การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546

CONSTRUCT AND EFFICIENCY OF THE FILTER CIRCUIT LABORATORY SET FOR THE OPERATIONAL AMPLIFIER AND LINEAR IC SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E. 2546

ยุทธพิชัย กล้าหาญ

YUTTHAPICHAI KHLAHAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1067-5

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546

CONSTRUCT AND EFFICIENCY OF THE FILTER CIRCUIT LABORATORY SET FOR THE OPERATIONAL AMPLIFIER AND LINEAR IC SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E. 2546

ยุทธพิชัย กล้าหาญ
YUTTHAPHICHAI KHLAHAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1067-5

CONSTRUCT AND EFFICIENCY OF THE FILTER CIRCUIT LABORATORY SET FOR THE OPERATIONAL AMPLIFIER AND LINEAR IC SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E. 2546

YUTTHAPHICHAI KHLAHAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION PROGRAM IN
ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-15-1067-5

COPYRIGHT 2004
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และลิเนียไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546
นักศึกษา	นายยุทธพิชัย กล้าหาญ
รหัสประจำตัว	44064601
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ สถาพร ดีบุญมี ณ ชุมแพ

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ที่มีคุณภาพและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา2546 วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ จำนวน 20 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบเจาะจง

การสร้างชุดปฏิบัติการและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ มีวิธีการดำเนินการดังนี้คือ ศึกษาเรื่องวงจรกรองความถี่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ซึ่งกำหนดเนื้อหาออกมาเป็นหัวข้อได้ 4 หัวข้อ และกำหนดจุดประสงค์ทั่วไปและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ให้ครอบคลุมเนื้อหาของแต่ละใบปฏิบัติงาน สร้างชุดฝึก ใบปฏิบัติงาน และสร้างแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตเพื่อใช้วัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะของนักศึกษาด้วยชุดปฏิบัติการ ประกอบด้วยแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างปฏิบัติแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน และแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายการปฏิบัติงาน

ผลการวิจัยพบว่า ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.85/85.60 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ที่ตั้งไว้ และเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

Thesis Title	Construct and Efficiency Of The Filter Circuit Laboratory Set for The Operational Amplifier And Linear IC Subject In The Diploma Curriculum B.E. 2546
Student	Mr. Yutthaphichai Khlahan
Student ID.	44064601
Degree	Master Of Science In Industrial Education
Programme	Electrical Communication Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Threraphon Thephasadin-Na-Ayuthya
Thesis Co-Advisor	Associate Professor Sataporn Deeboonme-Na-Chumphae

ABSTRACT

This research aimed to construct and find the efficiency of the filter circuit. The set efficiency was at 80/80 standard.

The sample was 20 of the two year students; of The department of electronics at Buriram Technical College in the Academic B.E. 2546

The method of research was studying theories about Filter Circuit, determining 4 parts of the Circuit, setting general and behavioural objectives, construcing the filter circuit laboratory set, writing job sheets and the objectives to accompang the 4 parts of it and making the achievement tests by observe.

The result was that the filter circuit Laboratory Set has efficiency at 84.85/85.60 ; higher than the set standard

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และรศ.สถาพร ดีบุญมี ณ ชุมแพ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และช่วยตรวจสอบ แก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ณรงค์ พิมสาร คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ และ รศ.สมศักดิ์ มิตะถา คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มนตรี พรหมเพ็ชร อาจารย์แฉล้ม ฉิมชาติ อาจารย์อำนวย สุปะติ อาจารย์วัฒนชัย บุญสุข อาจารย์วีระศักดิ์ สุวรรณเพชร และอาจารย์วิโรจน์ ธิมา ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไข เพื่อการปรับปรุงให้เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพสูงสุด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วัชรินทร์ ศิริพานิช ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่อำนวยความสะดวกและให้การสนับสนุนในการทดลองใช้เครื่องมือในการวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูล

ขอขอบพระคุณ อาจารย์แฉล้ม ฉิมชาติ และอาจารย์สานิต โยมะบุตร ที่ให้ความร่วมมือในการประเมินกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ประสบความสำเร็จและขอขอบใจนักศึกษา สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ทุกคนที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อเคน กล้าหาญ และคุณแม่ระเบียบ กล้าหาญ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง รวมทั้ง นางพัชราพร กล้าหาญ ซึ่งเป็น ภรรยา เด็กหญิงวิภาวี กล้าหาญ ซึ่งเป็นบุตร ที่ได้ให้ความรัก ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือทุกด้าน ตลอดมา

คุณค่า และประโยชน์ใดๆ ที่เป็นผลจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ยุทธพิชัย กล้าหาญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2546.....7

2.2 การสอนภาคปฏิบัติ 9

2.3 วงจรกรองความถี่ 11

2.4 การออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการ 22

2.5 การหาประสิทธิภาพ 24

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 28

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 28

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 28

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 33

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 36

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านชุดฝึก.....36

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านเนื้อหาและใบงาน....38

4.3 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ 39

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 41

5.1 สรุปผลการวิจัย 41

5.2 อภิปรายผลผลการวิจัย 44

5.3 ข้อเสนอแนะ 46

บรรณานุกรม 47

ภาคผนวก 49

ภาคผนวก ก หนังสือราชการ.....50

ภาคผนวก ข ชุดปฏิบัติการและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....61

ภาคผนวก ค แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย.....163

ภาคผนวก ง ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ..172

ภาคผนวก จ คู่มือนักศึกษาและคู่มือครู.....179

ประวัติผู้เขียน 203

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านชุดฝึก.....36

4.2 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านเนื้อหาวิชาและใบงาน.....38

4.3 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 20 คน.....40

ง1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านชุดฝึกเพื่อหาคุณภาพ 173

ง2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านเนื้อหาและใบงาน เพื่อหาคุณภาพ.....174

ง3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต เพื่อหาคุณภาพ.....175

ง4 รายละเอียดคะแนนของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน ใช้กับนักศึกษา 20 คน.....176

ง5 คะแนนของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน และคะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย ของนักศึกษา ใช้กับนักศึกษา 20 คน.....177

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กราฟในอุดมคติและกราฟในทางปฏิบัติที่ใช้ในวงจรกรองความถี่ 12

2.2 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ 13

2.3 ตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน มีความชันประมาณ -20 dB/decade 14

2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน -40 dB/decade 15

2.5 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง 16

2.6 วงจรกรองความถี่สูง มีความชันประมาณ -20 dB/decade 16

2.7 วงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง -40 dB/decade.....17

2.8 คุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....17

2.9 วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....18

2.10 กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....19

2.11 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด.....20

2.12 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน.....20

2.13 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด 'T' – คู่.....22

3.1 การสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่.....30

ข1 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ.....98

ข2 ตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน มีความชันประมาณ –20 dB/decade.....99

ข3 วงจรกรองความถี่ที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน –40 dB/decade.....100

ข4 วงจร Low Pass Filter.....101

ข5 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง.....105

ข6 วงจรกรองความถี่สูง มีความชันประมาณ –20 dB/decade.....105

ข7 วงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง –40 dB/decade.....106

ข8 วงจร High Pass Filter.....106

ข9 คุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน..... 109

ข10 วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....110

ข11 กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....111

ข12 วงจร Band-Pass Filter.....112

ข13 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด.....115

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข14 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน.....116
ข15 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด "T" -คู่.....118
ข16 วงจร Band-Stop Filter.....118
ข17 กราฟในอุดมคติและกราฟในทางปฏิบัติที่ใช้ในวงจรกรองความถี่.....122
ข18 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ.....123
ข19 ตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน มีความชันประมาณ –20dB/decade.....124
ข20 วงจรกรองความถี่ต่ำที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน –40 dB/decade.....125
ข21 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง.....126
ข22 วงจรกรองความถี่สูง มีความชันประมาณ –20 dB/decade.....126
ข23 วงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง –40 dB/decade.....127
ข24 คุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....127
ข25 วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....128
ข26 กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน.....129
ข27 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด.....130
ข28 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน.....130
ข29 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด "T" -คู่.....132

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษา หมายความว่า กระบวนการเรียนการเรียนรู้เพื่อความเจริญงอกงามของบุคคลและสังคม โดยการถ่ายทอดความรู้ การฝึก การอบรมการสืบสานทางวัฒนธรรม การสร้างจรรโลงความก้าวหน้าทางวิชาการ การสร้างองค์ความรู้อันเกิดจากการจัดสภาพแวดล้อม สังคม การเรียนรู้และปัจจัยเกื้อหนุนให้บุคคลเรียนรู้ได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต(พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542)

การศึกษาเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยให้สังคม เศรษฐกิจและการเมืองพัฒนา กล่าวง่ายๆ ว่า หากการจัดการศึกษาเข้มแข็งสมบูรณ์ ผลที่ตามมา คือ สังคม เศรษฐกิจการเมือง จะอยู่ในสภาพที่เรียบร้อยราบรื่น เนื่องจากการมีผู้คนที่ได้รับการฝึกฝนมาดี จะมีส่วนร่วมในการพัฒนาสังคม เศรษฐกิจ การเมือง (แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2545-2549)

การศึกษาเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้มนุษย์สามารถปรับเปลี่ยนวิถีดำเนินชีวิตได้ ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปแล้วว่าการศึกษาเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญยิ่งต่อการพัฒนาในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง สิ่งแวดล้อม รวมถึงเทคโนโลยีใหม่ต่างๆ ดังนั้นการจัดการศึกษาให้แก่ประชาชนได้อย่างทั่วถึง จึงเป็นการวางรากฐานการพัฒนาประเทศให้มั่นคง เพื่อก้าวไปสู่ความเจริญก้าวหน้าตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการศึกษาไม่ใช่เป็นการเรียนรู้ในเนื้อหาและเพื่อให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ (กรมวิชาการ. 2542 : 17) การศึกษาจึงเป็นกระบวนการที่ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและต้องปรับปรุงอยู่เสมอ เพื่อให้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

การจัดการศึกษาพัฒนาทรัพยากรมนุษย์นั้นต้องยึดหลักว่าผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติเต็มศักยภาพ และการจัดกระบวนการเรียนรู้ก็คือการฝึกทักษะ กระบวนความคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์และประยุกต์ความรู้มาเพื่อป้องกันและแก้ปัญหา การจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริงฝึกการปฏิบัติให้ทำได้ คิดเป็น รักการอ่านและเกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่อง เพื่อการประกอบอาชีพ (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542)

กระบวนการเรียนการสอนก็เป็นหัวใจสำคัญที่จะบ่งชี้ประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของการศึกษา สำหรับอาชีวศึกษาได้ให้ความสำคัญต่อกระบวนการเรียนการสอนซึ่งได้กำหนดเป็น

เป้าหมายหลัก และส่งเสริมการสร้างทักษะวิชาชีพด้วยการเรียนรู้จากการปฏิบัติงานจริง เพื่อผลิตกำลังคนตั้งแต่ระดับกึ่งฝีมือ ระดับเทคนิค ระดับเทคโนโลยี ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานสากล สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคมวัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม ความต้องการของตลาดแรงงาน ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (วิสัยทัศน์กรมอาชีวศึกษา พ.ศ. 2545 – 2549)

การเรียนการสอนของกรมอาชีวศึกษาเป็นการเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีสื่อเพื่อใช้ประกอบการเรียนภาคปฏิบัติ โดยผู้เรียนใช้สื่อทำการทดลองเพื่อหาผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เรียนจากภาคทฤษฎี ครูผู้สอนจะต้องเตรียมสื่อการสอนหรือผลิตสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะสื่อในวิชาปฏิบัติ เช่น ชุดสาธิต ชุดปฏิบัติการ เป็นต้น การมีสื่อการเรียนการสอนที่ดีสอดคล้องกับหลักสูตรของรายวิชาและครูผู้สอนนำไปใช้อย่างถูกต้องจะเป็นผลทำให้กระบวนการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ

ส่วนการเลือกเนื้อหาวิชาเรื่อง วงจรกรองความถี่ เนื่องจากเนื้อหาวิชาเรื่องนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร เช่น โครงข่ายการสื่อสัญญาณในระบบแอนาล็อกและดิจิตอล ระบบโทรศัพท์ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้วงจรกรองความถี่ที่มีประสิทธิภาพ เนื้อหาวิชานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษารายวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นวิชาพื้นฐานของวิชาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญวิชาหนึ่งของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ได้จัดการเรียนดังนี้ คือ ภาคทฤษฎีและปฏิบัติ 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ รวม 2 หน่วยกิต โดยวิชานี้จำเป็นที่จะต้องใช้สื่อการเรียน เช่น ใบงาน ชุดทดลอง มาประกอบการเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้พิสูจน์หลักการนั้นๆ ด้วยการทดลองและได้รับประสบการณ์ตรงในการค้นคว้าหาข้อเท็จจริงจากการลงมือปฏิบัติ นอกจากนี้ยังมุ่งให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม แต่การจัดหาชุดปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพต่อการเรียนการสอนในปัจจุบันนั้นได้ประสบปัญหาที่สำคัญ คือ ความยุ่งยากในการต่อวงจร โดยปกติเมื่อเราทำการต่อวงจรใช้งานจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่นแหล่งจ่ายไฟ แหล่งกำเนิดสัญญาณและสายสัญญาณต่างๆ ทำให้ต้องใช้เวลาในการปฏิบัติงานค่อนข้างมากในเวลาที่จำกัด ประกอบกับชุดฝึกเดิมที่มีอยู่เป็นชุดฝึกที่ใช้งานในหลายวิชา ได้แก่ชุดฝึก วิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ วิชาวงจรพัลส์และสวิตชิ่ง ทำให้สามารถทดลองได้เฉพาะวงจรพื้นฐานของวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีเท่านั้น จึงทำให้ชุดฝึกที่มีอยู่ ให้ผลการปฏิบัติไม่เป็นไปตามความต้องการของหลักสูตร

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ศึกษาการสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ที่ช่วยแก้ปัญหาทางด้านความยุ่งยากในการต่อวงจรในการจัดการเรียนการสอน ที่สำคัญส่วนหนึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาชุดปฏิบัติการต่อไป ทั้งนี้ได้คำนึงถึงประสิทธิภาพและความสอดคล้องตาม

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ และชุดปฏิบัติการนี้สามารถที่จะนำไปเป็นตัวอย่างประกอบการผลิตชุดปฏิบัติการสำหรับครูที่สามารถจัดทำขึ้นเองได้ง่าย ราคาถูก และใช้ในการศึกษาอีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนที่มีหลักสูตรที่คล้ายคลึงกันได้อีก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ที่มีคุณภาพ

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และการใช้งาน ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 (E_1/E_2)

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การสอนแบบปฏิบัติเป็นการศึกษาหาความรู้ด้วยวิธีการทดลองในสาขาต่างๆ โดยเฉพาะด้านสาขาวิชาประเภทช่างอุตสาหกรรม เพื่อใช้ตรวจสอบวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือ และวัสดุ มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530 : 25-45) ผู้วิจัยได้ยึดแนวทางนี้เป็นกรอบแนวความคิด เพื่อใช้ในการวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ โดยมีแนวทางในการออกแบบการสร้างมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1.4.1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดปฏิบัติการไปใช้ในการสอน

1.4.2 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์

1.4.3 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์

1.4.4 การเขียนแบบ

1.4.5 อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้าง

1.4.6 ใบงานเป็นใบสั่งงานให้กับนักศึกษา สิ่งที่จะต้องมีไว้ในใบงานมีดังนี้

1.4.6.1 วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติที่ชัดเจน

1.4.6.2 มีรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติ

1.4.6.3 มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง

1.4.6.4 มีวงจรที่ใช้ในการปฏิบัติ

1.4.6.5 มีข้อควรระวังในการปฏิบัติงาน

1.4.6.6 คำถามที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน

1.4.6.7. วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติโดยศึกษา

1.4.8 การทดลองจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษา

1.4.9 การปรับปรุงข้อมูล

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในภาคเรียนที่ 1/2546

1.5.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนั้นผู้วิจัย ได้เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ได้จากนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในภาคเรียนที่ 1/2546 จำนวน 20 คน

1.5.3 เนื้อหาของเรื่องวงจรกรองความถี่ ในวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อในใบปฏิบัติงาน (Job Sheet) ดังต่อไปนี้

1.5.3.1 ใบปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่ต่ำ

1.5.3.2 ใบปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่สูง

1.5.3.3 ใบปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

1.5.3.4 ใบปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด

1.5.3.5 ใบปฏิบัติงานขั้นสุดท้าย

1.5.4 องค์ประกอบของใบปฏิบัติงาน (Job Sheet) มีดังนี้ คือ

1.5.4.1 วัตถุประสงค์

1.5.4.2 เนื้อเรื่อง

1.5.4.3 เครื่องมืออุปกรณ์

1.5.4.4 ลำดับขั้นการปฏิบัติ

1.5.4.5 ผลการทดลอง

1.5.4.6 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงกำหนดความหมายของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้ คือ

1.6.1 ชุดปฏิบัติการ หมายถึง ชุดฝึกที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดลองเกี่ยวกับวงจรกรองความถี่ วิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ โดยชุดปฏิบัติการจะประกอบด้วย ใบปฏิบัติงาน และชุดฝึก

1.6.1.1 ชุดฝึก ประกอบด้วย แผงอุปกรณ์ หรือแผงวงจรที่ใช้ทำการทดลอง

1.6.1.2 ใบปฏิบัติงาน หมายถึง ใบงาน ซึ่งประกอบด้วย ใบปฏิบัติงาน วงจรกรองความถี่ต่ำ วงจรกรองความถี่สูง วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด และ ใบปฏิบัติงานขั้นสุดท้าย

1.6.2 แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบสังเกตเป็นลักษณะตรวจสอบรายการ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพื่อวัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะของนักศึกษาด้วยชุดปฏิบัติการ ประกอบด้วยแบบประเมินระหว่างปฏิบัติแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน และแบบประเมินขั้นสุดท้ายการปฏิบัติงาน

1.6.3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนของนักศึกษาจากการปฏิบัติงานตามชุดปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

1.6.4 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ของชุดปฏิบัติการ โดยวัดจากผลการปฏิบัติงานของ นักศึกษาที่เรียนด้วยชุดปฏิบัติการ ตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 (E_1/E_2)

เกณฑ์กำหนด 80 ตัวแรก (E_1) หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากคะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงานของนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ

เกณฑ์กำหนด 80 ตัวหลัง (E_2) หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้ายของนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ

1.6.5 นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

1.6.6 คู่มือครู หมายถึง แบบเฉลยใบปฏิบัติงานชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

1.6.7 ผู้ทรงคุณวุฒิ หมายถึง ผู้ที่มีประสบการณ์ในการสอนในสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ไม่น้อยกว่า 2 ปี และมีวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง หรือปริญญาที่สูงกว่าปริญญาตรี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ผู้วิจัยจะนำเสนอเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามหัวข้อต่อไปนี้

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2546

2.2 การสอนภาคปฏิบัติ

2.3 วงจรกรองความถี่

2.4 หลักการออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการ

2.5 การหาประสิทธิภาพ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2546

2.1.1 หลักการของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ปี 2546 มีดังนี้

2.1.1.1 เป็นหลักสูตรที่มุ่งผลิต และพัฒนาแรงงาน ระดับผู้ชำนาญการเฉพาะสาขาวิชาชีพสอดคล้องกับตลาดแรงงาน สภาพเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สามารถเป็นหัวหน้างานหรือเป็นผู้ประกอบการได้

2.1.1.2 เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีสมรรถนะในการประกอบอาชีพ มีความรู้เต็มภูมิ ปฏิบัติได้จริงและเข้าใจชีวิต

2.1.1.3 เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการวิชาชีพ มีส่วนร่วมในการเรียนการสอนวิชาชีพ สามารถถ่ายโอนประสบการณ์การเรียนรู้จากสถานประกอบการ และสามารถสะสมการเรียนรู้และประกอบการณ์ได้

2.1.2 จุดมุ่งหมายของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ปี 2546 มีดังนี้

2.1.2.1 เพื่อให้มีความรู้ในทักษะพื้นฐานในการดำรงชีวิต สามารถศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม หรือศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น

2.1.2.2 เพื่อให้มีทักษะและสมรรถนะในงานอาชีพ ตามมาตรฐานวิชาชีพ

2.1.2.3 เพื่อให้สามารถบูรณาการความรู้ ทักษะจากศาสตร์ต่างๆ ประยุกต์ใช้ในงานอาชีพ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี

2.1.2.4 เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาชีพ มีความมั่นใจและภาคภูมิใจในงานอาชีพ รักงาน รักองค์กร สามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี และมีความภาคภูมิใจในตนเองต่อการเรียนวิชาชีพ

2.1.2.5 เพื่อให้มีปัญญา ใฝ่รู้ ใฝ่เรียน มีความคิดสร้างสรรค์ มีความสามารถในการจัดการ การตัดสินใจและแก้ปัญหา รู้จักแสวงหาแนวทางใหม่ๆ มาพัฒนาตนเองประยุกต์ใช้ความรู้ในการสร้างงานให้สอดคล้องกับวิชาชีพ และการพัฒนางานอาชีพอย่างต่อเนื่อง

2.1.2.6 เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีคุณธรรม จริยธรรม ซื่อสัตย์ มีวินัย มีสุขภาพแข็งแรงทั้งร่างกายและจิตใจ เหมาะสมกับการปฏิบัติในอาชีพนั้นๆ

2.1.2.7 เพื่อให้เป็นผู้มีพฤติกรรมทางสังคมที่ดีงามทั้งในการทำงาน การอยู่ร่วมกัน มีความรับผิดชอบต่อครอบครัว องค์กร ท้องถิ่นและประเทศชาติ อุทิศตนเพื่อสังคม เข้าใจและเห็นคุณค่าของศิลปวัฒนธรรมไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตระหนักในปัญหาและความสำคัญของสิ่งแวดล้อม

2.1.2.8 เพื่อให้ตระหนักและมีส่วนร่วมในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจของประเทศ โดยเป็นกำลังสำคัญในด้านการผลิตและให้บริการ

2.1.2.9 เพื่อให้เห็นคุณค่าและดำรงไว้ ซึ่งสถาบัน ชาติ ศาสนา และพระมหากษัตริย์ ปฏิบัติตนในฐานะพลเมืองดีตามระบอบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข

2.1.3 จุดประสงค์ของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2546

ผู้ที่สำเร็จการศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สามารถปฏิบัติงานระดับช่างเทคนิค ผู้ควบคุมงาน ผู้ช่วยวิศวกรหรือประกอบอาชีพส่วนตัว มีความรู้ ความสามารถ เจตคติและประสบการณ์ด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 เพื่อให้มีความรู้และทักษะพื้นฐานเกี่ยวกับ ภาษา สังคม มนุษยศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ นำไปใช้ในการค้นคว้า พัฒนาตนเองและวิชาชีพ อิเล็กทรอนิกส์ ให้เกิดความเจริญก้าวหน้า

