               |   |         |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

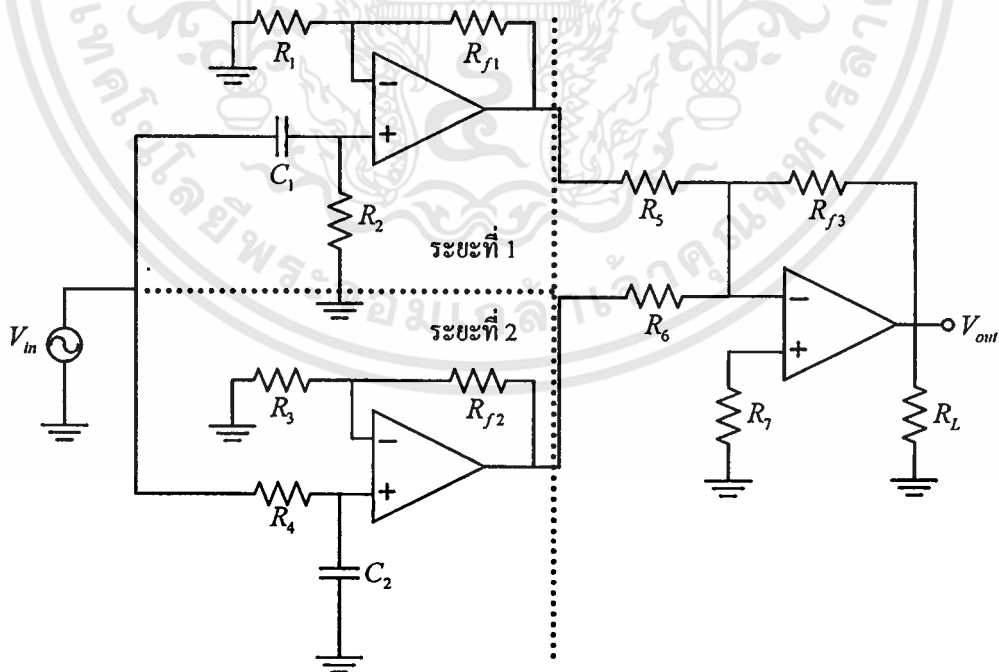
วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่เป็นวงจรกรองความถี่ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีคุณลักษณะในการทำงานคือ สัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการจะลดทอนในช่วงตัดแถบความถี่ (Stop Band) สัญญาณความถี่ที่ต้องการจะถูกส่งผ่านไปได้ ในช่วงความถี่ผ่าน (Pass Band) คุณสมบัติเช่นนี้ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ จะเห็นได้ว่าอัตราการขยายสูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับ 0 dB และอัตราการขยายต่ำสุดของวงจรจะเกิดขึ้นที่จุดความถี่เรโซแนนท์  $f_r$  (Resonant Frequency) โดยตำแหน่งความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนท์ลงมาที่ทำให้อัตราการขยายสัญญาณหรืออัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราการขยายสูงสุดของวงจร หรือถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-3$  dB นั้นจะเรียกค่าความถี่นี้ว่า “ความถี่คัตออฟด้านต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency)” และค่าความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนท์ที่ทำให้อัตราการขยายสัญญาณหรืออัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของอัตราการขยายสูงสุดของวงจร ถ้าแปลงเป็นเดซิเบล (dB) จะมีค่าเท่ากับ  $-3$  dB เช่นกันนั้นจะเรียกว่า “ความถี่คัตออฟด้านสูง  $f_H$  (High-Cutoff Frequency)” ซึ่งที่ตำแหน่งนี้บางครั้งเราเรียกว่าจุด Half Power Point (HPP.) ซึ่งเป็นจุดที่กำลังตกลง

เหลือครึ่งหนึ่ง โดยทั่วๆ ไป การหาคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจรจะทำการป้อนแรงดันด้านอินพุต ( $V_{in}$ ) คงที่ ค่า ๆ หนึ่ง แต่ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ห้วงจรอย่างละเอียดนั้น ต้องใช้ Transfer Function และคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาร่วมการพิจารณาด้วย แต่ในขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรและคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจร



รูปที่ 1 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่

วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter)



รูปที่ 2 แสดงวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter)

## พารามิเตอร์ที่สำคัญ

$$AV = \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_F \sqrt{1 - \left( \frac{f}{f_H f_L} \right)^2}}{\sqrt{\left( \frac{1 - f^2}{f_H f_L} \right)^2 + \left( f \left( \frac{1}{f_H} + \frac{1}{f_L} \right) \right)^2}}$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}}$  = อัตราการขยายแรงดันของวงจร

หรือ  $AV_{(dB)} = 20 \log \left[ \frac{V_o}{V_{in}} \right]$

$A_{FT}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจรรวม (Total Pass Band Gain)  $A_{F1} = A_{F2}$

โดย  $A_{F1} = 1 + \frac{R_{f1}}{R_1}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร(ระยะที่ 1)

$A_{F2} = 1 + \frac{R_{f2}}{R_3}$  = อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร(ระยะที่ 2)

$f$  = สัญญาณความถี่อินพุต

$f_L = \frac{1}{(2\pi R_2 C_1)}$  = ช่วงตัดความถี่ต่ำ (Low Cutoff Frequency) (ระยะที่ 1)

$f_H = \frac{1}{(2\pi R_4 C_2)}$  = ช่วงตัดความถี่สูง (High Cutoff Frequency) (ระยะที่ 2)

$f_r = \sqrt{f_H f_L}$  = ความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency)

$Q = \frac{f_r}{BW}$  = ประสิทธิภาพของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Quality factor)

$BW = f_H - f_L$  = แถบความถี่ที่ต้องการให้ผ่าน (Band width)

## ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่ต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency)
2. เลือกค่าช่วงตัดความถี่สูง  $f_H$  (High Cutoff Frequency)
3. เลือกค่าตัวเก็บประจุ

$$C_1 = \frac{10}{f_L} \text{ ไมโครฟารัด (ระยะที่ 1)}$$

$$C_2 = \frac{10}{f_H} \text{ ไมโครฟารัด (ระยะที่ 2)}$$

4. คำนวณค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_2 = \frac{1}{(2\pi f_L C_1)} \quad (\text{ระยะที่ 1})$$

$$R_4 = \frac{1}{(2\pi f_H C_2)} \quad (\text{ระยะที่ 2})$$

5. เพื่อความสะดวกในการออกแบบกำหนดให้  $A_{F1} = A_{F2}$

คำนวณหาค่า  $R_f$  โดยที่  $R_{f1} = R_{f2}$  และ  $R_1 = R_3$  ตามค่าอัตรการขยายช่วงผ่านของ  
ความถี่ (Pass Band Gain) ดังนั้นเท่ากับ  $A_{FT} = A_{F1} = A_{F2} = 1 + \left(\frac{R_{f1}}{R_1}\right)$  หรือ  $1 + \left(\frac{R_{f2}}{R_3}\right)$

### ตัวอย่างการออกแบบ

**ตัวอย่างที่ 1** จงออกแบบวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ โดยกำหนดช่วงตัดความถี่สูง (High Cutoff Frequency)  $1kHz$  และที่ช่วงตัดความถี่ต่ำ (Low Cutoff Frequency)  $200Hz$  และกำหนดอัตรการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2

วิธีทำ

1. เลือกค่าช่วงตัดความถี่ต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency) =  $200Hz$

2. เลือกค่าช่วงตัดความถี่สูง  $f_H$  (High Cutoff Frequency) =  $1kHz$

3. เลือกค่าตัวเก็บประจุ

$$C_1 = \frac{10}{f_L} = \frac{10}{200} = 0.05\mu F \quad (\text{ระยะที่ 1})$$

$$C_2 = \frac{10}{f_H} = \frac{10}{1000} = 0.01\mu F \quad (\text{ระยะที่ 2})$$

4. คำนวณค่าความต้านทาน

$$R_2 = \frac{1}{(2\pi f_L C_1)} = \frac{1}{[2\pi \times (200)(0.05 \times 10^{-6})]} = 15.9k\Omega \quad (\text{ระยะที่ 1})$$

$$R_4 = \frac{1}{(2\pi f_H C_2)} = \frac{1}{[2\pi \times (1000)(0.01 \times 10^{-6})]} = 15.9k\Omega \quad (\text{ระยะที่ 2})$$

5. โจทย์กำหนดให้ อัตรการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2

$A_{FT} = 2$  ดังนั้น  $A_{F1} = A_{F2} = 2$  จากนั้นคำนวณหาค่า  $R_f$  โดยที่  $R_{f1} = R_{f2} = 10k\Omega$  ทำให้  $R_1 = R_3 = 10k\Omega$  ด้วย

**ตัวอย่างที่ 2** วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ผ่าน มีช่วงตัดความถี่ต่ำ  $f_L$  (Low Cutoff Frequency) =  $300Hz$  และช่วงตัดความถี่สูง  $f_H$  (High Cutoff Frequency)  $3kHz$  จงหาค่า  $BW$  และ  $f_r$

- หาค่า  $BW$

$$\begin{aligned} BW &= f_H - f_L \\ &= 3000 \text{ Hz} - 300 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$= BW = 2.7 \text{ kHz}$$

- หาค่า  $f_r$

$$f_r = \sqrt{f_H f_L}$$

$$= \sqrt{(3000 \text{ Hz})(300 \text{ Hz})}$$

$$f_r = 948.7 \text{ Hz}$$

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. เตรียมแผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ เครื่องออสซิลโลสโคป และเครื่องมือต่าง ๆ และอุปกรณ์ให้พร้อม และทำการทดลองในหน่วยที่ 4 คือ Band Stop filter โดยทำการทดลองที่วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter)

2. ออกแบบวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ โดยกำหนดให้ช่วงตัดความถี่สูง (High Cutoff Frequency)  $10 \text{ kHz}$  และที่ช่วงตัดความถี่ต่ำ (Low Cutoff Frequency)  $1 \text{ kHz}$  และกำหนดอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 แล้วนำค่าที่ได้จากการออกแบบประกอบในแผงทดลอง โดยค่า  $R_L$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $10 \text{ k}\Omega$

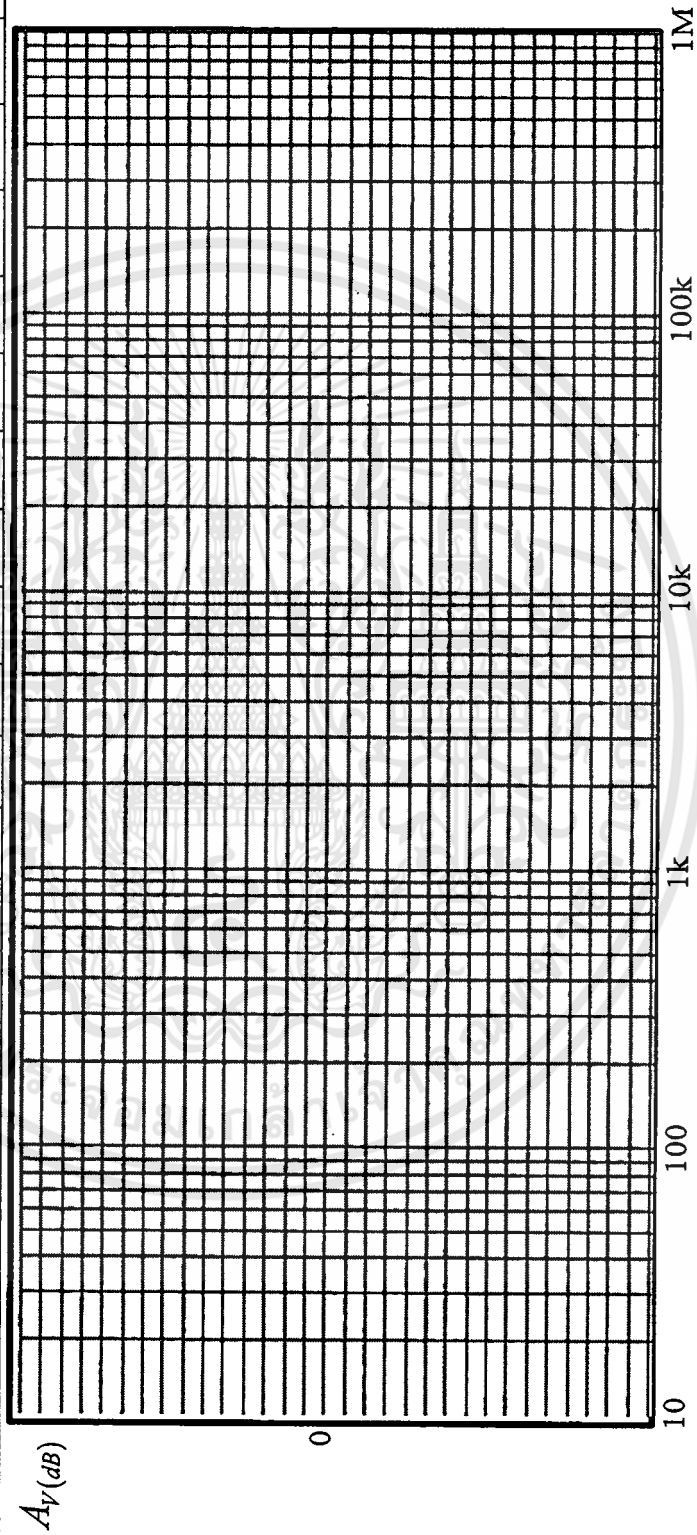
3. ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 1 โดยให้ขนาดของสัญญาณ คงที่  $1 V_{p-p}$  และป้อนเข้าที่  $V_{in}$  ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Pass Filter)

4. นำออสซิลโลสโคป Ch.1 วัดที่จุด  $V_{in}$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  ของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ (Band Stop Filter) พร้อมบันทึกค่าที่ได้ ลงในตารางที่ 1

5. นำค่า  $A_{V(dB)}$  ที่ได้ พล็อตลงบนกระดาษ semi log graph ที่กำหนดให้

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

ความถี่ ( $H_z$ )	50	100	200	400	600	800	1k	2k	4k	6k	8k	10k	20k	40k	60k	80k	100k	200k	400k	600k	800k	1M	
$V_i$																							
$V_o$																							
$A_v$																							
$A_v(dB)$																							



### คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองจงอธิบายคุณลักษณะของวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่

.....