2.1.3.2 เพื่อให้มีความรู้ และทักษะในหลักการและกระบวนการทำงานพื้นฐานของช่างเทคนิคที่เกี่ยวกับการบริหารจัดการ และการวางแผนในงานอุตสาหกรรม และสามารถติดตามความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนำมาพัฒนางานอาชีพ อิเล็กทรอนิกส์ ให้มีประสิทธิผล

2.1.3.3 เพื่อให้มีความคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา สร้างสรรค์ และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางานอิเล็กทรอนิกส์

2.1.3.4 เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีความรับผิดชอบต่อตนเอง ครอบครัวและสังคม มีคุณธรรม และมีกิจนิสัยที่ดีในงานอาชีพ

2.1.3.5 เพื่อให้สามารถประกอบอาชีพในสถานประกอบการอุตสาหกรรม หรือสร้างสรรค์ หรือประกอบอาชีพอิสระในสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

2.2 การสอนภาคปฏิบัติ

การสอนภาคปฏิบัติ เป็นการสอนโดยวิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลอง ที่ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ หรือการศึกษาข้อเท็จจริงจากภาคทฤษฎีที่ได้มีผู้ค้นพบมาแล้ว โดยผู้เรียนทำการทดลอง และหรือโดยวิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติการทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมา แล้วสรุปถึงข้อเท็จจริงตามทฤษฎี

2.2.1 ความหมายของการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง

การปฏิบัติการทดลองและขั้นตอนของการปฏิบัติการทดลอง เช่น ในการอภิปรายก่อนการทดลอง การทำการทดลองโดยอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การอภิปรายหลังการทดลองเพื่อหาข้อสรุป เป็นต้น เหล่านี้เป็นสิ่งที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้การทดลองเป็นเครื่องมือในกระบวนการค้นพบ ตลอดจนสร้างสรรค์หรือประดิษฐ์คิดค้น ทำให้ความรู้ต่าง ๆ ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว (พวงทอง มีมั่นคง. 2537 : 90)

การสอนแบบทดลอง (Laboratary Instruction) คือ กระบวนการที่ผู้สอนพยายามสร้างกิจกรรมหรือสถานการณ์เพื่อให้ผู้เรียนได้สัมผัสและได้รับประสบการณ์จากการปฏิบัติทดลอง รวมทั้งเพื่อให้ผู้เรียนแก้ปัญหา พิสูจน์ข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่ได้มีการค้นพบแล้วและเกิดการเรียนรู้ เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติสามารถพัฒนาทักษะการใช้เครื่องมือ รวมทั้งสามารถประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้ ทั้งนี้เนื่องจากในการเรียนรู้นี้ผู้เรียนจะทำการทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมาโดยใช้วิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติการทดลอง ส่วนผู้สอนจะต้องเตรียมพร้อมในเรื่องของใบประลองหรือใบทดลอง ผลการทดลอง (Lab Sheet) ซึ่งประกอบด้วย วัตถุประสงค์ รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ ลำดับขั้นการทดลอง ผลการทดลอง รวมทั้งคำถามปัญหาและสิ่งอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จากนั้นผู้สอนจะทำการควบคุมการทดลองจนกระทั่งผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง และจะทำการอภิปรายผลการทดลองร่วมกันระหว่างผู้เรียนและผู้สอน (ชัชวาลย์ มูลศรี. 2540 : 8)

โดยสรุป การสอนแบบทดลอง (Laboratory Instruction) คือ กระบวนการที่ ผู้สอนจัดกิจกรรมหรือสร้างสถานการณ์ เพื่อให้ผู้เรียนได้รู้จักสังเกต สามารถพิสูจน์กฎเกณฑ์ข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่มีการค้นพบมาแล้ว รวมทั้งสามารถประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองแก้ปัญหากับงานจริงในภาคสนามได้ ทั้งนี้โดยใช้วิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติการทดลองเพื่อให้เกิดการเรียนรู้เกิดประสบการณ์ตรงจากปฏิบัติการทดลอง

2.2.2 ประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลอง

ประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลองมีดังนี้ คือ

2.2.2.1 เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร และคุณสมบัติของอุปกรณ์

2.2.2.2 เพื่อพัฒนาทักษะทางสมอง เช่น การวิเคราะห์ การสอบสวน และการแก้ปัญหา

2.2.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ

2.2.2.4 เพื่อศึกษาเรื่องเกี่ยวข้องพฤติกรรมภายในที่สำคัญของอุปกรณ์เครื่องมือ

2.2.2.5 เพื่อเป็นการฝึกหัดการทำงานเป็นขั้นตอน

2.2.2.6 เพื่อให้รู้จักคุ้นเคยกับกลไกของเครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.2.7 เพื่อพัฒนาความสามารถในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.2.8 เพื่อพัฒนาความรอบคอบในการทำงาน

2.2.2.9 เพื่อเสริมสร้างจิตสำนึกในการรักษาความปลอดภัย

2.2.2.10 เพื่อประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงใน ภาคสนามได้

2.2.2.11 เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง

2.2.2.12 เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความคิด หลักการ ความรู้ต่าง ๆ รวมทั้งเพื่อทำให้ผู้เรียนมองภาพรวมรวมในเนื้อหา ของวิชานั้นได้

สรุป ประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลอง เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร คุณสมบัติของอุปกรณ์ มีความคุ้นเคยกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ การทำงานเป็นขั้นตอน มีรอบคอบและความปลอดภัยในการทำงาน และนำเอาความรู้หลักการ ประสบการณ์ตรงที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับงานจริงในภาคสนามได้ (ชัชวาลย์ มูลศรี. 2540 : 10-11)

การทดลองในห้องทดลอง เป็นการฝึกปฏิบัติที่มุ่งให้นักศึกษาได้เรียนรู้หลักการ และข้อเท็จจริงจากการที่คนอื่นๆ ได้ค้นพบแล้ว เป็นการทบทวนและย้ำว่าข้อเท็จจริงนั้นเป็นไปตามที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้วอย่างไรบ้าง เป็นการพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วในชั้นเรียน นอกจากนั้นยังมุ่งหวังที่จะให้นักศึกษาได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างถูกต้อง และเหมาะสมเป็นการเริ่มต้นแนวทางประดิษฐ์ และการคิดค้นสิ่งใหม่ๆ อีกต่อไป (สุรพล ปุ้นต้นทอง. 2536 : 10)

2.3 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 3105-2003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีซึ่งเป็นการศึกษาทฤษฎีและปฏิบัติ 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ 2 หน่วยกิต วงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมปลิไฟเออร์ การออกแบบวงจรกรองความถี่ วงจรขยาย สัญญาณไฟฟ้า วงจรสวิตช์ วงจรเกต วงจรขยายสัญญาณหลายช่อง วงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ รูปสแควร์ รูปแรมพ์ วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่และกระแสไฟฟ้าคงที่วงจรแปลงรูปคลื่นสัญญาณ วงจรเฟสล็อกลูป วงจรซินทิไซเซอร์และวงจรเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า (หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง 2546 : 68)

หน่วยการสอนทฤษฎีและปฏิบัติ

หน่วยที่ 1	วงจรออปแอมป์พื้นฐาน.....	6	ชั่วโมง
หน่วยที่ 2	วงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมปลิไฟเออร์	6	ชั่วโมง
หน่วยที่ 3	วงจรขยายออปแอมป์.....	9	ชั่วโมง
หน่วยที่ 4	วงจรกำเนิดสัญญาณ.....	9	ชั่วโมง
หน่วยที่ 5	วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากำเนิดสัญญาณและกระแสไฟฟ้าคงที่	6	ชั่วโมง
หน่วยที่ 6	วงจรเฟสล็อกลูป วงจรซินทิไซเซอร์ และวงจรเครื่องมือวัด.	9	ชั่วโมง
หน่วยที่ 7	การออกแบบวงจรกรองความถี่...	15	ชั่วโมง
	รวม	**60**	**ชั่วโมง**

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวมรวมข้อมูลในหน่วยการสอนที่ 7 ชื่อหน่วยการออกแบบวงจรกรองความถี่ มีใบปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่ 4 หัวข้อปฏิบัติงานและมีใบขั้นสุดท้าย 1 ใบปฏิบัติงานเป็นการออกแบบวงจรกรองความถี่ รวมทั้งสิ้น 5 ใบปฏิบัติงาน เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติ 3 ชั่งโมงต่อ 1 ใบปฏิบัติงาน รวมใช้เวลาทั้งสิ้น 15 ชั่วโมง

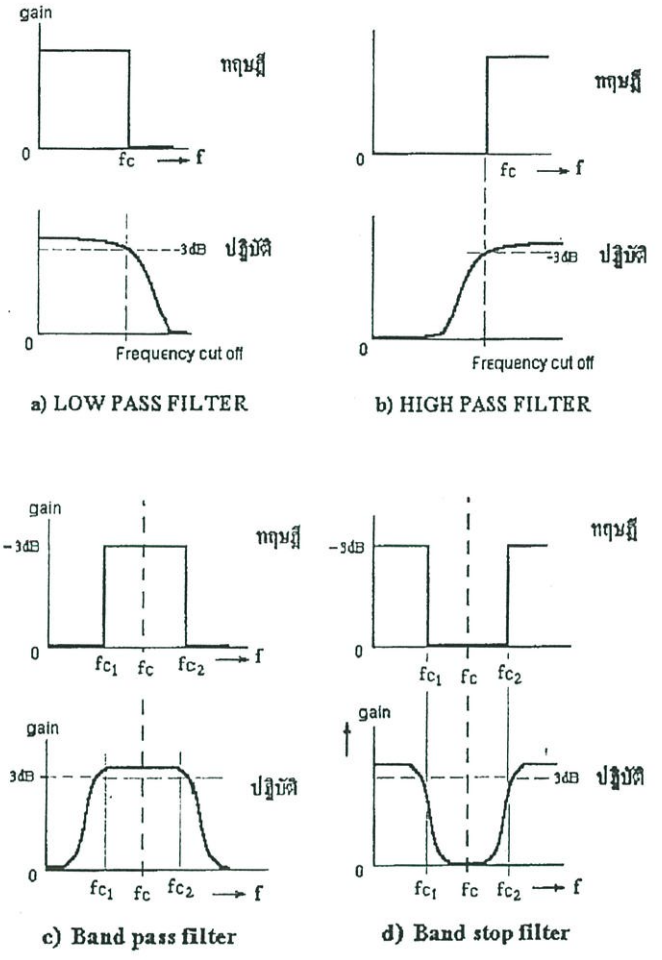
วงจรกรองความถี่ เป็นหัวข้อเรื่องที่พื้นฐานสำคัญในการศึกษาด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร เช่น โครงข่ายการสื่อสัญญาณในระบบแอนาล็อกและดิจิตอล ซึ่งวงจรกรองความถี่แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) , วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter) , กรองความถี่แบบช่วงผ่าน (Band Pass Filter) และหวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (Band Stop Filter) (สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2535 : 42-53)

วงจรกรองความถี่ต่ำ จะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านเท่านั้น

วงจรกรองความถี่สูง จะยอมให้ความถี่สูงผ่านเท่านั้น

วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน จะยอมให้ความถี่บางช่วงผ่านเท่านั้น

วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด จะยอมให้ความถี่บางช่วงหยุดเท่านั้น



รูปที่ 2.1 กราฟในอุดมคติและกราฟในทางปฏิบัติที่ใช้ในวงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ที่ใช้งานมี 2 ลักษณะ คือ (พร้อม แย้มมณฑา. 2545 : 289-329)

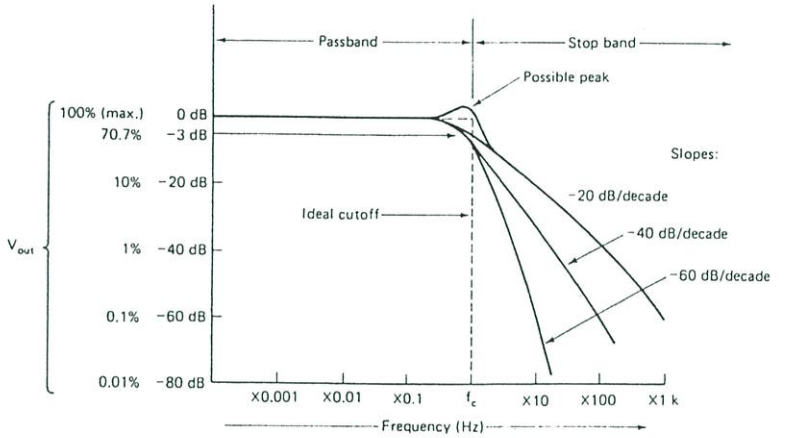
Passive Filter ประกอบด้วยอุปกรณ์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ มีลักษณะการทำงานที่ลดทอนพลังงาน หรือเก็บการสูญเสียพลังงานในวงจรจำนวนมาก

Active Filter ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำกัดสัญญาณรบกวน ขยายสัญญาณความถี่ที่ต้องการมากกว่าสัญญาณอินพุท ให้การตอบสนองย่านความที่คงเส้นคงวา เลือกการออกแบบที่ดีที่ใช้มากในย่านความถี่ต่ำ ใช้หลักการแปลงสัญญาณแอนะล็อก เช่นวงจรกรองความถี่ต่ำ 60 Hz ซึ่งหมายถึงกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำ 0-60 Hz ให้เกิดเอาท์พุทถ้าสูงกว่าสัญญาณความถี่ 60 Hz จะถูกลดทอน เพราะไม่ต้องการสัญญาณความถี่นั้น

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงวงจร Active Filter เนื่องจากมีคุณสมบัติดีกว่า Passive Filter และเป็นที่นิยมใช้งาน

2.3.1 **วงจรกรองความถี่ต่ำ** (Low-Pass Filter) (สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2535 : 42-53)

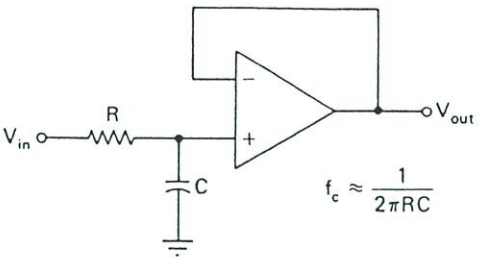
ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราอาจต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้ามาเท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนี้จะถูกกำจัดออกไป และนี้คือประโยชน์ของวงจรกรองความถี่ชนิดนั้นๆ โดยเริ่มศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นชนิดแรก



รูปที่ 2.2 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

ในอุดมคติ วงจรกรองความถี่ต่ำจะกันไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟ (f_C) ผ่านเข้ามาในวงจรเลยหากสัญญาณมีความถี่สูงกว่า f_C เพียงเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติลักษณะของความถี่ที่ถูกกันออกไปนั้นจะไม่เป็นเช่นนั้น แต่จะค่อยๆ ถูกลดอัตราขยายลดลงไปเรื่อยๆ จุดที่ความถี่มีค่าเท่ากับ f_C ถูกเรียกได้หลายชื่อ เช่น ความถี่ 0.707 (ขนาดของ V_{out}ลดลงเหลือเพียง 70.7 % เทียบกับ V_{in} สูงสุด) ความถี่ -3 dB (อัตราขยายแรงดันเอาท์พุทลดลง 3 dB) หรือความถี่หักมุม เป็นต้นกล่าวโดยสรุปแล้ว วงจรนี้จะลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า f_C และเรียกช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า f_C ว่า ช่วงที่ผ่านได้ (PASS BAND) และช่วงที่มีความถี่สูงกว่า f_C ว่าช่วงที่ถูกกั้น (STOP BAND)

จากกราฟ แสดงการตอบสนองต่อความถี่ในรูป 2.2 จะพบว่า เมื่อสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟแล้ว สัญญาณบางเส้นอาจถูกลดทอนด้วยอัตราที่น้อยกว่าสัญญาณเส้นอื่น เช่น สัญญาณที่มีความชัน – 20 dB/decade (อัตราขยายลดลง 20 dB ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) จะมีความชันน้อยกว่าสัญญาณที่มีค่า – 60 dB/decade คุณสมบัตินี้เกิดขึ้นจากออกแบบวงจรกรองความถี่และเป็นที่แน่นอนว่า ยิ่งค่าความชันนี้มีขนาดลบมาเท่าใด วงจรก็จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจรในอุดมคติมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน มีความชันประมาณ -20 dB/decade

จากรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน ซึ่งใช้ออปแอมป์ที่ถูกต่อในลักษณะของวงจรตามแรงดัน และใช้หลักการแบ่งแรงดันธรรมดา ณ ขั้วอินพุทบวก โดยใช้คุณสมบัติที่ว่าความถี่ของสัญญาณอินพุทจะมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ ดังสมการ

$$X_C = \frac{1}{w_C} \qquad (w = 2\pi f) \qquad (2.1)$$

โดยที่ f คือ ความถี่ของสัญญาณอินพุท ดังนั้น เมื่อสัญญาณอินพุทมีความถี่ต่ำ X_C จะมีค่าสูง ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดจากอินพุทตกคร่อมตัวเก็บประจุ และเป็นผลให้แรงดันเอาท์พุท V_O จะมีค่าประมาณ V_{in} ด้วย ในขณะที่สัญญาณซึ่งมีค่าความถี่สูงจะทำให้ X_C มีค่าต่ำเป็นผลทำให้ตัวเก็บประจุเสมือนลัดวงจร ดังนั้น V_{out} จึงมีค่าต่ำด้วย สรุปได้ว่า ช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำจะผ่านไปปรากฏที่เอาท์พุทได้ โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่สูงจะถูกกั้นเอาไว้ และเราสามารถหาความถี่ f_C ที่แบ่งช่วงสัญญาณออกเป็นสองส่วนได้ ดังสมการ

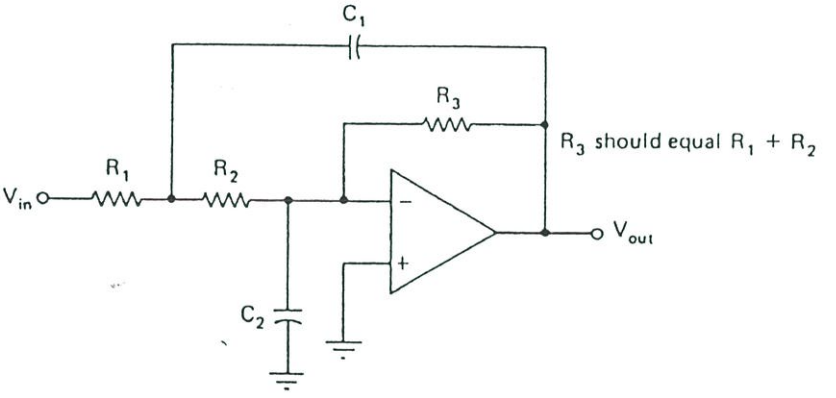
$$f_C \approx \frac{1}{2\pi RC} \qquad (2.2)$$

วงจรกรองความถี่ต่ำในรูปที่ 2.3 นี้จะมีความชันประมาณ -20 dB/decade และจากการใช้อุปกรณ์เช่นตัวเก็บประจุในวงจรสัญญาณที่วัดได้จากเอาท์พุท จะมีเฟสไม่ตรงกับอินพุทเลยทีเดียวคือ จะมีการเลื่อนเฟสออกไป 45° (ถึงแม้จะป้อนอินพุท ณ ขั้วอินพุทบวกก็ตาม) ซึ่งหากความชันมีค่าเป็นลบสูงเท่าใด เฟสก็จะถูกเลื่อนไปเรื่อยๆ โดยทั่วไปเฟสของสัญญาณเอาท์พุทจะเลื่อนไป 45° สำหรับทุกๆ ความชันที่ลดลง -20 dB/decade ตัวอย่างเช่น สำหรับสัญญาณที่มีความชัน -40 dB/decade เฟสของเอาท์พุทจะถูกเลื่อนออกไป -90° เทียบกับสัญญาณอินพุท

รูปที่ 2.4 แสดงวงจรที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน -40 dB/decade โดยมีตัวเก็บประจุทำหน้าที่เช่นเดิม แต่เพิ่มตัวเก็บประจุ C_1 ในการป้อนสัญญาณกลับมาหักล้างกับสัญญาณอินพุทที่มีความถี่สูง (เนื่องจาก X_{C1} จะมีค่าลดลง) และเราสามารถหาความถี่คัทออฟจากสมการได้ดังนี้

$$f_C \approx \frac{0.707}{2\pi RC}$$ พิจารณาที่ความถี่ -3 dB (อัตราขยายแรงดันเอาท์พุทลดลง 3 dB)

(2.3)



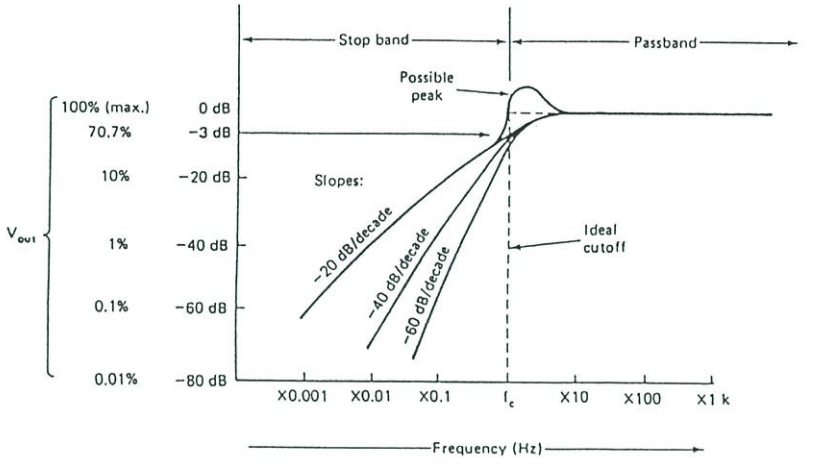
รูปที่ 2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน -40 dB/decade

สมการนี้จะแม่นยำมากถ้าความต้านทาน R_1 และ R_2 ที่ใช้มีขนาดเท่ากัน และตัวเก็บประจุ C_1 มีคาปาซิแตนซ์สูงกว่า C_2 R_3 ควรมีค่าเท่ากับ $R_1 + R_2$ เพื่อสัญญาณเอาท์พุทจะได้มีลักษณะใกล้เคียงกับอินพุทที่สุด และยังช่วยในการปรับออฟเซ็ทให้เกิดสมดุลอีกด้วย

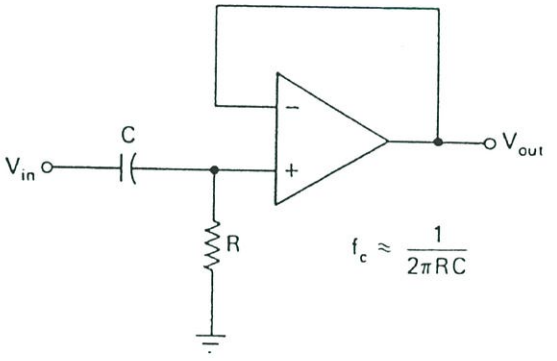
2.3.2 **วงจรกรองความถี่สูง** (HIGH PASS FILTER)