.....

.....

2. จงอธิบายขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่

.....

.....

.....

3. หากกำหนดให้วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ มีช่วงตัดความถี่สูง ( $f_H$ )  $1kHz$  และที่ช่วงตัดความถี่ต่ำ ( $f_L$ )  $500Hz$  จงคำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนท์  $f_r$  (Resonant Frequency), แบนด์วิดท์  $BW$ , ประสิทธิภาพของวงจร  $Q$  (Quality factor)

.....

.....

.....

4. หากวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน มีอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 และแรงดันอินพุต ( $V_{in}$ ) =  $1V_{p-p}$  จงหาแรงดันที่เอาต์พุต

.....

.....

.....

5. จากการทดลองความต้านทาน  $R_2$  และ ตัวเก็บประจุ  $C_1$  ในวงจรทำหน้าที่อะไร

.....

.....

.....



## ใบงานที่ 5

### วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass Filters)

#### จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกคุณลักษณะของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน
2. เขียนกราฟการตอบสนองของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน
3. ออกแบบและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองทุกความถี่ผ่าน
4. ประกอบอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. แผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอกทิฟ | 1 | แผง     |
| 2. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ             | 1 | เครื่อง |
| 3. Function Generator พร้อมสายสัญญาณ          | 1 | เครื่อง |
| 4. ตัวต้านทาน                                 |   |         |
| 5. ตัวเก็บประจุ                               |   |         |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

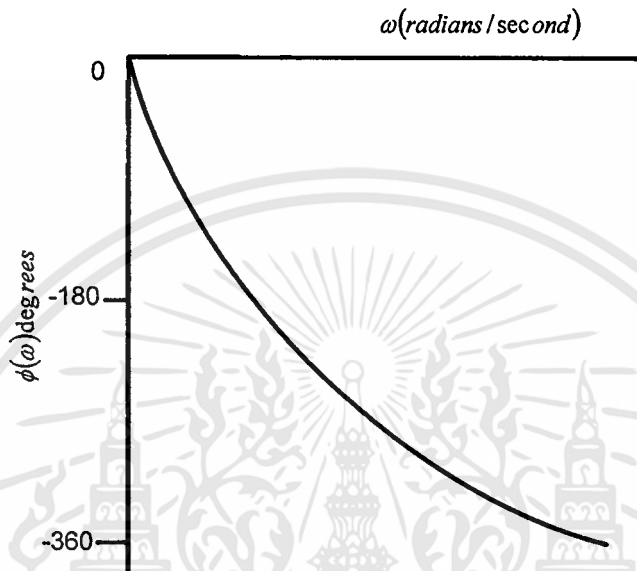
วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (all pass filter) หรือ phase – shift filter เป็นวงจรกรองความถี่ที่มีคุณสมบัติในอินที่จะยอมให้สัญญาณทุกความถี่ผ่านไปได้โดยเท่าเทียมกันตลอด ในขณะที่เดียวกันจะทำการเปลี่ยนหรือเลื่อนเฟสของความถี่ทั้งหลายไปด้วยค่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่ง ถ้าจำนวนนั้นที่เรากำหนดไว้เป็นค่าลบเหมือนกับมีการหน่วงสัญญาณความถี่ด้วยช่วงเวลาหนึ่ง ขณะที่สัญญาณเหล่านี้ผ่านความถี่ชนิดนี้ ฉะนั้นวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (all pass filter) นี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่า วงจรไทม์ ดีเลย์ (Time – delay circuit) หรือวงจรหน่วงเวลา เฟสที่เลื่อนไปหรือเวลาที่หน่วงออกไป จะแปรเปลี่ยนไปตามความถี่ในขณะที่ค่าแอมพลิจูดหรือขนาดของสัญญาณยังคงมีค่าคงที่เท่าเทียมกัน ไปตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน

สำหรับผลการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณสำหรับวงจรผ่านทุกแถบความถี่นั้น ในทางอุดมคติจะมีค่าแอมพลิจูดคงที่ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด แต่ในทางปฏิบัติจริงแล้วสามารถทำได้มีค่าเกือบคงที่ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งานเช่นกัน ส่วนผลการตอบสนองเชิงมุมหรือเฟส (Phase response) นั้น โดยทั่วไปมีลักษณะดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการพล็อตที่  $0^\circ \geq \phi \geq -360^\circ$  ในรูปที่ 2 แสดงรูปคลื่นทางเอาท์พุทตามหลังรูปคลื่นทางอินพุทเท่ากับ  $\phi_0$  องศา (หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือรูปคลื่นทางเอาท์พุทนำหน้ารูปคลื่นอินพุทอยู่  $360^\circ - \phi_0$  องศา) และถ้าเราพล็อตบนแกนเวลา

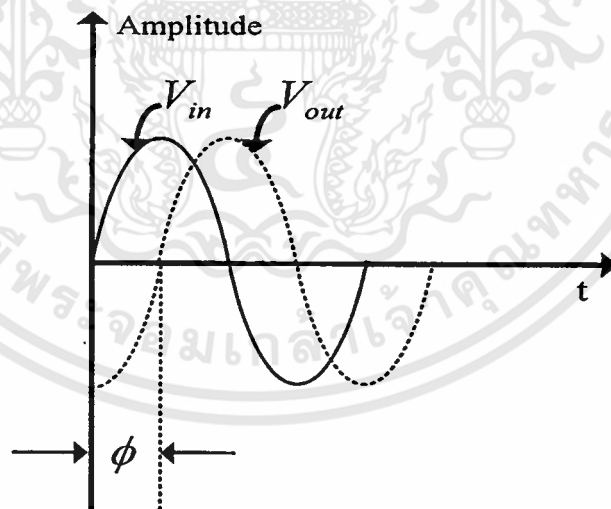
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือแทนแกน ( $t$ ) ผลต่างระหว่างจุดใด ๆ ที่ห่างกัน 1 คาบเวลา (1 period) ก็คือ ค่าหน่วยเวลาใน  
 ใบบางนี้จะนำเสนอวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ 2 ชนิดด้วยกันคือ

- กรณี  $V_o$  ล้าหลัง  $V_{in}$
- กรณี  $V_o$  นำหน้า  $V_{in}$

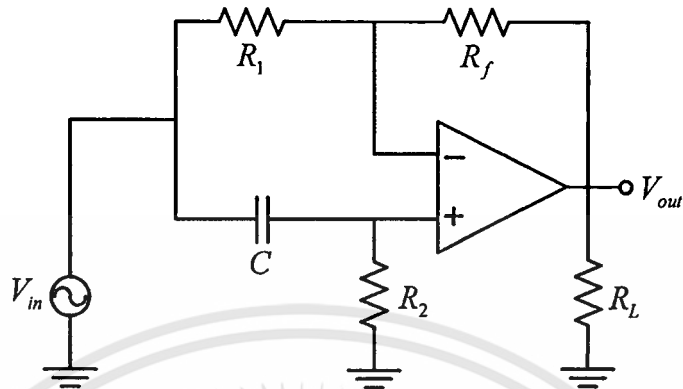


รูปที่ 1 แสดงการตอบสนองเชิงเฟสของวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่



รูปที่ 2 การตอบสนองของวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่

วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass Filters) (กรณี  $V_o$  ถัดหลัง  $V_{in}$ )



รูปที่ 3 วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All-Pass Filter) กรณี  $v_o$  ถัดหลัง  $v_{in}$

พารามิเตอร์ที่สำคัญ

กรณี  $V_o$  ถัดหลัง  $V_{in}$

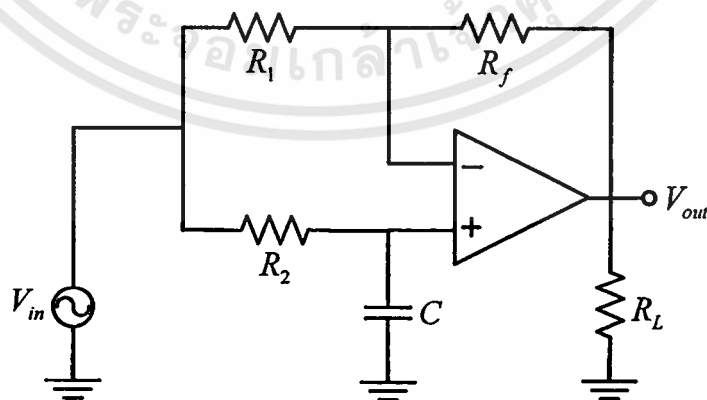
$$AV = \frac{|V_o|}{|V_{in}|} = \frac{\sqrt{1+(2\pi fR_2C)}}{\sqrt{1+(2\pi fR_2C)}} = 1$$

$$\phi = -2 \tan^{-1}(2\pi fR_2C)$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}}$  = อัตราการขยายแรงดันของวงจร

$\phi$  = การเลื่อนเฟสระหว่างเอาต์พุต ( $V_o$ ) เทียบกับอินพุต ( $V_{in}$ )

วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass Filters) (กรณี  $V_o$  นำหน้า  $V_{in}$ )



(ข)

รูปที่ 4 วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All-Pass Filter) กรณี  $v_o$  นำหน้า  $v_{in}$

## พารามิเตอร์ที่สำคัญ

กรณี  $V_o$  นำหน้า  $V_{in}$ 

$$AV = \frac{|V_o|}{|V_{in}|} = \frac{\sqrt{1 + (2\pi f R_2 C)^2}}{\sqrt{1 + (2\pi f R_2 C)^2}} = 1$$

$$\phi = 180^\circ - 2 \tan^{-1}(2\pi f R_2 C)$$

เมื่อ  $AV = \frac{V_o}{V_{in}} =$  อัตราการขยายแรงดันของวงจร $\phi =$  การเลื่อนเฟสระหว่างเอาต์พุต ( $V_o$ ) เทียบกับอินพุต ( $V_{in}$ )

## ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าการเลื่อนเฟส ( $\phi$ ) ระหว่างเอาต์พุต ( $V_o$ ) เทียบกับอินพุต ( $V_{in}$ )
2. เลือกค่าสัญญาณความถี่อินพุต (Frequency Input)
3. เลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C = \frac{10}{f}$
4. กรณี  $\phi > 0$  หรือ  $V_o$  นำหน้า  $V_{in}$

$$R_2 = \frac{\tan\left(\frac{180^\circ - \phi}{2}\right)}{2\pi f C_2}$$

กรณี  $\phi < 0$  หรือ  $V_o$  ล้าหลัง  $V_{in}$ 

$$R_2 = \frac{\tan\left(\frac{-\phi}{2}\right)}{2\pi f C_2}$$

## ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 1 ออกแบบวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All-Pass Filter) ที่  $V_o$  มีเฟส เมื่อเทียบกับ  $V_{in} = -90^\circ$  ที่สัญญาณความถี่อินพุต (Frequency Input) =  $1000 \text{ Hz}$

- วิธีทำ
1. ค่าการเลื่อนเฟส  $\phi = -90^\circ$
  2. ค่าสัญญาณความถี่อินพุต  $f = 1000 \text{ Hz}$
  3. เลือกค่าตัวเก็บประจุ Capacitor

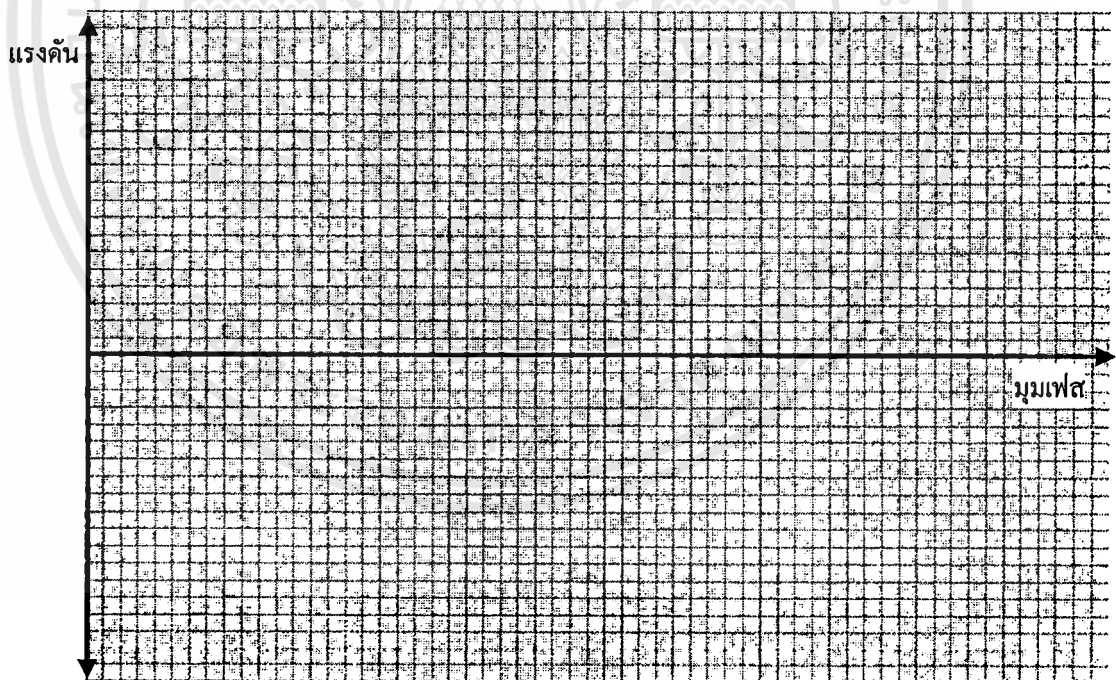
$$C = \frac{10}{1000} = 0.01 \mu\text{F}$$

4. จะเห็นว่า  $\phi < 0$  หรือ  $V_o$  ล้าหลัง  $V_{in}$

$$R_2 = \frac{\tan\left(\frac{-(-90^\circ)}{2}\right)}{(2\pi)(1000)(0.01 \times 10^{-6})} = 15.9 \text{ k}\Omega$$

## ลำดับขั้นการทดลอง

1. เตรียมแผงทดลองปฏิบัติการวงจรกรองความถี่แบบแอดทีฟ เครื่องออสซิลโลสโคป และเครื่องมือต่าง ๆ และอุปกรณ์ให้พร้อม และทำการทดลองในหน่วยที่ 5 คือวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass filter)
2. ออกแบบวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ โดยกำหนดให้มีเฟส เมื่อเทียบกับ  $V_{in} = 90^\circ$  ที่สัญญาณความถี่อินพุต (Frequency Input) =  $1000\text{ Hz}$  และนำค่าที่ได้จากการออกแบบประกอบในแผงทดลอง (หากเป็นกรณี  $v_o$  ล้าหลัง  $v_{in}$  (รูปล่าง) และหากเป็นกรณี  $v_o$  นำหน้า  $v_{in}$  (รูปบน) )
3. ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่อินพุต (Frequency Input) เท่ากับ  $1000\text{ Hz}$  โดยให้ขนาดของสัญญาณ คงที่  $1\text{ V}_{p-p}$  และป้อนเข้าที่  $V_{in}$  ของวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass filter)
4. นำออสซิลโลสโคป Ch.1 วัดที่จุด  $V_{in}$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  ของวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass filter)
5. เปรียบเทียบเฟสระหว่าง Ch.1 วัดที่จุด  $V_{in}$  และ Ch.2 วัดที่จุด  $V_o$  และสังเกตความต่างเฟสของ  $V_{in}$  และ  $V_o$  แล้ววาดรูปคลื่นแสดงความสัมพันธ์ทางเฟสลงบนกราฟโดยกำหนดให้  $V_{in}$  เป็นสัญญาณอ้างอิง



6. จากการเปรียบเทียบเฟส  $V_{in}$  และ  $V_o$  สัญญาณที่วัดได้มีความต่างเฟส อยู่ = ..... องศา และจากการคำนวณสัญญาณมีความต่างเฟส = ..... องศา

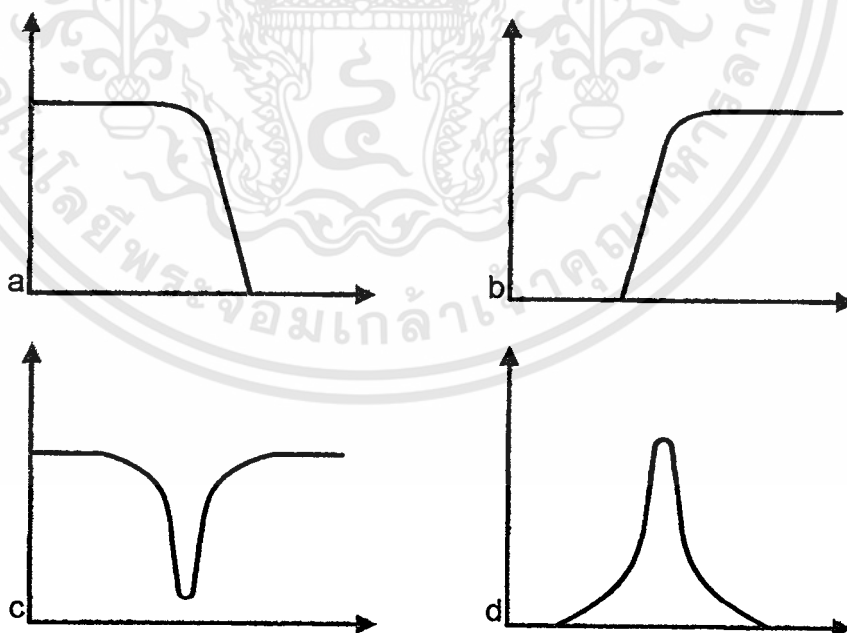


## แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน

### เรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

คำสั่ง ให้ตอบคำถามทั้งหมด 10 ข้อ เวลา 15 นาที โดยเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว  
กาลงในกระดาษคำตอบ

1. คุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ตรงกับข้อใด
  - ก. ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่ต่ำกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าสูงกว่า  $f_c$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ข. ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่สูงกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าต่ำกว่า  $f_c$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ค. จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ในย่านที่กำหนด ( $f_L - f_H$ ) หรือต้องการเท่านั้นผ่านไปได้ นอกนั้นจะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ง. สัญญาณในย่านความถี่ที่ไม่ต้องการ ( $f_L - f_H$ ) จะถูกกำจัดหรือลดทอนสัญญาณลง นอกนั้นสามารถผ่านวงจรไปได้
2. ข้อใดคือรูปกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านบน Semi log Graph



ก. รูป a

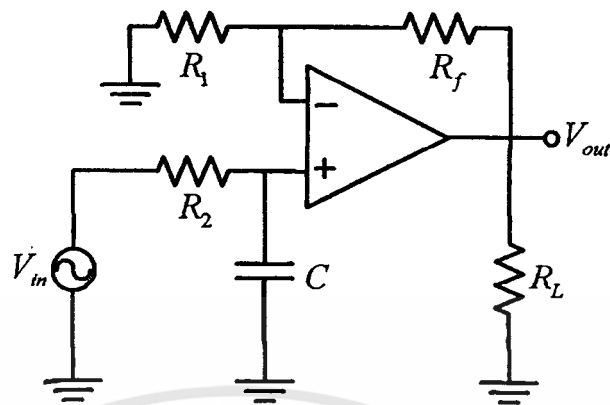
ข. รูป b

ค. รูป c

ง. รูป d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 1 จงตอบคำถามข้อ 3-7



รูปที่ 1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 1

3. จากรูปที่ 1 ถ้า  $R_2 = 10k\Omega$  และ  $C = 0.015\mu F$  ค่าช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency) จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $960H_z$	ข. $1061H_z$
ค. $1161H_z$	ง. $1261H_z$
4. จากรูปที่ 1 ถ้าต้องการอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 โดยที่  $R_f = 10k\Omega$   $R_1$  จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $100\Omega$	ข. $1k\Omega$
ค. $10k\Omega$	ง. $100k\Omega$
5. จากข้อที่ 4 ถ้า  $V_i = 200mV$  ค่า  $V_o$  จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $400mV$	ข. $410mV$
ค. $420mV$	ง. $430mV$
6. จากข้อที่ 5 อัตราขยายแรงดันจะมีค่าเท่าไร
 

ก. 1 เท่า	ข. 2 เท่า
ค. 3 เท่า	ง. 4 เท่า
7. จากข้อที่ 6 จงหาค่าอัตราขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ในรูปของเดซิเบล จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $0dB$	ข. $6dB$
ค. $9dB$	ง. $12dB$

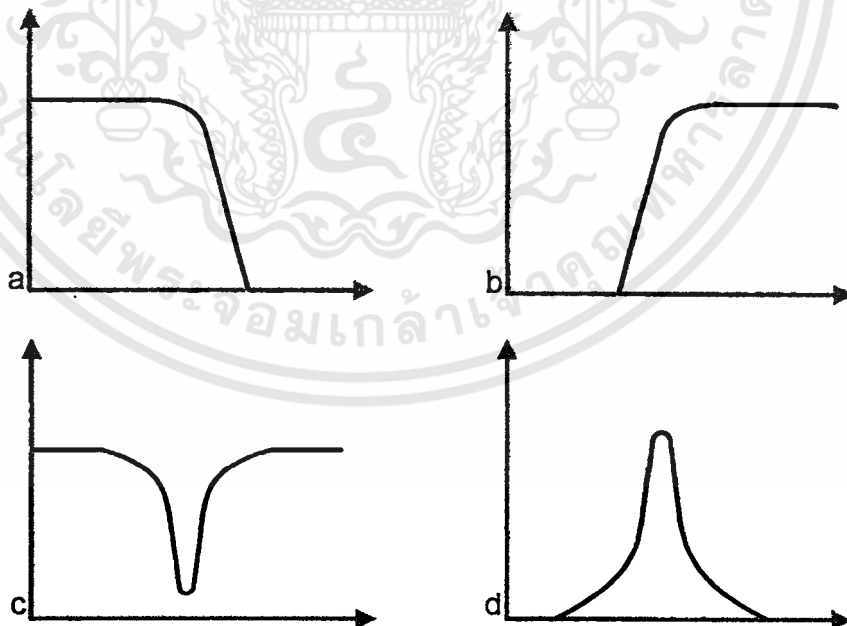


## แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน

### เรื่องวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

คำสั่ง ให้ตอบคำถามทั้งหมด 10 ข้อ เวลา 15 นาที โดยเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว  
กาลงในกระดาษคำตอบ

1. คุณลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ตรงกับข้อใด
  - ก. ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่ต่ำกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าสูงกว่า  $f_c$  จะถูกกลดทอนสัญญาณลง
  - ข. ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่สูงกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าต่ำกว่า  $f_c$  จะถูกกลดทอนสัญญาณลง
  - ค. จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ในย่านที่กำหนด ( $f_L - f_H$ ) หรือต้องการเท่านั้นผ่านไปได้ นอกนั้นจะถูกกลดทอนสัญญาณลง
  - ง. สัญญาณในย่านความถี่ที่ไม่ต้องการ ( $f_L - f_H$ ) จะถูกกำจัดหรือลดทอนสัญญาณลง นอกนั้นสามารถผ่านวงจรไปได้
2. ข้อใดคือรูปกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านบน Semi log Graph



ก. รูป a

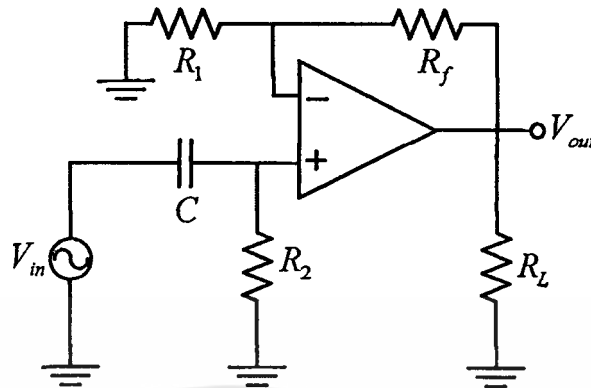
ข. รูป b

ค. รูป c

ง. รูป d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 1 จงตอบคำถามข้อ 3-7



รูปที่ 1 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 1

3. จากรูปที่ 1 ถ้า  $R_2 = 10k\Omega$  และ  $C = 0.015\mu F$  ค่าช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency) จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $960H_z$	ข. $1061H_z$
ค. $1161H_z$	ง. $1261H_z$
4. จากรูปที่ 1 ถ้าต้องการอัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 โดยที่  $R_f = 10k\Omega$   $R_1$  จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $100\Omega$	ข. $1k\Omega$
ค. $10k\Omega$	ง. $100k\Omega$
5. จากข้อที่ 4 ถ้า  $V_i = 200mV$  ค่า  $V_o$  จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $400mV$	ข. $410mV$
ค. $420mV$	ง. $430mV$
6. จากข้อที่ 5 อัตราการขยายแรงดันจะมีค่าเท่าไร
 