หลังจากที่ได้ศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำแล้ว เราสามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถนำสมการต่างๆ ของวงจรกรองความถี่ต่ำมาใช้กับวงจรกรองความถี่สูงได้อีกด้วย

จากชื่อของวงจรชนิดนี้ เราสามารถบอกได้ทันทีว่าวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านเข้าไปสู่ภาคเอาท์พุทได้ แต่จะกันไม่ให้สัญญาณความถี่ต่ำเล็ดลอดออกไป แต่จากคุณสมบัติที่มีไม่เหมือนในอุดมคติ วงจรนี้จึงมีลักษณะเช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำ นั่นคือ เกิดความถี่คัทออฟ f_C ขึ้น และอัตราขยายจะค่อยๆ ลดลง คือไม่ตกลงในแนวดิ่งเลยที่เดียวดังรูป 2.5

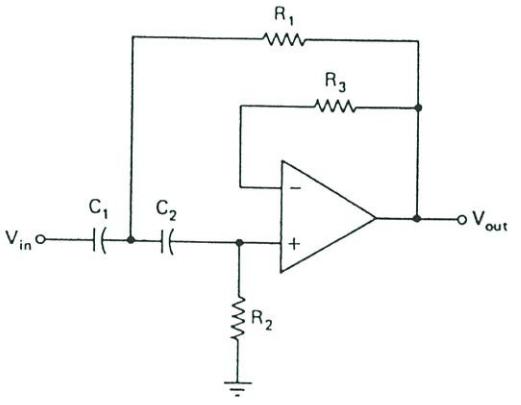


รูปที่ 2.5 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง



รูปที่ 2.6 วงจรกรองความถี่สูง มีความชันประมาณ -20 dB/decade

เราสามารถสร้างวงจรนี้โดยการสลับตำแหน่งของตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุของวงจรกรองความถี่ดังรูป 2.6 และสามารถอธิบายจากคุณสมบัติที่ว่า ที่ความสูง อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าต่ำกว่า f_c อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าสูง ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดตกคร่อมตัวเก็บประจุเอง และเป็นผลให้แรงดันคร่อมตัวต้านทานและแรงดันเอาท์พุทมีค่าต่ำมาก โดยที่วงจรในรูป 2.6 นี้มีความชันประมาณ -20 dB/decade และมีค่าความถี่คัทออฟซึ่งหาค่าได้จากสมการเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำ



$$f_C = \frac{1.414}{2\pi RC}$$ พิจารณาที่ความถี่ -3 dB

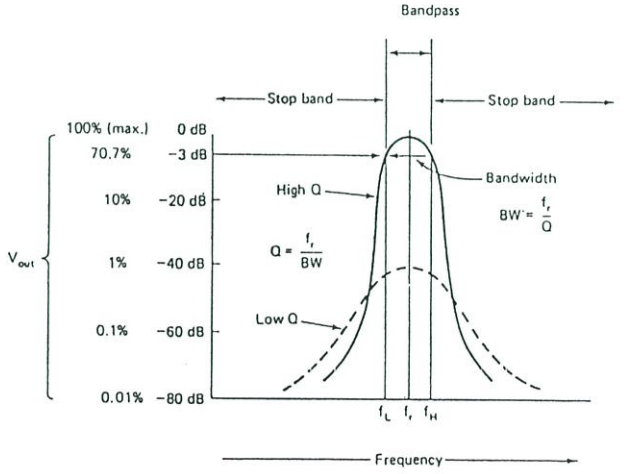
เมื่อ $R_1 = R_2$, $R_3 = R_1 + R_2$ และ $C_1 = C_2$

รูปที่ 2.7 วงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง -40 dB/decade

จากรูปที่ 2.7 แสดงวงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง -40 dB/decade และเพื่อการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด C_1 ควรมีค่าเท่ากับ C_2 R_3 ควรมีค่าเท่ากับ R_2 โดยมี R_2 เป็นตัวป้อนสัญญาณกลับเพื่อการกรองสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง

2.3.3 **วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน** (BAND PASS FILTER)

วงจรกรองความถี่เป็นช่วงหรือแบนด์พาสฟิลเตอร์ คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณบางความถี่ผ่านได้เท่านั้น รูป 2.8 แสดงคุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน



รูปที่ 2.8 คุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

จากรูปที่ 2.8 จะพบว่าความถี่ที่เอาท์พุทมีขนาดสูงสุด เราเรียกว่า ความถี่รีโซแนนท์ (Resonant Frequency) และความถี่ซึ่งมีแรงดันเอาท์พุทลดลง เหลือ 70.7% ทั้งทางด้านที่มีความถี่สูงขึ้น และที่ความถี่ลดลง เรียกว่า ความถี่ f_H และ f_L ตามลำดับ โดยที่ผลต่างของความถี่

ทั้งสองนี้ (f_C- f_L) จะแสดงแบนด์วิดธ์ (BW) ของวงจร ถ้า BW มีความถี่ต่ำกว่า 10% ของความถี่รีโซแนนท์ (f_r) จะเรียกวงจรนี้ว่า วงจรฟิลเตอร์ช่วงแคบ แต่จะเรียกว่าเป็นวงจรฟิลเตอร์ช่วงกว้าง หากแบนด์วิดธ์ มีค่าสูงกว่า 10% ของ f_r นอกจากนี้ยังให้นิยามสำหรับค่า Q (quality factor) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่รีโซแนนท์และแบนด์วิดธ์ ดังสมการ

$$Q = \frac{f_r}{BW} \tag{2.4}$$

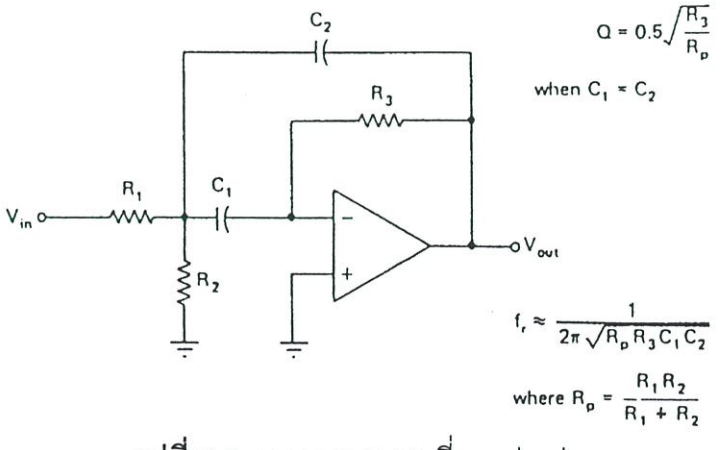
วงจรที่มีค่า Q สูงมากเท่าใด แบนด์วิดธ์ก็จะยิ่งแคบเท่านั้น (เข้าใกล้วงจรในอุดมคติซึ่งต้องการเลือกความถี่ที่ผ่านวงจรกรองได้เพียงค่าเดียว) และเอาท์พุทก็จะมีขนาดสูงขึ้นด้วยเส้นประในรูป 2-8 แสดงวงจรกรองแบนด์พาสที่มีค่า Q ค่อนข้างต่ำ

วงจรในรูปที่ 2.9 แสดงวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน ซึ่งใช้การรวมความถี่สูงและวงจรความถี่ต่ำเข้าด้วยกัน (โดยที่วงจรใดจะมาก่อนกันก็ได้) R_1 และ C_2 คืออุปกรณ์ในการกรองความถี่ต่ำ ส่วน C_1 และ R_2 ใช้กรองความถี่สูง และสามารถหาความถี่รีโซแนนซ์ f_r จากสมการ

$$f_r \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{R_P R_3 C_1 C_2}} \tag{2.5}$$

โดยที่ $R_P = R_1 // R_2$

$$R_P \equiv \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



รูปที่ 2.9 วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

หาค่า Q จากสมการ

$$Q = 0.5\sqrt{\frac{R_3}{R_P}}$$ เมื่อ $C_1 = C_2$

หาค่า f_H จากสมการ

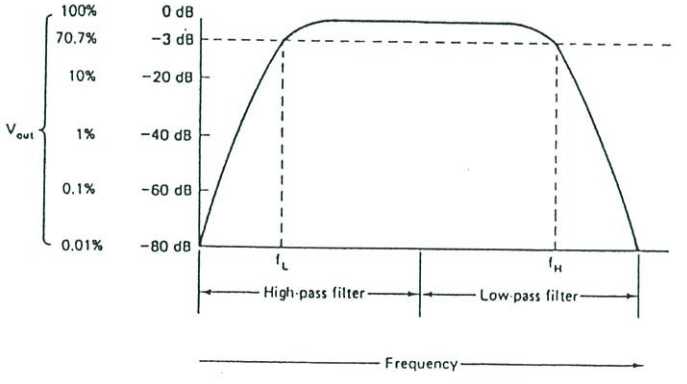
$$f_H = f_r + \frac{BW}{2}$$

และหาค่า f_L จากสมการ

$$f_L = f_r - \frac{BW}{2}$$

จากสมการในการคำนวณหา f_r และ Q จะพบว่าความต้านทาน R_3 จะมีบทบาทสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เมื่อตัวต้านทาน R_3 นี้มีค่าต่ำ f_r จะมีค่าสูง Q จะมีค่าต่ำ เป็นต้น

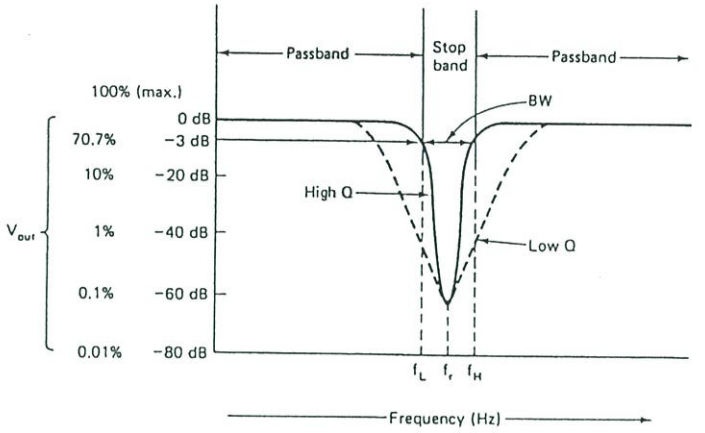
ดังนั้น จะสรุปได้ว่า ตัวต้านทาน R_3 จะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเลือกความถี่ของสัญญาณที่ต้องการให้ผ่านเข้ามา และความกว้างของช่วงความถี่นั้นๆ



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

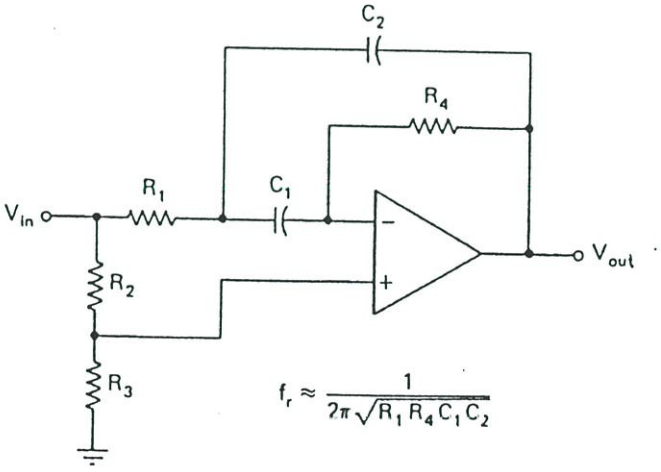
ในกรณีที่ต้องการวงจรกรองความถี่เป็นช่วงๆ ซึ่งมีช่วงกว้างมากๆ เราสามารถนำวงจรกรองความถี่ต่ำ และวงจรกรองความถี่สูงมาต่อรวมกันได้เลย โดยใช้ f_C ของวงจรกรองความถี่ต่ำเป็น f_H และใช้ f_C ของวงจรกรองความถี่สูงเป็น f_L ซึ่งจะได้กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ดังรูปที่ 2.10