ก. 1 เท่า	ข. 2 เท่า
ค. 3 เท่า	ง. 4 เท่า
7. จากข้อที่ 6 จงหาค่าอัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ในรูปของเดซิเบล จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $0dB$	ข. $6dB$
ค. $9dB$	ง. $12dB$

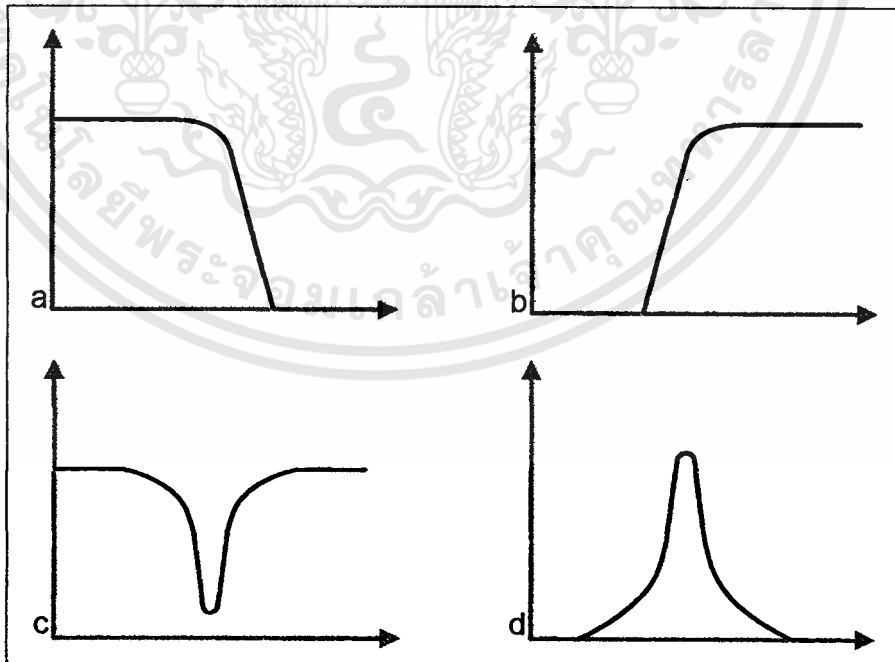


## แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน

### เรื่องวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)

คำสั่ง ให้ตอบคำถามทั้งหมด 10 ข้อ เวลา 15 นาที โดยเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว  
กาลงในกระดาษคำตอบ

1. คุณลักษณะของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter) ตรงกับข้อใด
  - ก. ส่งผ่านสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าสูงกว่า  $f_c$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ข. ส่งผ่านสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าต่ำกว่า  $f_c$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ค. จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ในย่านที่กำหนด ( $f_L - f_H$ ) หรือต้องการเท่านั้นผ่านไปได้ นอกนั้นจะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ง. สัญญาณในย่านความถี่ที่ไม่ต้องการ ( $f_L - f_H$ ) จะถูกกำจัดหรือลดทอนสัญญาณลง นอกนั้นสามารถผ่านวงจรไปได้
2. ข้อใดคือรูปกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่านบน Semi log Graph



ก. รูป a

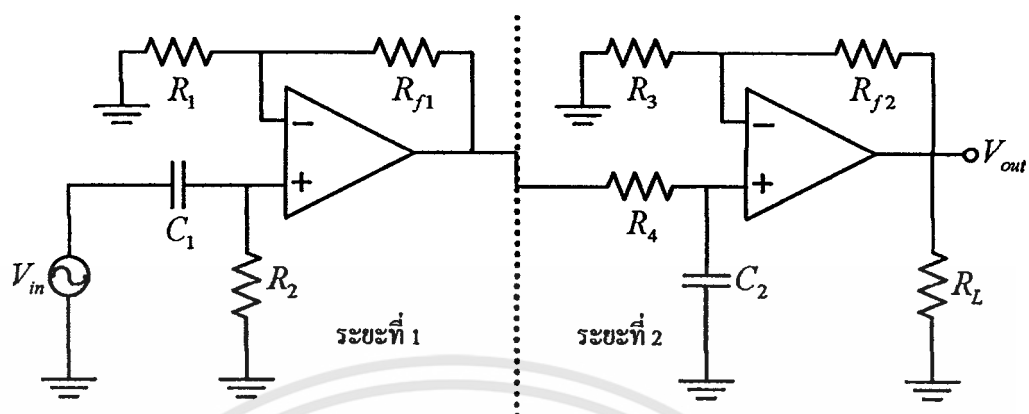
ข. รูป b

ค. รูป c

ง. รูป d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 1 จงตอบคำถามข้อ 3-6



รูปที่ 1 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน

3. จากรูปที่ 1 ถ้า  $C_1 = 0.05 \mu F$  และ  $R_2 = 15.9 k\Omega$  ค่าช่วงตัดความถี่ต่ำ ( $f_L$ ) จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $100 H_z$	ข. $200 H_z$
ค. $300 H_z$	ง. $400 H_z$
4. จากรูปที่ 1 ถ้า  $C_2 = 0.01 \mu F$  และ  $R_4 = 15.9 k\Omega$  ค่าช่วงตัดความถี่สูง ( $f_H$ ) จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $1 kH_z$	ข. $2 kH_z$
ค. $3 kH_z$	ง. $4 kH_z$
5. จากรูปที่ 1 ในระยะที่ 1 หากว่า  $R_1 = 10 k\Omega$  และ  $R_{f1} = 10 k\Omega$  อัตราการขยายช่วงผ่าน ( $A_{F1}$ ) ของวงจรจะมีค่าเท่าไร
 

ก. 1 เท่า	ข. 2 เท่า
ค. 3 เท่า	ง. 4 เท่า
6. จากรูปที่ 1 ในระยะที่ 2 หากว่า  $R_3 = 10 k\Omega$  และ  $R_{f2} = 10 k\Omega$  อัตราการขยายช่วงผ่าน ( $A_{F2}$ ) ของวงจรจะมีค่าเท่าไร
 

ก. 1 เท่า	ข. 2 เท่า
ค. 3 เท่า	ง. 4 เท่า
7. จากข้อที่ 5 และ 6 อัตราการขยายช่วงผ่านของวงจรรวม ( $A_{FT}$ ) จะมีค่าเท่าไร
 

ก. 1 เท่า	ข. 2 เท่า
ค. 3 เท่า	ง. 4 เท่า

8. จากข้อที่ 1 และ 2 ค่าความถี่เรโซแนนท์ ( $f_r$ ) มีค่าเท่าไร
- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| ก. $417.213H_z$ | ข. $427.213H_z$ |
| ค. $437.213H_z$ | ง. $447.213H_z$ |
9. จากข้อที่ 1 และ 2 ค่าแถบความถี่ที่ต้องการให้ผ่าน (*Band Width*) มีค่าเท่าไร
- |             |             |
|-------------|-------------|
| ก. $700H_z$ | ข. $750H_z$ |
| ค. $800H_z$ | ง. $850H_z$ |
10. จากข้อที่ 8 และ 9 ค่าประสิทธิภาพของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ผ่าน (*Quality factor*) มีค่าเท่าไร
- |         |         |
|---------|---------|
| ก. 0.35 | ข. 0.55 |
| ค. 0.75 | ง. 0.95 |

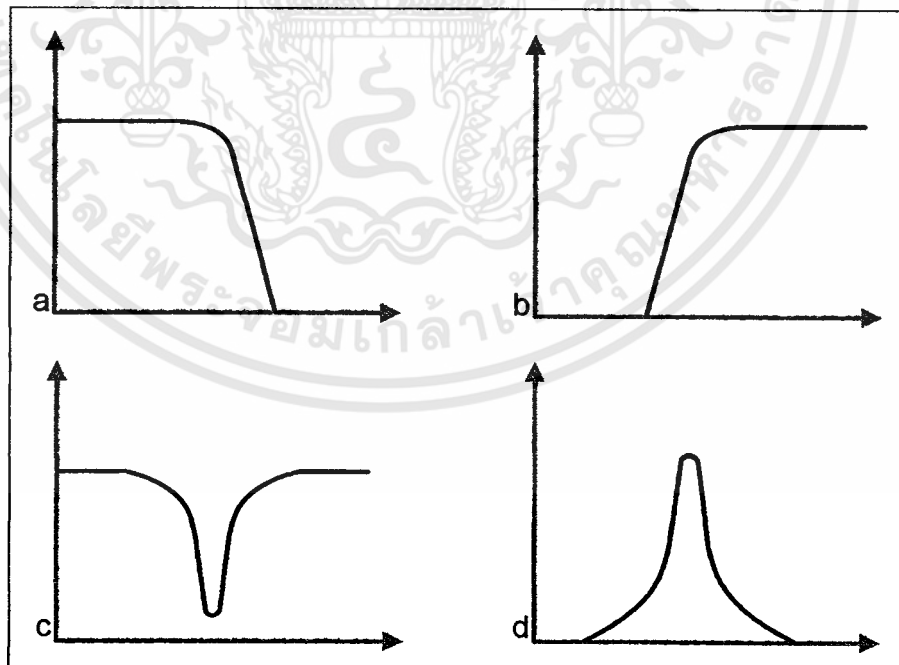


## แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน

### เรื่องวงจรกรองขจัดแถบความถี่ (Band Stop Filter)

คำสั่ง ให้ตอบคำถามทั้งหมด 10 ข้อ เวลา 15 นาที โดยเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว  
กาลงในกระดาษคำตอบ

1. คุณลักษณะของวงจรกรองขจัดแถบความถี่ (Band Stop Filter) ตรงกับข้อใด
  - ก. ส่งผ่านสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าสูงกว่า  $f_c$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ข. ส่งผ่านสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าต่ำกว่า  $f_c$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ค. จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ในย่านที่กำหนด ( $f_L - f_H$ ) หรือต้องการเท่านั้นผ่านไปได้ นอกนั้นจะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ง. สัญญาณในย่านความถี่ที่ไม่ต้องการ ( $f_L - f_H$ ) จะถูกกำจัดหรือลดทอนสัญญาณลง นอกนั้นสามารถผ่านวงจรไปได้
  
2. ข้อใดคือรูปกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองขจัดแถบความถี่บน Semi log Graph



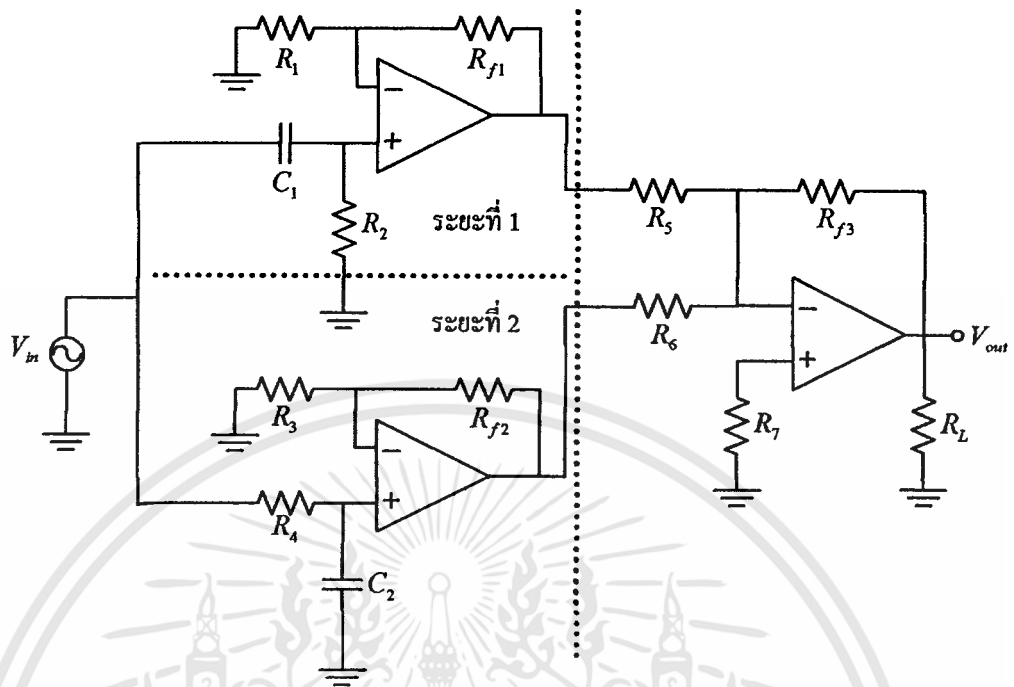
ก. รูป a

ข. รูป b

ค. รูป c

ง. รูป d

จากวงจรรูปที่ 1 จงตอบคำถามข้อ 3-6



รูปที่ 1 วงจรกรองขจัดแถบความถี่

3. จากรูปที่ 1 ถ้า  $C_1 = 0.05 \mu F$  และ  $R_2 = 15.9 k\Omega$  ค่าช่วงตัดความถี่ต่ำ ( $f_L$ ) จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $100 H_z$	ข. $200 H_z$
ค. $300 H_z$	ง. $400 H_z$
4. จากรูปที่ 1 ถ้า  $C_2 = 0.01 \mu F$  และ  $R_4 = 15.9 k\Omega$  ค่าช่วงตัดความถี่สูง ( $f_H$ ) จะมีค่าเท่าไร
 

ก. $1 kH_z$	ข. $2 kH_z$
ค. $3 kH_z$	ง. $4 kH_z$
5. จากรูปที่ 1 ในระยะที่ 1 หากว่า  $R_1 = 10 k\Omega$  และ  $R_{f1} = 10 k\Omega$  อัตราการขยายช่วงผ่าน ( $A_{F1}$ ) ของวงจรจะมีค่าเท่าไร
 

ก. 1 เท่า	ข. 2 เท่า
ค. 3 เท่า	ง. 4 เท่า
6. จากรูปที่ 1 ในระยะที่ 2 หากว่า  $R_3 = 10 k\Omega$  และ  $R_{f2} = 10 k\Omega$  อัตราการขยายช่วงผ่าน ( $A_{F2}$ ) ของวงจรจะมีค่าเท่าไร
 

ก. 1 เท่า	ข. 2 เท่า
ค. 3 เท่า	ง. 4 เท่า

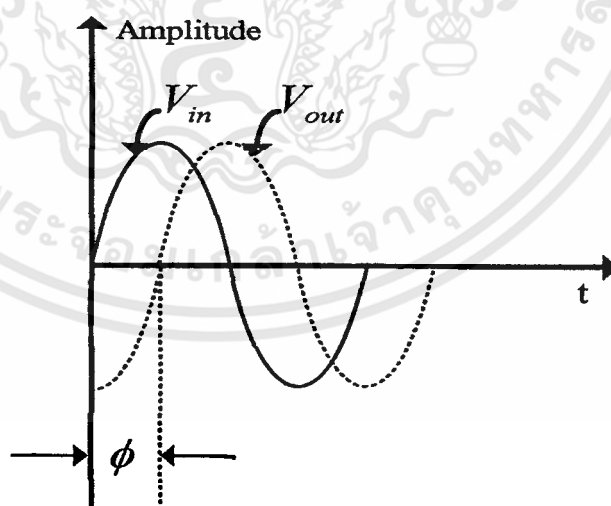


## แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนท้ายใบงาน

### เรื่องวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass Filter)

คำสั่ง ให้ตอบคำถามทั้งหมด 5 ข้อ เวลา 8 นาที โดยเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว  
กาลงในกระดาษคำตอบ

1. คุณลักษณะของวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (All Pass Filter) ตรงกับข้อใด
  - ก. ส่งผ่านสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าค่า  $f_c$  ที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าสูงกว่า  $f_c$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ข. จะยอมให้สัญญาณทุกความถี่ผ่านไปได้โดยเท่าเทียมกันตลอด ในขณะเดียวกันจะทำการเปลี่ยนหรือเลื่อนเฟสของความถี่ทั้งหลายไปด้วยค่าที่กำหนดไว้
  - ค. จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ในย่านที่กำหนด ( $f_L - f_H$ ) หรือต้องการเท่านั้นผ่านไปได้ นอกนั้นจะถูกลดทอนสัญญาณลง
  - ง. สัญญาณ ในย่านความถี่ที่ไม่ต้องการ ( $f_L - f_H$ ) จะถูกกำจัดหรือลดทอนสัญญาณลง นอกนั้นสามารถผ่านวงจรไปได้
2. จากรูปกราฟการตอบสนองตรงกับกรณีใด



ก. กรณี  $V_{out}$  ล้าหลัง  $V_{in}$

ค. กรณี  $V_{out}$  นำหน้า  $V_{in}$

ข. กรณี  $V_{in}$  ล้าหลัง  $V_{out}$

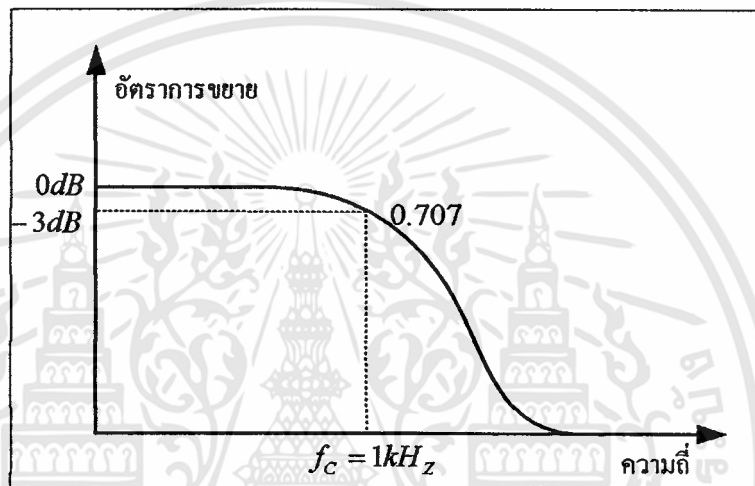
ง. กรณี  $V_{in}$  เท่ากับ  $V_{out}$



## แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรวม หน่วยวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ

คำสั่ง ให้ตอบคำถามทั้งหมด 45 ข้อ เวลา 70 นาที โดยเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว  
กาลงในกระดาษคำตอบ

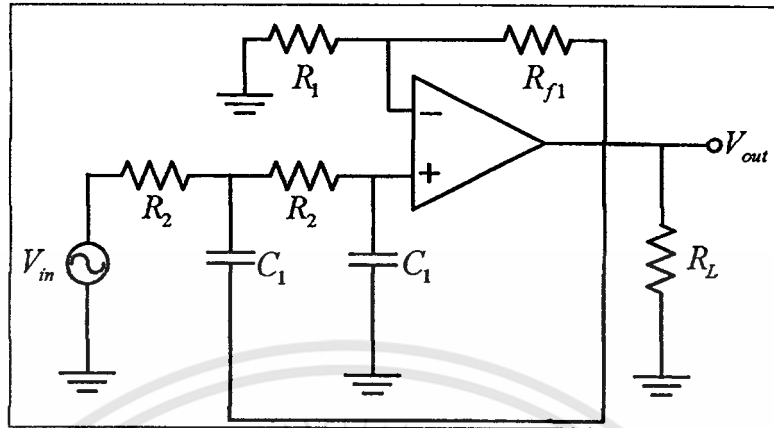
- ข้อใดบอกความหมายของกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ บน Semi log Graph ได้อย่างถูกต้อง



- เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $-3dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
  - เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $-3dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
  - เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $0dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
  - เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $0dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
- ข้อใดคือคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่มีค่า  $f_c$  เท่ากับ  $1MHz$ 
    - ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่ต่ำกว่า  $1MHz$  ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าสูงกว่า  $1MHz$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
    - ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่สูงกว่า  $1MHz$  ผ่านไปได้ทั้งหมดแต่ถ้าต่ำกว่า  $1MHz$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง



จากรูปที่ 2 จงตอบคำถามข้อ 6-9

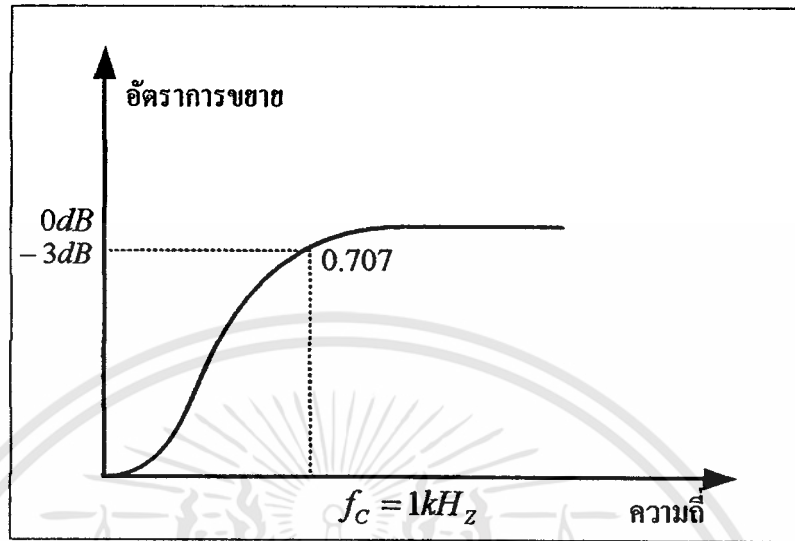


รูปที่ 2

6. จากรูปที่ 2 คือวงจรกรองความถี่แบบใด
- ก. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 1      ข. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 1  
ค. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 2      ง. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 2
7. จากรูปที่ 2 หากต้องการช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency) ที่  $10\text{kHz}$  ค่าตัวเก็บประจุ  $C$  จะมีค่าเท่าไร
- ก.  $0.1\mu\text{F}$       ข.  $0.01\mu\text{F}$   
ค.  $0.001\mu\text{F}$       ง.  $0.0001\mu\text{F}$
8. จากข้อที่ 7 ความต้านทาน  $R_2$  ในวงจรจะมีค่าเท่าไร
- ก.  $159\Omega$       ข.  $1.59\text{k}\Omega$   
ค.  $15.9\text{k}\Omega$       ง.  $159\text{k}\Omega$
9. จากรูปที่ 2 ถ้าต้องการอัตราขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 โดยที่  $R_f = 10\text{k}\Omega$   $R_1$  จะมีค่าเท่าไร
- ก.  $100\Omega$       ข.  $1\text{k}\Omega$   
ค.  $10\text{k}\Omega$       ง.  $100\text{k}\Omega$
10. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 มีการเปลี่ยนแปลงอัตราขยายแรงดันหลังค่าช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency) เป็นอย่างไร
- ก. เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา  $20\text{dB/decade}$       ข. เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา  $40\text{dB/decade}$   
ค. ลดลงด้วยอัตรา  $-20\text{dB/decade}$       ง. ลดลงด้วยอัตรา  $-40\text{dB/decade}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

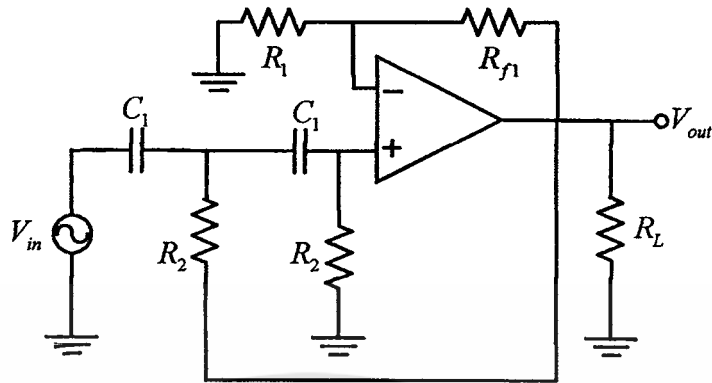
11. ข้อใดบอกความหมายของกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ บน Semi log Graph ได้อย่างถูกต้อง



- ก. เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $-3dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
- ข. เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $-3dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
- ค. เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $0dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
- ง. เป็นกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน มีช่วงตัดความถี่ที่  $1kHz$  และมีอัตราขยายเท่ากับ  $0dB$  ที่ตำแหน่ง  $f_c$
12. ข้อใดคือคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงผ่านที่มีค่า  $f_c$  เท่ากับ  $1MHz$
- ก. ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่ต่ำกว่า  $1MHz$  ผ่านไปได้ทั้งหมด แต่ถ้าสูงกว่า  $1MHz$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
- ข. ส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่สูงกว่า  $1MHz$  ผ่านไปได้ทั้งหมด แต่ถ้าต่ำกว่า  $1MHz$  จะถูกลดทอนสัญญาณลง
- ค. จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่  $500kHz - 1.5MHz$  ผ่านไปได้ นอกนั้นจะถูกลดทอนสัญญาณลง
- ง. สัญญาณ ในย่านความถี่  $500kHz - 1.5MHz$  จะถูกกำจัดหรือลดทอนสัญญาณลง นอกนั้นสามารถผ่านวงจรไปได้



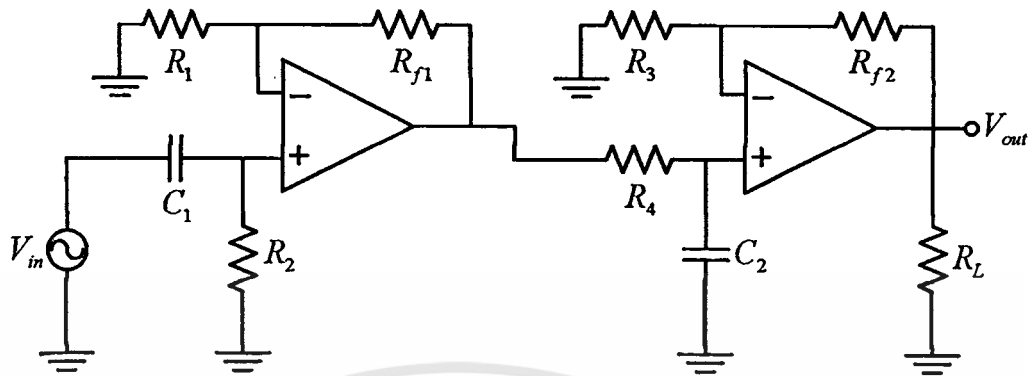
จากรูปที่ 4 จงตอบคำถามข้อ 16-19



รูปที่ 4

16. จากรูปที่ 4 คือวงจรกรองความถี่แบบใด
- ก. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 1      ข. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 1
- ค. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 2      ง. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 2
17. จากรูปที่ 4 หากต้องการช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency) ที่  $10\text{kHz}$  ค่าตัวเก็บประจุ  $C$  จะมีค่าเท่าไร
- ก.  $0.1\mu\text{F}$       ข.  $0.01\mu\text{F}$
- ค.  $0.001\mu\text{F}$       ง.  $0.0001\mu\text{F}$
18. จากข้อที่ 17 ความต้านทาน  $R_2$  ในวงจรจะมีค่าเท่าไร
- ก.  $159\Omega$       ข.  $1.59\text{k}\Omega$
- ค.  $15.9\text{k}\Omega$       ง.  $159\text{k}\Omega$
19. จากรูปที่ 4 ถ้าต้องการอัตราการขยายช่วงผ่านของวงจร (Pass Band Gain) = 2 โดยที่  $R_f = 10\text{k}\Omega$   $R_1$  จะมีค่าเท่าไร
- ก.  $100\Omega$       ข.  $1\text{k}\Omega$
- ค.  $10\text{k}\Omega$       ง.  $100\text{k}\Omega$
20. วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับ 2 มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายแรงดันหลังค่าช่วงตัดความถี่ (Cutoff Frequency) เป็นอย่างไร
- ก. เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา  $20\text{dB/decade}$       ข. เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา  $40\text{dB/decade}$
- ค. ลดลงด้วยอัตรา  $-20\text{dB/decade}$       ง. ลดลงด้วยอัตรา  $-40\text{dB/decade}$

21. จากรูปวงจรเป็นวงจรกรองความถี่แบบใด



- ก. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
- ข. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน
- ค. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน
- ง. วงจรกรองขจัดแถบความถี่

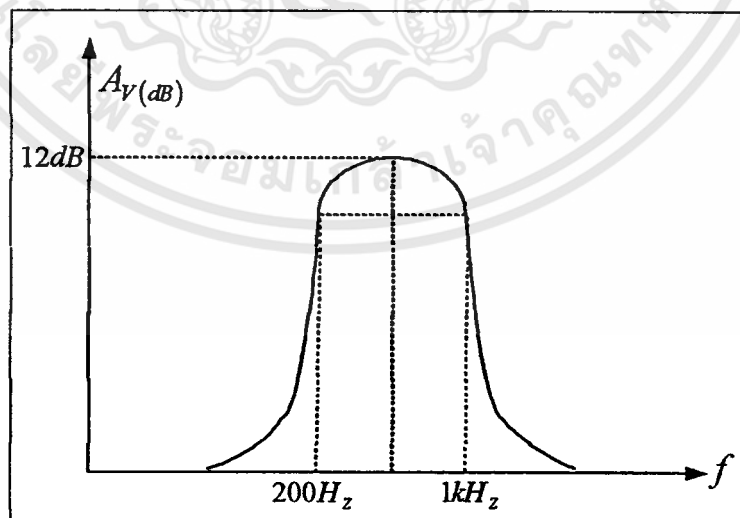
22. จากวงจรข้อที่ 21 ถ้า  $C_1 = 0.05 \mu F$  และ  $R_2 = 15.9 k\Omega$  ค่าช่วงตัดความถี่ต่ำ ( $f_L$ ) จะมีค่าประมาณเท่าไร

- ก.  $100 H_z$
- ข.  $200 H_z$
- ค.  $300 H_z$
- ง.  $400 H_z$

23. จากวงจรข้อที่ 21 ถ้า  $C_2 = 0.01 \mu F$  และ  $R_4 = 15.9 k\Omega$  ค่าช่วงตัดความถี่สูง ( $f_H$ ) จะมีค่าประมาณเท่าไร

- ก.  $1 kH_z$
- ข.  $2 kH_z$
- ค.  $3 kH_z$
- ง.  $4 kH_z$

24. จากรูปกราฟการตอบสนองความถี่ เป็นของวงจรกรองความถี่แบบใด



- ก. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
- ข. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน
- ค. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน
- ง. วงจรกรองขจัดแถบความถี่







ก. กรณี  $V_{Out}$  ล้าหลัง  $V_{in}$

ข. กรณี  $V_{in}$  ล้าหลัง  $V_{Out}$

ค. กรณี  $V_{Out}$  นำหน้า  $V_{in}$

ง. กรณี  $V_{in}$  เท่ากับ  $V_{Out}$

43. จากกราฟข้อที่ 42 อัตราการขยายแรงดันของวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ มีค่าเท่าไร

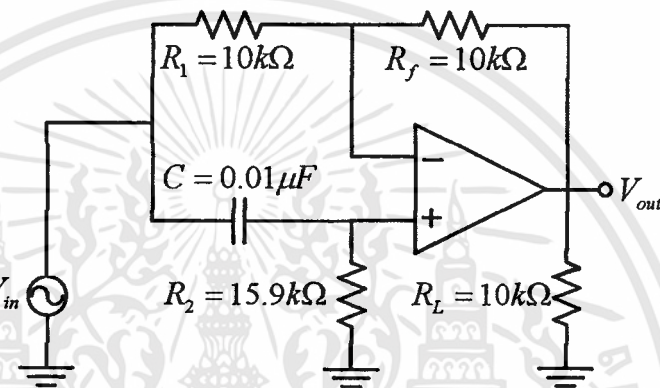
ก. 1 เท่า

ข. 2 เท่า

ค. 3 เท่า

ง. 4 เท่า

44. จากรูปวงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (กรณี  $V_{Out}$  ล้าหลัง  $V_{in}$ ) ที่ความถี่  $f = 1kHz$  จะมีความต่างเฟสเท่าไร



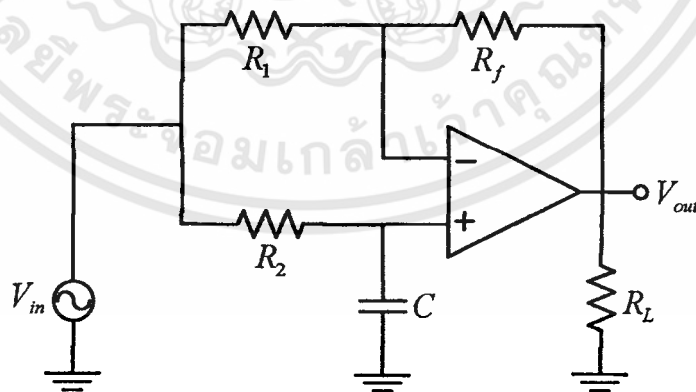
ก.  $45^\circ$

ข.  $-45^\circ$

ค.  $90^\circ$

ง.  $-90^\circ$

45. หากกำหนดให้วงจรกรองผ่านทุกแถบความถี่ (กรณี  $V_{Out}$  นำหน้า  $V_{in}$ ) มีค่า  $R_2 = 59k\Omega$  และค่า  $C = 0.01\mu F$  จะมีความต่างเฟสที่ความถี่  $f = 1kHz$  เท่าไร

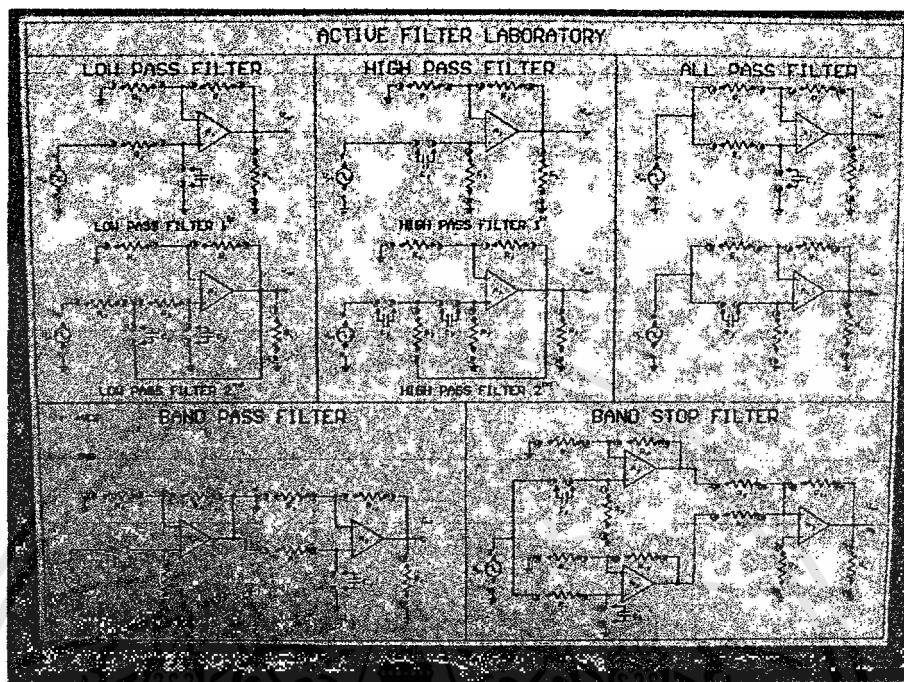


ก.  $45^\circ$

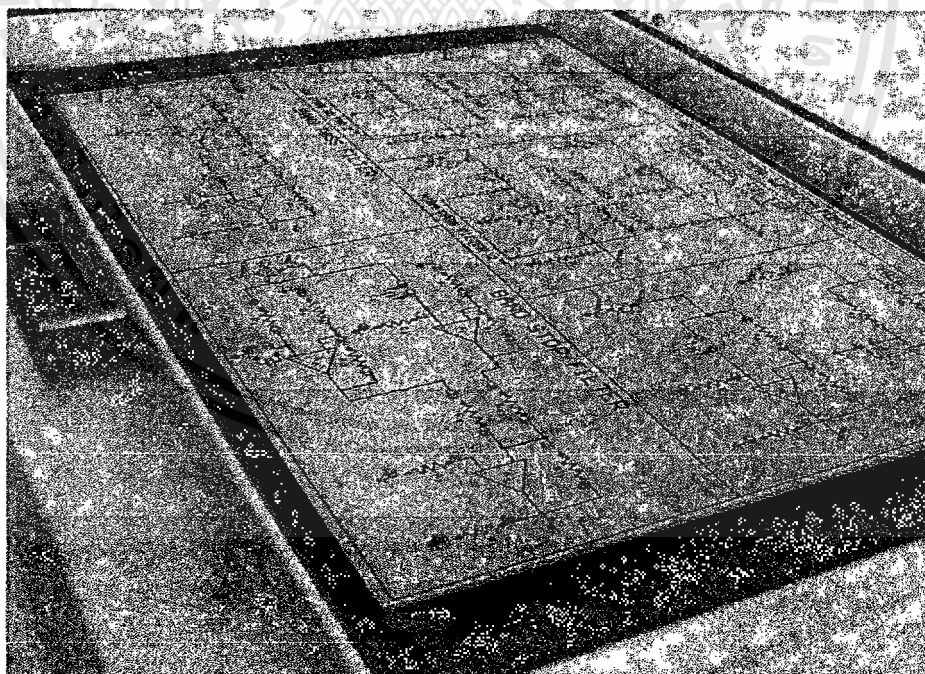
ข.  $-45^\circ$

ค.  $90^\circ$

ง.  $-90^\circ$



ภาพที่ 6.1 รูปแผงทดลองปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่วิทยุแบบพาสซีฟ (ด้านบน)



ภาพที่ 6.2 รูปแผงทดลองปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่วิทยุแบบพาสซีฟ (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

- ตารางแสดงค่าความยากง่าย P ค่าอำนาจจำแนก R
  - ตารางคะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่น
  - ตารางแสดงค่า IOC
  - ตารางคะแนนของแบบทดสอบท้ายการทดลอง และคะแนนจากแบบทดสอบรวม
- ใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง 15 คน

ตารางที่ 6.1 ค่าความยากง่าย  $p$  ค่าอำนาจจำแนก  $r$  ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 1 LPF.

ขั้นที่ 1	กลุ่มสูง ( $f_H$ )	กลุ่มต่ำ ( $f_L$ )	$p$	$r$
1	9	3	0.6	0.6
2	8	4	0.6	0.4
3	9	4	0.65	0.5
4	8	3	0.55	0.5
5	9	2	0.55	0.7
6	7	3	0.5	0.4
7	9	4	0.65	0.5
8	9	3	0.6	0.6
9	7	3	0.5	0.4
10	9	3	0.6	0.6

ตารางที่ 6.2 ค่าความยากง่าย  $p$  ค่าอำนาจจำแนก  $r$  ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 2 HPF.

ขั้นที่ 1	กลุ่มสูง ( $f_H$ )	กลุ่มต่ำ ( $f_L$ )	$p$	$r$
1	8	3	0.55	0.5
2	8	4	0.6	0.4
3	8	4	0.6	0.4
4	7	3	0.5	0.4
5	8	2	0.5	0.6
6	7	2	0.45	0.5
7	8	5	0.65	0.3
8	8	4	0.6	0.4
9	7	3	0.5	0.4
10	9	2	0.55	0.7

ตารางที่ 6.3 ค่าความยากง่าย  $p$  ค่าอำนาจจำแนก  $r$  ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 3 BPF.

ขั้นที่ 1	กลุ่มสูง ( $f_H$ )	กลุ่มต่ำ ( $f_L$ )	$p$	$r$
1	7	4	0.55	0.3
2	8	3	0.55	0.5
3	9	4	0.65	0.5
4	7	4	0.55	0.3
5	9	3	0.6	0.6
6	7	4	0.55	0.3
7	8	4	0.6	0.4
8	7	4	0.55	0.3
9	7	3	0.5	0.4
10	9	4	0.65	0.5

ตารางที่ 6.4 ค่าความยากง่าย  $p$  ค่าอำนาจจำแนก  $r$  ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 4 BSF.

ขั้นที่ 1	กลุ่มสูง ( $f_H$ )	กลุ่มต่ำ ( $f_L$ )	$p$	$r$
1	8	2	0.5	0.6
2	8	4	0.6	0.4
3	7	4	0.55	0.3
4	8	3	0.55	0.5
5	9	3	0.6	0.6
6	7	4	0.55	0.3
7	7	4	0.55	0.3
8	9	4	0.65	0.5
9	7	3	0.5	0.4
10	8	5	0.65	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ค่าความยากง่าย  $p$  ค่าอำนาจจำแนก  $r$  ของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 5 APF.

ขั้นที่ 1	กลุ่มสูง ( $f_H$ )	กลุ่มต่ำ ( $f_L$ )	$p$	$r$
1	8	4	0.6	0.4
2	7	4	0.55	0.3
3	6	4	0.5	0.2
4	9	4	0.65	0.5
5	9	2	0.55	0.7

ตารางที่ 6.6 ค่าความยากง่าย  $p$  ค่าอำนาจจำแนก  $r$  ของแบบทดสอบรวม

ขั้นที่ 1	กลุ่มสูง ( $f_H$ )	กลุ่มต่ำ ( $f_L$ )	$p$	$r$
1	8	3	0.55	0.5
2	8	4	0.6	0.4
3	8	4	0.6	0.4
4	7	3	0.5	0.4
5	8	2	0.5	0.6
6	7	2	0.45	0.5
7	8	5	0.65	0.3
8	8	4	0.6	0.4
9	7	3	0.5	0.4
10	9	2	0.55	0.7
11	9	3	0.6	0.6
12	8	4	0.6	0.4
13	9	4	0.65	0.5
14	8	3	0.55	0.5
15	9	2	0.55	0.7
16	7	3	0.5	0.4
17	9	4	0.65	0.5
18	9	3	0.6	0.6
19	7	3	0.5	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

ชั้นที่ 1	กลุ่มสูง ( $f_H$ )	กลุ่มต่ำ ( $f_L$ )	p	r
20	9	3	0.6	0.6
21	8	2	0.5	0.6
22	8	4	0.6	0.4
23	7	4	0.55	0.3
24	8	3	0.55	0.5
25	9	3	0.6	0.6
26	7	4	0.55	0.3
27	7	4	0.55	0.3
28	9	4	0.65	0.5
29	7	3	0.5	0.4
30	8	5	0.65	0.3
31	7	4	0.55	0.3
32	8	3	0.55	0.5
33	9	4	0.65	0.5
34	7	4	0.55	0.3
35	9	3	0.6	0.6
36	7	4	0.55	0.3
37	8	4	0.6	0.4
38	7	4	0.55	0.3
39	7	3	0.5	0.4
40	9	4	0.65	0.5
41	9	4	0.65	0.5
42	9	2	0.55	0.7
43	8	4	0.6	0.4
44	7	4	0.55	0.3
45	9	4	0.65	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 1

คนที่ 1	คะแนนเต็ม (10 คะแนน)	$\sum x^2$
1	10	100
2	9	81
3	6	36
4	9	81
5	7	49
6	6	36
7	9	81
8	9	81
9	9	81
10	10	100
11	1	1
12	4	16
13	3	9
14	4	16
15	4	16
16	4	16
17	2	4
18	3	9
19	3	9
20	4	16
	$\sum x = 116$	$\sum x^2 = 838$

หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ ใช้สูตร KR - 20

$$rtt = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

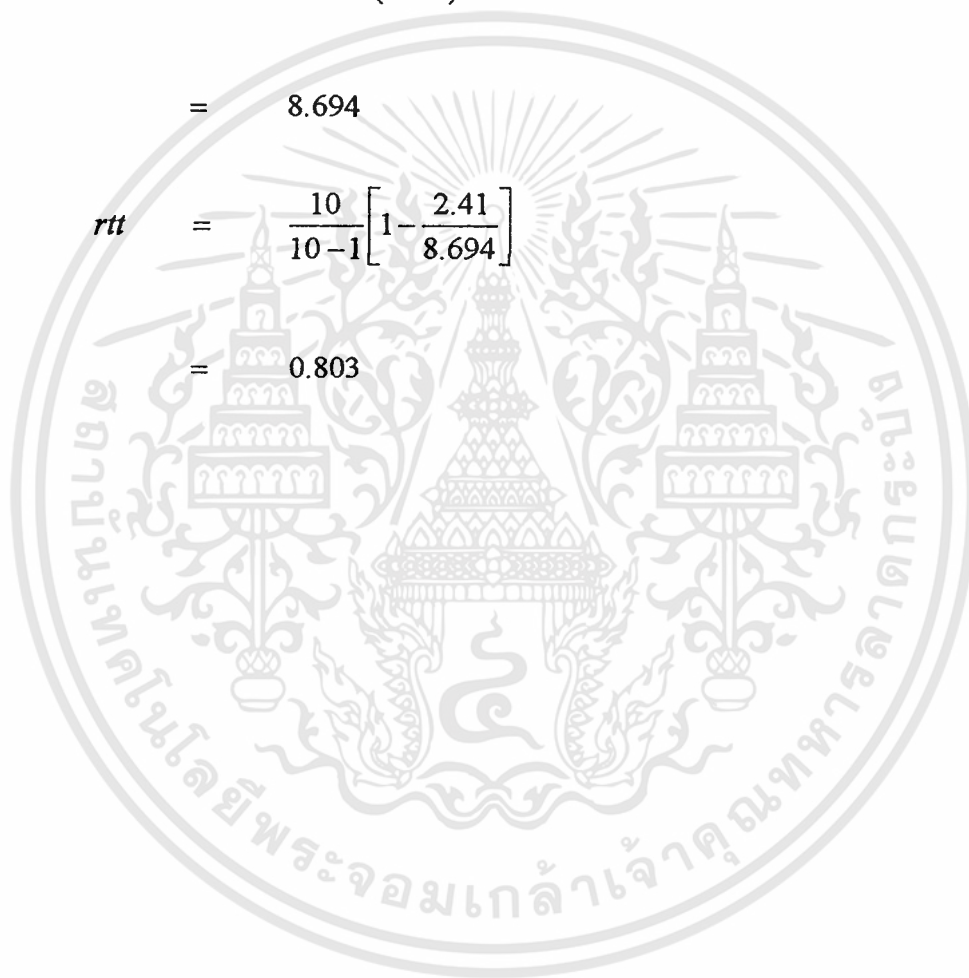
$r_{tt}$	หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
$K$	หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด
$p$	หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ
$q$	หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ
$S^2$	หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$S^2 = \frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

$$= 8.694$$

$$r_{tt} = \frac{10}{10-1} \left[ 1 - \frac{2.41}{8.694} \right]$$

$$= 0.803$$



ตารางที่ 6.8 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 2

คนที่ 1	คะแนนเต็ม (10 คะแนน)	$\sum x^2$
1	9	81
2	9	81
3	5	25
4	9	81
5	6	36
6	6	36
7	7	49
8	8	64
9	9	81
10	10	100
11	4	16
12	4	16
13	4	16
14	4	16
15	4	16
16	4	16
17	2	4
18	2	4
19	2	4
20	2	4
	$\sum x = 110$	$\sum x^2 = 746$

หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบใช้สูตร KR - 20

$$rtt = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- rtt หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- K หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด
- p หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ
- q หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ
- $S^2$  หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$S^2 = \frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

$$= 7.421$$

$$rtt = \frac{10}{10-1} \left[ 1 - \frac{2.44}{7.421} \right]$$

$$= 0.745$$



ตารางที่ 6.9 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 3

คนที่ 1	คะแนนเต็ม (10 คะแนน)	$\sum x^2$
1	9	81
2	9	81
3	5	25
4	9	81
5	5	25
6	7	49
7	9	81
8	9	81
9	7	49
10	9	81
11	4	16
12	4	16
13	4	16
14	3	9
15	5	25
16	4	16
17	3	9
18	3	9
19	2	4
20	5	25
	$\sum x = 115$	$\sum x^2 = 779$

หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบใช้สูตร KR - 20

$$rtt = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$rtt$	หมายถึง	ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
$K$	หมายถึง	จำนวนข้อสอบทั้งหมด
$p$	หมายถึง	สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ
$q$	หมายถึง	สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ
$S^2$	หมายถึง	ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$S^2 = \frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

$$= 6.197$$

$$rtt = \frac{10}{10-1} \left[ 1 - \frac{2.422}{6.197} \right]$$

$$= 0.676$$



ตารางที่ 6.10 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทำยไปงานที่ 4

คนที่ 1	คะแนนเต็ม (10 คะแนน)	$\sum x^2$
1	9	81
2	9	81
3	5	25
4	8	64
5	7	49
6	5	25
7	8	64
8	8	64
9	9	81
10	10	100
11	2	4
12	4	16
13	3	9
14	4	16
15	5	25
16	5	25
17	3	9
18	2	4
19	2	4
20	6	36
	$\sum x = 114$	$\sum x^2 = 782$

หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบใช้สูตร KR - 20

$$rtt = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- rtt หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
 K หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด  
 p หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ  
 q หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ  
 S<sup>2</sup> หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$S^2 = \frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

$$= 6.957$$

$$rtt = \frac{10}{10-1} \left[ 1 - \frac{2.425}{6.957} \right]$$

$$= 0.723$$



ตารางที่ 6.11 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบท้ายใบงานที่ 5

คนที่ 1	คะแนนเต็ม (5 คะแนน)	$\sum x^2$
1	4	16
2	4	16
3	4	16
4	5	25
5	3	9
6	2	4
7	5	25
8	3	9
9	4	16
10	5	25
11	2	4
12	3	9
13	2	4
14	2	4
15	2	4
16	2	4
17	1	1
18	1	1
19	1	1
20	2	4
	$\sum x = 57$	$\sum x^2 = 197$

หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบใช้สูตร KR - 20

$$rtt = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

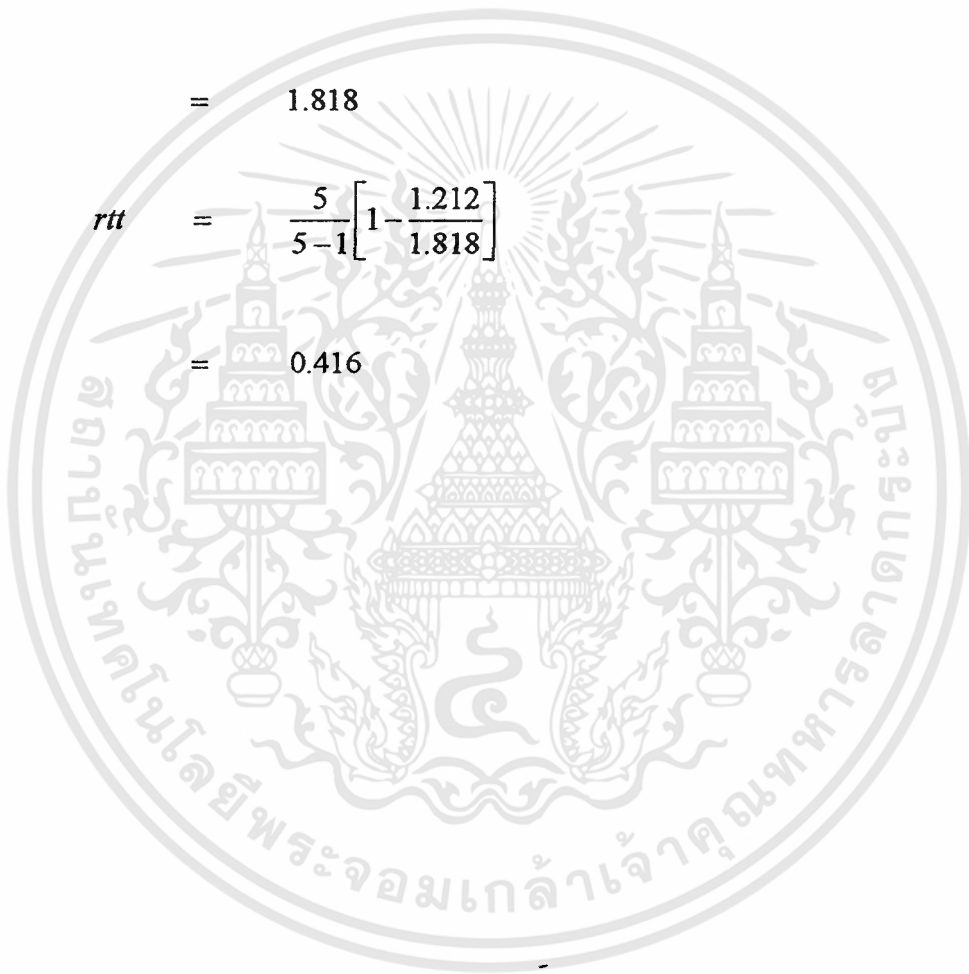
- rtt หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- K หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด
- p หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ
- q หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ
- $S^2$  หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$S^2 = \frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

$$= 1.818$$

$$rtt = \frac{5}{5-1} \left[ 1 - \frac{1.212}{1.818} \right]$$

$$= 0.416$$



ตารางที่ 6.12 คะแนนเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบรวม

คนที่ 1	คะแนนเต็ม (45 คะแนน)	$\sum x^2$
1	41	1681
2	40	1600
3	29	841
4	40	1600
5	30	900
6	26	676
7	38	1444
8	37	1369
9	39	1521
10	44	1936
11	26	676
12	21	441
13	26	676
14	22	484
15	23	529
16	23	529
17	24	576
18	23	529
19	22	484
20	25	625
	$\sum x = 599$	$\sum x^2 = 19117$

หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบใช้สูตร KR - 20

$$r_{tt} = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

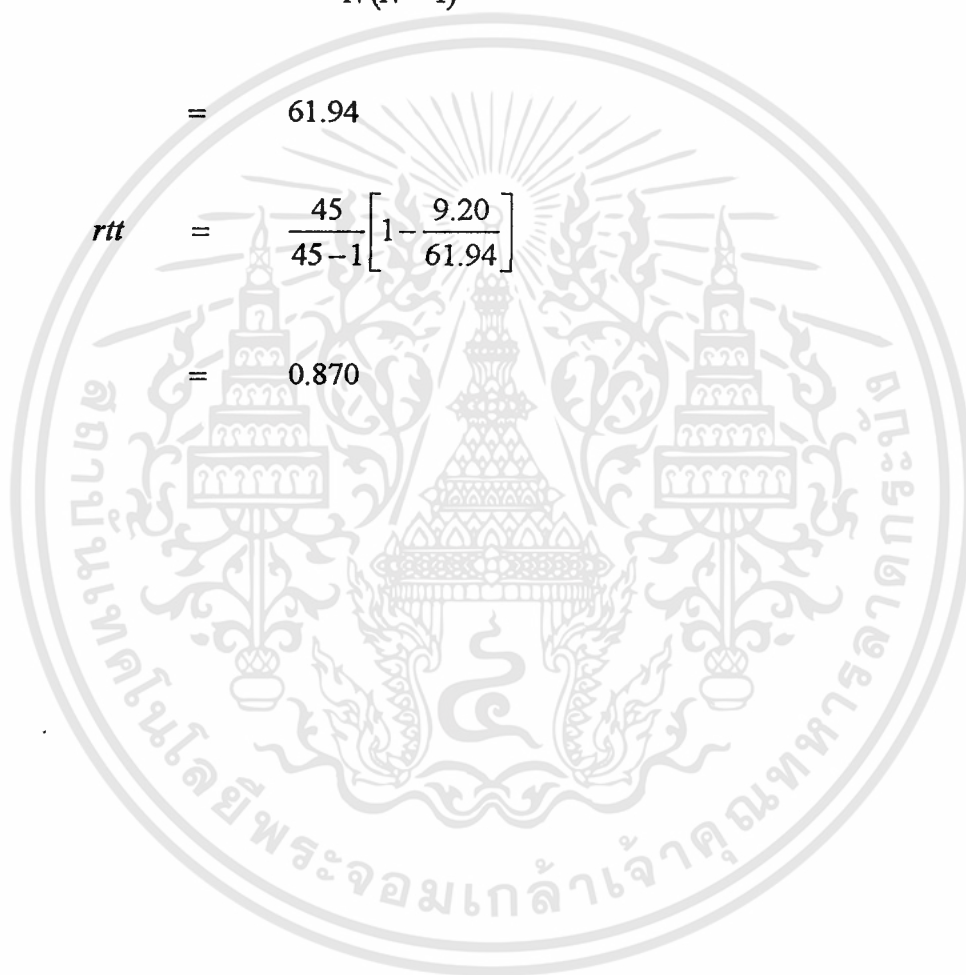
- rtt หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- K หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด
- p หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ
- q หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ
- $S^2$  หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$S^2 = \frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

$$= 61.94$$

$$rtt = \frac{45}{45-1} \left[ 1 - \frac{9.20}{61.94} \right]$$

$$= 0.870$$



ตารางที่ 6.13 การหาค่า IOC ของแบบทดสอบท้ายใบงาน

ใบงานที่ 1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\Sigma R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	5	1
2	1	1	1	1	1	5	1
3	1	0	1	1	1	4	0.8
4	1	1	1	1	1	5	1
5	1	1	1	1	1	5	1
6	1	1	1	1	1	5	1
7	1	1	1	1	1	5	1
8	1	1	1	1	1	5	1
9	1	1	1	1	1	5	1
10	1	1	1	1	1	5	1
ใบงานที่ 2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\Sigma R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	5	1
2	1	1	1	1	1	5	1
3	1	0	1	1	1	4	0.8
4	1	1	1	1	1	5	1
5	1	1	1	1	1	5	1
6	1	1	1	1	1	5	1
7	1	1	1	1	1	5	1
8	1	1	1	1	1	5	1
9	1	1	1	1	1	5	1
10	1	1	1	1	1	5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.13 (ต่อ)

ใบงานที่ 3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\sum R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	5	1
2	1	1	1	1	1	5	1
3	1	1	1	1	1	5	1
4	1	1	1	1	1	5	1
5	1	1	1	1	1	5	1
6	1	1	1	1	1	5	1
7	1	1	1	1	1	5	1
8	1	1	1	1	1	5	1
9	1	1	1	1	1	5	1
10	1	1	1	1	1	5	1
ใบงานที่ 4 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\sum R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	5	1
2	1	1	1	1	1	5	1
3	1	1	1	1	1	5	1
4	1	1	1	1	1	5	1
5	1	1	1	1	1	5	1
6	1	1	1	1	1	5	1
7	1	1	1	1	1	5	1
8	1	1	1	1	1	5	1
9	1	1	1	1	1	5	1
10	1	1	1	1	1	5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 6.13 (ต่อ)

ใบงานที่ 5 วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\Sigma R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	5	1
2	1	1	1	1	1	5	1
3	1	1	1	1	1	5	1
4	1	1	1	1	1	5	1
5	1	1	1	1	1	5	1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.14 การหาค่า IOC ของแบบทดสอบรวม

ใบงานที่ 1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\sum R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	5	1
2	1	1	1	1	1	5	1
3	1	1	1	1	1	5	1
4	1	1	1	1	1	5	1
5	1	1	1	1	1	5	1
6	1	1	1	1	1	5	1
7	1	1	1	1	1	5	1
8	1	1	1	1	1	5	1
9	1	1	1	1	1	5	1
10	1	1	1	1	1	5	1
ใบงานที่ 2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\sum R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
11	1	1	1	1	1	5	1
12	1	1	1	1	1	5	1
13	1	1	1	1	1	5	1
14	1	1	1	1	1	5	1
15	1	1	1	1	1	5	1
16	1	1	1	1	1	5	1
17	1	1	1	1	1	5	1
18	1	1	1	1	1	5	1
19	1	1	1	1	1	5	1
20	1	1	1	1	1	5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.14 (ต่อ)

ใบงานที่ 3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\Sigma R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
21	1	1	1	1	1	5	1
22	1	1	1	1	1	5	1
23	1	1	1	1	1	5	1
24	1	1	1	1	1	5	1
25	1	1	1	1	1	5	1
26	1	1	1	1	1	5	1
27	1	1	1	1	1	5	1
28	1	1	1	1	1	5	1
29	1	1	1	1	1	5	1
30	1	1	1	1	1	5	1
ใบงานที่ 4 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\Sigma R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
31	1	1	1	1	1	5	1
32	1	1	1	1	1	5	1
33	1	1	1	1	1	5	1
34	1	1	1	1	1	5	1
35	1	1	1	1	1	5	1
36	1	1	1	1	1	5	1
37	1	1	1	1	1	5	1
38	1	1	1	1	1	5	1
39	1	1	1	1	1	5	1
40	1	1	1	1	1	5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.14 (ต่อ)

ใบงานที่ 5 วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน							
ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ					$\sum R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
41	1	1	1	1	1	5	1
42	1	1	1	1	1	5	1
43	1	1	1	1	1	5	1
44	1	1	1	1	1	5	1
45	1	1	1	1	1	5	1

จากสมการ  $IOC = \frac{\sum R}{n}$

เมื่อ  $IOC$  = ดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม  
 $\sum R$  = ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด  
 $n$  = จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ตารางที่ 6.15 คะแนนของแบบทดสอบท้ายใบงาน 5 ใบงานระหว่างการเรียน และคะแนนจากแบบทดสอบรวม ใช้กับนักเรียน 15 คน

คนที่	คะแนนแบบทดสอบท้ายใบงาน 5 ใบงาน (45 คะแนน)	คะแนนแบบทดสอบรวม (45 คะแนน)
1	43	44
2	41	40
3	41	40
4	40	39
5	38	40
6	37	35
7	35	35
8	35	36
9	35	36
10	35	35
11	35	35
12	34	35
13	34	34
14	33	36
15	33	34
	$\sum x = 549$	$\sum y = 554$
	$\bar{x} = 36.6$	$\bar{y} = 36.9$

ประสิทธิภาพของคะแนนแบบทดสอบท้ายใบงาน 5 ใบงาน

$$E_1 = \left( \frac{549}{\frac{15}{45}} \right) \times 100 = 81.333\%$$

ประสิทธิภาพของคะแนนแบบทดสอบรวม

$$E_2 = \left( \frac{554}{\frac{15}{45}} \right) \times 100 = 82.074\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำแนะนำการใช้งาน

### ชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ

#### อุปกรณ์ที่ต้องใช้ประกอบการทดลองมีดังนี้

1. แบบทดลองชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ
2. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ
3. Function Generator พร้อมสายวัดสัญญาณ
4. ไขวงาน
5. แบบทดสอบท้ายไขวงาน
6. แบบทดสอบรวม (กรณีที่ทำไขวงานครบทั้ง 5 ไขวงานแล้ว)

#### ขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง

1. ให้นักเรียนเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ต่าง ๆ ตามไขวงานให้พร้อม
2. ผู้สอนอธิบายถึงขั้นตอนการทำไขวงาน และรายละเอียดต่าง ๆ บนแผงทดลองปฏิบัติการ ตลอดจนวิธีการใช้เครื่องมือวัดและทดสอบ
3. ให้นักเรียนทำการวัดและบันทึกผลที่ได้จากการทดลองลงในตารางไว้ทุกค่าก่อน แล้วค่อยนำไปพล็อตกราฟ หลังจากเสร็จขั้นตอนของการวัดและบันทึกผลแล้ว
4. หลังจากนักเรียนทำไขวงานเสร็จแล้ว ให้นักเรียนทำแบบทดสอบท้ายไขวงานแต่ละงานทั้ง 5 ไขวงาน
5. เมื่อนักเรียนทำไขวงานครบทั้ง 5 ไขวงานแล้ว ให้นักเรียนทำแบบทดสอบรวมพร้อมกันทั้งหมดอีกครั้ง

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายเอกราช นิลรัตน์
วัน-เดือน-ปีเกิด	20 พฤษภาคม 2524
สถานที่เกิด	จ.สงขลา
ที่อยู่ปัจจุบัน	59/12 ถ.กาญจนวนิช ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา
สถานที่ทำงาน	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ เลขที่7 ถ.กาญจนวนิช ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
ตำแหน่ง	ครูจ้างสอน
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาศาสตรบัณฑิตอุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาศาสตรบัณฑิตอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (ค.อ.ม) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้