2.3.4 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (Band Stop Filter)



รูปที่ 2.11 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด

วงจรนี้จะทำงานตรงข้ามกับวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน หรือ เรียกว่า วงจรนอท์ชฟิลเตอร์ (NOTCH FILTER) โดยที่วงจรนี้จะยอมให้ความถี่ทุกๆ ค่าผ่าน ยกเว้นความถี่ช่วงหนึ่งซึ่งได้กำหนดไว้ โดยทั่วไปวงจรชนิดนี้มักถูกใช้เพื่อกันสัญญาณรบกวนที่เราทราบค่าความถี่แล้ว รูปที่ 2.11 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด



รูปที่ 2.12 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน

จากรูปที่ 2.12 แสดงวงจรวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน โดยสามารถคำนวณ f_r จากสมการ

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_4 C_1 C_2}} \qquad (2.6)$$

และคำนวณค่า Q ของวงจรเมื่อ $C_1 = C_2$ จากสมการ

$$Q = 0.5\sqrt{\frac{R_4}{R_1}} \quad . \qquad (2.7)$$

นอกจากนี้ยังสามารถนำค่า Q นี้มาคำนวณหาความชันได้อีกด้วย โดยที่

$$\text{(ความชัน) } N = \frac{\frac{1}{Q} - \frac{1-R_P}{R_P}(2Q)}{\frac{1}{Q}} \qquad R_P = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

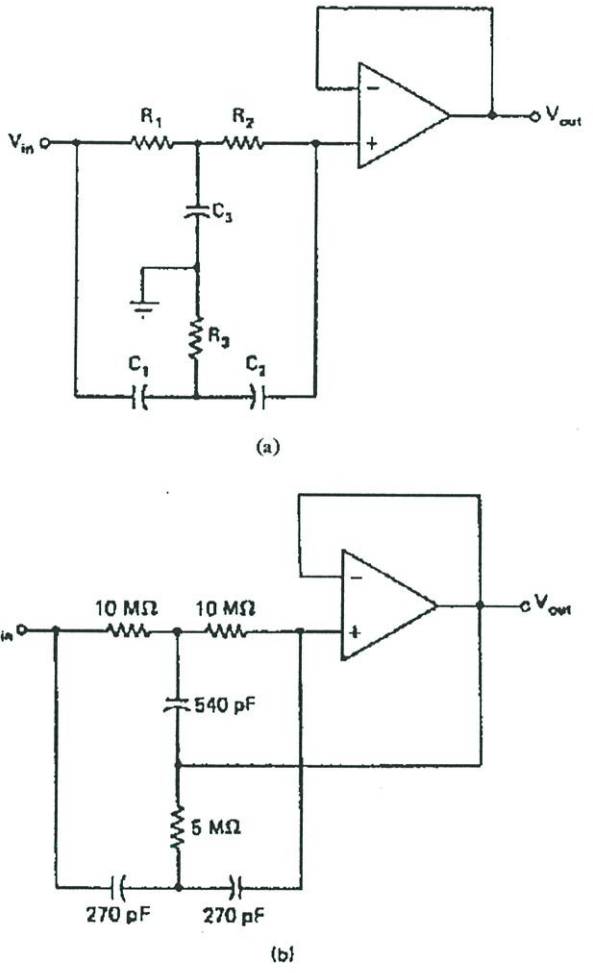
ซึ่งโดยปกติแล้ว R_3 ที่ใช้งานจะมีค่าสูงกว่า R_2 ประมาณ 50 เท่า

การทำงานของวงจรในรูป 2.12 สามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงดันอินพุท V_{in} จะถูกแบ่งตามอัตราส่วนระหว่าง R_2 และ R_3 ซึ่งแรงดันนี้จะถูกป้อนให้แก่ขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์ ที่ความถี่ต่ำกว่า f_r ค่าอิมพีแดนซ์ X_C ของตัวเก็บประจุจะสูงมาก ดังนั้นจึงไม่มีการป้อนสัญญาณกลับเป็นผลให้ V_{out} มีค่าประมาณ $(\frac{R_3}{R_2 + R_3})V_{in}$ ซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับ V_{in} มาก (เมื่อใช้ $R_3 = 50\ R_{in}$) แต่เมื่อความถี่ของอินพุทเข้าใกล้ f_r รีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุจะทำงานร่วมกับตัวต้านทานในการป้อนสัญญาณเอาท์พุทกลับสู่อินพุท เป็นผลทำให้แรงดันเอาท์พุทลดลง และเกิดการเลื่อนเฟสด้วย เมื่อความถี่ของอินพุทมีค่าสูงกว่า f_r อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะลดลง และเป็นผลให้ขั้วเอาท์พุทเสมือนถูกลัดวงจรกับขั้วอินพุทลบ นั่นคือ อัตราขยายมีค่าเป็น 1 กลายเป็นวงจรตามแรงดัน (ในการพิจารณาวงจรนี้ เมื่อกล่าวถึงกรณีที่อิมพีแดนซ์ของ C มีค่าสูงๆ ให้คิดว่า C ถูกเปิดวงจร และเมื่ออิมพีแดนซ์ของ C มีค่าลดลงให้คิดเสมือน (C ถูกลัดวงจร)

รูปที่ 2.13 แสดงวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด 'T' – คู่ ซึ่ง 'T' – คู่ นี้หมายถึง การนำอุปกรณ์พาสซีฟมาต่อในลักษณะของตัวอักษร T 2 ตัวกลับหัวกัน โดยมีออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์วงจรนี้มักให้ Q ค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 1) ส่วนวงจรในรูป 2.13 b) แสดงการนำวงจร

2.13 a) มาดัดแปลงเล็กน้อย โดยนำจุดต่อระหว่าง R_3 และ C_3 ไปป้อนที่เอาท์พุทของออปแอมป์ เป็นผลให้ค่า Q มีค่าสูงถึง 50 ซึ่งทำให้เกิดความชันมีค่าสูงมาก (ดังนั้น เอาท์พุทที่ได้จึงมีลักษณะแหลมมาก) โดยสมการในการคำนวณ f_r ยังคงเหมือนกับในรูป 2.13 a)

$$f_r \approx \frac{1}{2\pi R_1 C_2} \quad \text{เมื่อ } R_1 = R_2 = \frac{R_3}{2} \text{ และ } C_1 = C_2 = \frac{C_3}{2}$$



รูปที่ 2.13 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด 'T' – คู่

2.4 การออกแบบ และสร้างชุดปฏิบัติการ

แนวทางในการออกแบบการสร้างมีลำดับขั้นตอนดังนี้ (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530 : 25-45)

2.4.1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดปฏิบัติการไปใช้ในการสอนจากการตัดสินใจที่จะใช้ชุดปฏิบัติการสำหรับการใช้ในการสอนเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าชุดปฏิบัติการนำไปใช้กับนักศึกษากลุ่มใด และต้องทราบรายการวัตถุประสงค์ของเรื่องนั้น เพราะข้อมูลดังกล่าวจะนำมา

ใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานออกแบบ เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง ขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนการศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อให้การออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการเกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษาสภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นด้วย ในบางครั้ง ถ้าหากได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ควรที่จะศึกษารายละเอียดต่างๆ ด้วย เมื่อศึกษาข้อมูลต่างๆ แล้วจึงนำมาใช้เขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ และจะไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจงสุดท้ายตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง

2.4.2 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์ เป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

2.4.3 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ และชิ้นส่วนแล้วนำมาร่างเป็นภาพประกอบคร่าวๆ หรือร่างเป็นแบบง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบในขั้นตอนนี้อาจจะมีการประลอง หรือทดลองกลไกในหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้การสร้างต้นแบบประสบผลสำเร็จ อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามต้องการ

2.4.4 การเขียนแบบ ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงชิ้นเดียวก็ไม่จำเป็น แต่หากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป งานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิตหรือการสร้าง ดังนั้นแบบงานจะต้องเป็นแบบแยกชิ้นเดี่ยวที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับช่างที่จะทำการผลิตได้ งานเขียนแบบจะต้องมีการกำหนดเป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อย และแบบชิ้นเดี่ยว การเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิต และเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนวัสดุของหน่วยงาน

2.4.5 อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปต้องเตรียมเอกสารประกอบหรือคู่มือการใช้งาน เพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย และสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนต้องมีเอกสารประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เอกสารที่ต้องจัดเตรียมอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามจุดมุ่งหมายของงานเช่น คู่มือการใช้งาน เอกสารประกอบการศึกษา ทดลอง ตำรา ใบงาน แบบฝึกหัด และแบบทดสอบ เป็นต้น

2.4.6 ใบงานเป็นใบสั่งงานให้กับนักศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ซึ่งจะบอกลำดับขั้นในการทดลอง และแนวทางที่ใช้ในการค้นคว้าเพิ่มเติมในการปฏิบัติการ นับเป็นสื่อชนิดหนึ่ง ดังนั้นจะพบว่าใบงานมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างมาก และสิ่งที่จะต้องมีไว้ในใบงานมีดังนี้

2.4.6.1 วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติที่ชัดเจน

2.4.6.2 มีรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติ

2.4.6.3 มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง

2.4.6.4 มีวงจรที่ใช้ในการปฏิบัติ

2.4.6.5 มีข้อควรระวังในการปฏิบัติงาน

2.4.6.6 คำถามที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน

2.4.6.7 วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติโดยศึกษา เพื่อวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์ และแบ่งระดับความยาก-ง่ายของเนื้อหาวิชา ที่จะทำการออกแบบสื่อการเรียนการสอนซึ่งศึกษาจากตำรา เอกสารการสัมมนา ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา

2.4.8 การทดลองจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษา โดยผู้วิจัยเพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการลอกเลียนแบบขึ้นมาใหม่ เป็นต้น

2.4.9 การปรับปรุงข้อมูล และประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดทดลอง และใบงานที่มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับ

ชุดปฏิบัติการที่ทำให้การเรียนการสอนในสาขาวิชาวิศวกรรมบรรลุวัตถุประสงค์ได้จะต้องมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือ ค่าที่ได้จากการทดลองต้องใกล้เคียงกับค่าจริงหรือค่าที่สามารถคำนวณได้มากที่สุด การแสดงค่ารวมทั้งการทำงานควรให้ผู้เรียนสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วอย่างเป็นรูปธรรม (ยืน ภู่วรวรรณ. 2534 :3)

2.5 การหาประสิทธิภาพ

การเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีชุดปฏิบัติการเป็นสื่อเพื่อใช้ประกอบการเรียนภาคปฏิบัติ โดยผู้เรียนใช้ชุดปฏิบัติการทำการทดลอง เพื่อหาผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เรียนจากภาคทฤษฎี ครูผู้สอนจะต้องเตรียมชุดปฏิบัติการหรือสร้างชุดปฏิบัติการเป็นสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะในวิชาปฏิบัติ การมีชุดปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับหลักสูตรของรายวิชา และครูผู้สอนนำไปใช้อย่างถูกต้องจะเป็นผลทำให้กระบวนการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพซึ่ง

ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ หมายถึง คุณภาพของชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้น โดยวัดจากผลการปฏิบัติงานของ นักศึกษาที่เรียนด้วยชุดปฏิบัติการ และประสิทธิภาพ เป็นเครื่องมือที่สามารถทำให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด เชื่อถือได้มากโดยใช้วิธีการที่สะดวก รวดเร็ว คล่องตัว แต่เสียเวลาน้อย และลงทุนน้อย และใช้แรงงานน้อย (ภัทรา นิคมานนท์. 2539 : 14)

การหาประสิทธิภาพของสื่อเพื่อให้รู้ว่าสื่อที่เลือกหรือสร้างขึ้นมาสามารถใช้สอนได้ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยจะต้องมีการประเมินคุณภาพสื่อ (พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล. 2539) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.5.1 ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย

2.5.1.1 ด้านวัตถุประสงค์

(1) สื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์

(2) สื่อเหมาะสมกับระดับความยากง่ายของวัตถุประสงค์

2.5.1.2 เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด

(1) เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด

(2) เนื้อหาวิชาแยกย่อยได้

(3) เนื้อหาวิชาเรียงลำดับเป็นตรรก

2.5.1.3 ประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการสื่อความหมาย

(1) บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์

(2) สามารถลดการให้เนื้อหาแบบเลื่อนลอยให้มีความหมาย และเป้าหมายมากขึ้น

(3) สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดีและสั้นลง

(4) ช่วยเพิ่มกิจกรรมในการเรียนการสอน ให้ผู้เรียนกระตือรือร้นมากขึ้น

(5) ดึงดูดความสนใจของผู้เรียนให้ดีขึ้น

2.5.2 องค์ประกอบที่เกี่ยวกับคน

2.5.2.1 ด้านผู้เรียน สื่อที่ใช้เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

2.5.2.2 ด้านผู้สอน

(1) สื่อไม่จำเป็นอาศัยความสามารถพิเศษในการใช้สอน

(2) สื่อที่ใช้เหมาะสมกับประสบการณ์ของผู้สอน

2.5.3 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมและการนำไปใช้งาน

2.5.3.1 ด้านวัสดุอุปกรณ์

(1) ใช้วัสดุราคาพอสมควรกับความจำเป็น

(2) ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น

(3) อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบส่วนใหญ่หาได้ตามวิทยาลัยทั่วๆ ไป

2.5.3.2 ด้านเวลา

(1) เวลาที่ใช้ในการผลิตไม่มากนัก

(2) เวลาที่ใช้ในการแสดงสื่อนั้นไม่มากเกินไป

2.5.3.3 ด้านการใช้งาน

(1) สามารถนำไปใช้ง่าย และสะดวก

(2) ไม่ยุ่งยากในการเตรียมงาน

(3) ไม่ต้องการอุปกรณ์ช่วยพิเศษอื่นๆ ขณะไปใช้งาน

การประเมินโดยอาศัยหลักเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของชุดการสอนนั้น ใช้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 เป็นเกณฑ์ประเมินสำหรับเนื้อหาประเภทความรู้ความจำ และใช้เกณฑ์ 80/80 สำหรับเนื้อหาที่เป็นทักษะ (ไชยยศ. 2533 : 130)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เตือนใจ อาชีวพานิชย์ (2542 : บทคัดย่อ) ทำวิจัยเรื่องสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาการวิเคราะห์โครงข่าย โดยนำไปทดลองใช้กับนักศึกษาภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี ในภาคเรียนที่ 1 จำนวน 20 คน ผลปรากฏว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.02/80.32

สมศักดิ์ ธนพุทธิวิโรจน์ (2543 : บทคัดย่อ) ทำวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2535 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าชุดการสอนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ 80/80

พิพัฒน์ สมใจ (2545 : บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรอนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏว่า ชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรอนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.17/83.27 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดและเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีประสิทธิภาพของกระบวนการวัดผล จากคะแนนสอบท้ายการทดลองเฉลี่ยได้เท่ากับ 84.17 และมีประสิทธิภาพของการทดสอบหลังการทดลองครบ 6 ใบงานได้เท่ากับ 83.27

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี (2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผลการวิจัยพบว่าวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านการศึกษาอยู่ในเกณฑ์ดีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.60 และมีคุณภาพทาง

ด้านวิศวกรรมในเกณฑ์ดีมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.58 ซึ่งคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้นี้เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

สุนทร ก้องสินธุ (2547: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ผลการวิจัยพบว่าชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านเนื้อหาในระดับดีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.46 และมีคุณภาพทางด้านการผลิตสื่อในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

จากการศึกษาค้นคว้า ตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำมาสรุปเป็นแนวทางในการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่ที่สร้างขึ้น ควรให้มีขีดความสามารถใช้ในการทดลองได้หลายๆ เรื่องในชุดเดียวกันทั้งนี้ต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์หลักสูตรและจุดประสงค์รายวิชา

2. ชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรกรองความถี่จะประกอบไปด้วยแผงอุปกรณ์ หรือแผงวงจรที่ใช้ทำการทดลอง รวมทั้งใบปฏิบัติงานซึ่งจะประกอบด้วยวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เนื้อเรื่องโดยย่อ วงจรการทดลอง ค่าที่ต้องการจากการทดลอง ลำดับการทดลอง อุปกรณ์ และเครื่องมือ และสรุปผลการทดลอง

3. การจัดหาอุปกรณ์ในการสร้างชุดปฏิบัติการ ควรวัดค่าอุปกรณ์ทุกชิ้นที่มีความสัมพันธ์กับค่าผิดพลาดในการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้ผลที่ได้จากการทดลองมีความเที่ยงตรงสูงที่สุด

4. ชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นควรจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. ชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นต้องมีความแข็งแรงทนทาน

6. เทคโนโลยีเปลี่ยนไปชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นต้องยังสามารถใช้งานได้อยู่

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การสร้างเครื่องมือ

3.2.2 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนั้นผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ได้จากนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี จำนวน 20 คน จากจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนทั้งหมด 50 คน โดยเลือกเรียงตามรหัสประจำตัวนักศึกษา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างขึ้นเองประกอบด้วย

1. ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่
2. แบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่
3. แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการสังเกตเพื่อวัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะ

3.2.1 การสร้างเครื่องมือ

3.2.1.1 การสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่

(1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับข้องจากตำราและเอกสารต่างๆ และผู้ที่เคยสอนรายวิชานี้ เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบและสร้างวงจรต่างๆ ที่จะประกอบเป็นชุดปฏิบัติการ

(2) ออกแบบชุดปฏิบัติการ

(3) นำแบบชุดปฏิบัติการที่ผู้วิจัยออกแบบ ไปให้ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบ หากมีข้อบกพร่องต้องทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

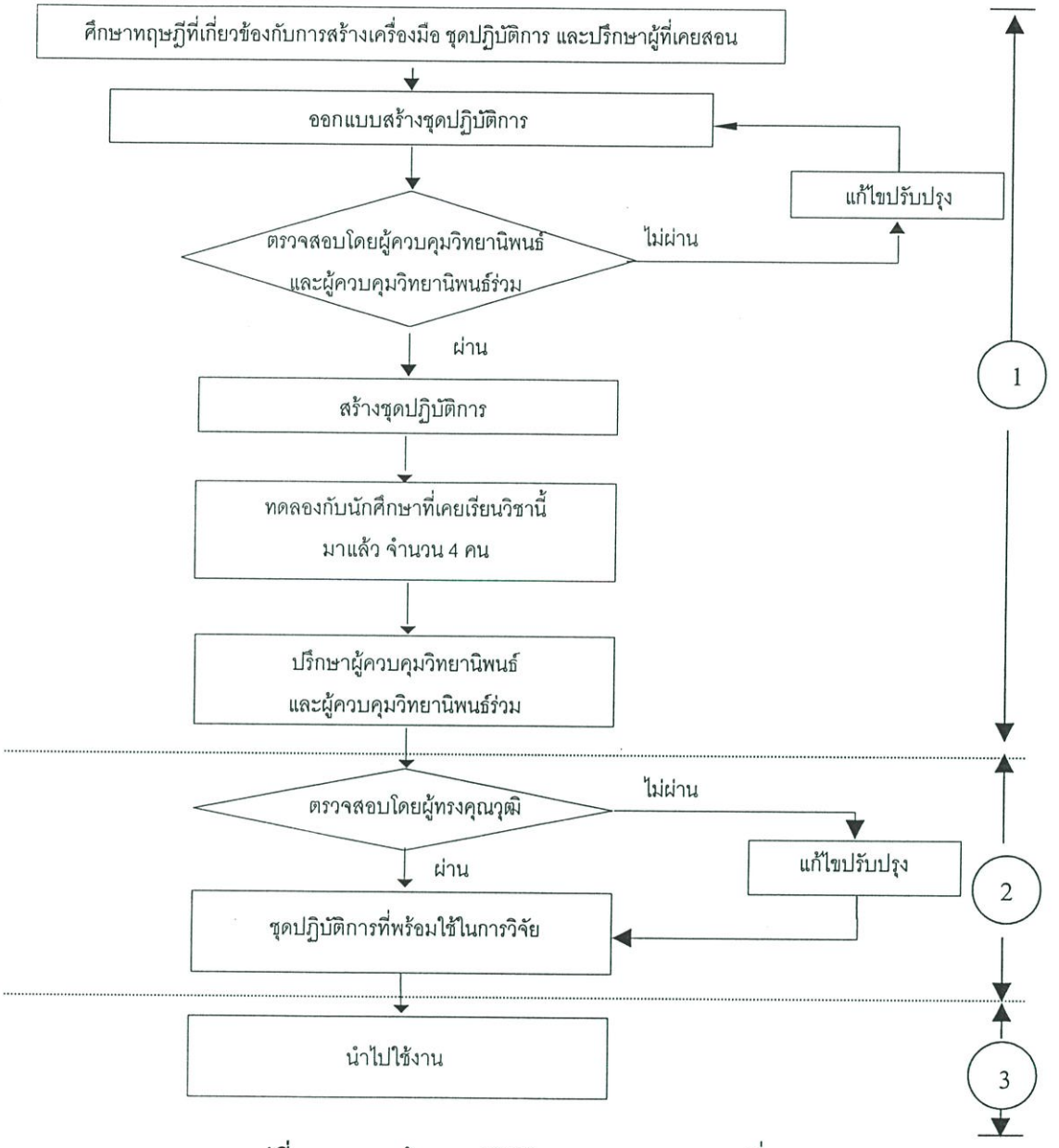
(4) เมื่อผ่านการตรวจสอบจากผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมแล้วจึงทำการสร้างชุดปฏิบัติการ

(5) นำชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปทำการทดลอง กับนักศึกษาสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่เคยเรียนวิชานี้ผ่านมาแล้ว จำนวน 4 คน เพื่อหาข้อบกพร่องของชุดปฏิบัติการแล้วนำมาแก้ไขปรับปรุง

(6) นำชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปทำการปรับปรุงแล้ว นำไปปรึกษาผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

(7) นำชุดปฏิบัติการไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบโดย แบบแสดงความคิดเห็นเพื่อหาระดับคุณภาพชุดปฏิบัติการที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น

(8) ได้ชุดปฏิบัติการที่พร้อมจะนำไปใช้เพื่อการวิจัยต่อไป



รูปที่ 3.1 การสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่

3.2.1.2 **การสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่**

(1) สร้างแบบประเมินคุณภาพ ของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับในการให้คะแนน ดังนี้ (Best. 1970 : 179-187)

1) ระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิมี 5 ระดับ

5 หมายถึง เห็นด้วย ดีมาก

4 หมายถึง เห็นด้วย ดี

3 หมายถึง เห็นด้วย ปานกลาง

2 หมายถึง เห็นด้วย น้อย

1 หมายถึง เห็นด้วย น้อยที่สุด

2) เกณฑ์การประเมินระดับคุณภาพ

4.50-5.00 หมายถึง มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก

3.50-4.49 หมายถึง มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับดี

2.50-3.49 หมายถึง มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง

1.50-2.49 หมายถึง มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับน้อย

1.00-1.49 หมายถึง มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับน้อยที่สุด

(2) แบบแสดงความคิดเห็น ของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ เสนอต่อผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อไปปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ

(3) ให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบโดยแบบแสดงความคิดเห็น

(4) นำแบบแสดงความคิดเห็นของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ที่ประเมินแล้วมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$)

ผลการตรวจสอบคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ซึ่งประกอบด้วยชุดฝึกและใบปฏิบัติงานที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ชุดฝึกได้ค่าเฉลี่ย 4.84 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (ภาคผนวก ง : 169) ใบปฏิบัติงาน ได้ค่าเฉลี่ย 4.80 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก (ภาคผนวก ง : 170)

3.2.1.3 การสร้างแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตเพื่อวัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะ

(1) ศึกษาวิธีสร้างและเทคนิคการสร้าง แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตเพื่อวัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะของนักศึกษา จากเอกสารเกี่ยวกับการการสร้างแบบประเมินโดยการสังเกต

(2) ศึกษาเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง วงจรกรองความถี่

(3) สร้างแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตชนิดแบบตรวจสอบรายการเพื่อ วัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะ

(4) นำแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและเสนอแนะ

(5) นำแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต มาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องแล้ว นำเสนอ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

(6) นำแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต ที่แก้ไขแล้วไปใช้กับนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็ก - ทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต มีความเหมาะสม มีความตรงและเชื่อถือได้ (ภาคผนวก ง : 171)

3.2.2 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

3.2.2.1 ชุดฝึก ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึกด้วยการสร้างแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

1. นายอำนวย สุปะติ ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์
2. นายวัฒนชัย บุญสุข ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุรนารี
3. นายวิโรจน์ ธิมา ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคศรีษะเกษ

3.2.2.2 เนื้อหา ใบปฏิบัติงานผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของเนื้อหา ใบงานด้วยการสร้างแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบปฏิบัติงานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

1. นายมนตรี พรหมเพ็ชร ตำแหน่ง ศึกษานิเทศก์ 8 ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษา 1 กรมอาชีวศึกษา
2. นายวีระศักดิ์ สุวรรณเพชร ตำแหน่ง อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคยโสธร
3. นายแฉล้ม ฉิมชาติ ตำแหน่ง อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

3.2.2.3 แบบประเมิน ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของแบบประเมิน ด้วยการสร้างแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

1. นายมนตรี พรหมเพ็ชร ตำแหน่ง ศึกษานิเทศก์ 8 ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษา 1 กรมอาชีวศึกษา
2. นายวีระศักดิ์ สุวรรณเพชร ตำแหน่ง อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคยโสธร
3. นายแฉล้ม ฉิมชาติ ตำแหน่ง อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ จำนวน 20 คน โดยดำเนินการทดลองดังนี้

3.3.1 ให้อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดปฏิบัติการ ตรวจสอบเครื่องมือที่จะนำไปใช้

3.3.2 กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

3.3.3 บันทึกขออนุญาต ในการนำเอาชุดปฏิบัติการ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้เสนอขออนุญาตต่อ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

3.3.4 แนะนำกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับการใช้ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ขอบข่ายเนื้อหา วัตถุประสงค์และคำชี้แจงในการปฏิบัติการทดลอง

3.3.5 นำชุดปฏิบัติการมาดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี จำนวน 20 คน ภาคเรียนที่ 1/2546 จากจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนทั้งหมด 50 คน โดยเลือกเรียงตามรหัสประจำตัวนักศึกษาจากนักศึกษาลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 20 โดยมีการทดลอง 4 หัวข้อใบปฏิบัติงาน ในแต่ละใบปฏิบัติงานจะมีการประเมินระหว่างปฏิบัติการทดลองเป็นแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต เมื่อทดลองครบทั้ง 4 หัวข้อใบปฏิบัติงานเสร็จสิ้นแล้วก็จะมีแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลอง

ของใบงานขั้นสุดท้าย อีกครั้งหนึ่ง ผู้ประเมินได้แก่ ผู้วิจัยซึ่งเป็นอาจารย์ประจำวิชาและอาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ อีก 2 ท่าน รวมเป็น 3 ท่าน ใช้แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการสังเกต แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ตามวิธีการทางสถิติ

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติดังนี้ (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2536)

3.4.1.1 การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\bar{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad (3.1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนน

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

3.4.1.2 การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2}{N(N-1)}} \qquad (3.2)$$

เมื่อ $S.D.$ คือ ความส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

$\sum X$ คือ คะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิของแต่ละคน

$\sum X^2$ คือ ผลรวมของคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิ

3.4.2 **การหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ** (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ 2521 : 136)

$$E_1 = \frac{\left(\frac{\sum X}{N}\right)}{A} \times 100$$

$$E_2 = \frac{\left(\frac{\sum Y}{N}\right)}{B} \times 100 \qquad (3.3)$$

เมื่อ E_1 คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากคะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน

E_2 คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย

$\sum X$ คือ คะแนนรวมของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลอง แต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน

$\sum Y$ คือ คะแนนรวมของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย

A คือ คะแนนเต็มของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลอง แต่ละหัวข้อ ใบปฏิบัติงาน

B คือ คะแนนเต็มของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต การปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา โดยนำเนื้อหาทั้งหมดมาสร้างเป็นชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ เมื่อทำการสร้างเสร็จแล้ว ได้ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 โดยวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านชุดฝึก

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านเนื้อหาและใบงาน

4.3 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านชุดฝึก

การประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านชุดฝึก วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดฝึก

รายการประเมิน	$\bar{X}$	*S.D.*	ระดับคุณภาพ
ชุดฝึก			
1. เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.67	0.57	ดีมาก
2. มีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์	5.00	0.00	ดีมาก
3. อุปกรณ์การสอนทำให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้	5.00	0.00	ดีมาก
4. อุปกรณ์การสอนให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้	4.67	0.57	ดีมาก
5. นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้อุปกรณ์	5.00	0.00	ดีมาก
6. ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์	5.00	0.00	ดีมาก
7. มีความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน	5.00	0.00	ดีมาก
8. มีความสะดวกในการดำเนินการสอน	5.00	0.00	ดีมาก
9. ความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง	5.00	0.00	ดีมาก
10. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน	5.00	0.00	ดีมาก
11. รูปร่าง ขนาดมีความเหมาะสม	4.33	0.57	ดี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	*S.D.*	ระดับคุณภาพ
12. มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน	4.67	0.57	ดีมาก
13. ความสะดวกในการบำรุงรักษา	5.00	0.00	ดีมาก
14. มีความคงทนแข็งแรง	5.00	0.00	ดีมาก
15. ต้นทุนการผลิตคุ้มกับประโยชน์ที่ได้รับ	4.67	0.57	ดีมาก
รวม	4.84	0.19	ดีมาก

ที่มาของหัวข้อรายการให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินนั้นได้มาจากประสบการณ์ ในด้านการสอนรายวิชาปฏิบัติของผู้วิจัย

จากตารางที่ 4.1 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดฝึก มีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อรายการประเมินดังนี้ (2) มีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์ (3) อุปกรณ์การสอนทำให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ (5) นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้อุปกรณ์ (6) ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ (7) ความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน (8) มีความสะดวกในการดำเนินการสอน (9) ความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง (10) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน (13) ความสะดวกในการบำรุงรักษา (14) มีความคงทนแข็งแรง โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 รองลงมาคือ (1) ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน (4) อุปกรณ์การสอนให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้ (12) มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน (15) ต้นทุนการผลิตคุ้มกับประโยชน์ที่ได้รับ โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57 รองลงมาคือ (11) รูปร่าง ขนาดมีความเหมาะสม โดยมีระดับความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57

ดังนั้น เมื่อสรุปโดยรวมแสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดฝึก จำนวน 3 คน มีความคิดเห็นว่าคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านชุดฝึกที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับ ดีมาก ได้ค่าเฉลี่ย 4.84 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.19

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านเนื้อหาและใบงาน

การประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ด้านเนื้อหาและใบงาน วิชาออปแอมป์และการใช้งาน ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาวิชา และใบงาน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	*S.D.*	ระดับคุณภาพ
เนื้อหาวิชา			
1. ใบงานครอบคลุมวัตถุประสงค์	5.00	0.00	ดีมาก
2. ความถูกต้องของเนื้อหา	5.00	0.00	ดีมาก
3. การเรียงลำดับเนื้อหาวิชาก่อนหลัง	5.00	0.00	ดีมาก
4. ความยากง่ายของเนื้อหา	4.33	0.57	ดี
5. ความเหมาะสมของลำดับขั้นความรู้	4.66	0.57	ดีมาก
6. เหมาะสมกับผู้เรียน	4.66	0.57	ดีมาก
ใบงาน			
7. ความเหมาะสมกับลำดับขั้นความรู้	5.00	0.00	ดีมาก
8.ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้น	5.00	0.00	ดีมาก
9. คำอธิบายลำดับขั้นการปฏิบัติเข้าใจง่าย	4.66	0.57	ดีมาก
10. รูปวงจร ตารางกราฟ ถูกต้อง	4.66	0.57	ดีมาก
11. เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน	5.00	0.00	ดีมาก
12. ความสะดวกในการบันทึกค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง	4.66	0.57	ดีมาก
รวม	4.80	0.28	ดีมาก

ที่มาของหัวข้อรายการให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินนั้นได้มาจากประสบการณ์ ในด้านการสอนรายวิชาปฏิบัติของผู้วิจัย

จากตารางที่ 4.2 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและใบงานมีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อรายการประเมินดังนี้ ด้านเนื้อหา (1) ใบงานครอบคลุมวัตถุประสงค์ (2) ความถูกต้องของเนื้อหา (3) การเรียงลำดับเนื้อหาวิชาก่อนหลัง โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 รองลงมาคือ (5) ความเหมาะสมของลำดับขั้นความรู้ (6)

เหมาะสมกับผู้เรียน โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57 รองลงมาคือ (4) ความยากง่ายของเนื้อหา โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57 ด้านใบงาน (7) ความเหมาะสมกับลำดับขั้นความรู้ (8) ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้น (11) เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 รองลงมาคือ (9) คำอธิบายลำดับขึ้นการปฏิบัติเข้าใจง่าย (10) รูปวงจร ตารางกราฟ ถูกต้อง (12) ความสะดวกในการบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57

ดังนั้น เมื่อสรุปโดยรวมแสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและใบงานจำนวน 3 ท่านมีความคิดเห็นว่า คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านเนื้อหาและใบงาน ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับ ดีมาก ได้ค่าเฉลี่ย 4.80 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28

4.3 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่

4.3.1 การทดลองใช้ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่กับกลุ่มตัวอย่าง

การทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง เป็นการทดลองมีจุดมุ่งหมายเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 โดยทดลองกับนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 20 คน ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในภาคเรียนที่ 1/2546 จำนวน 20 คน จากจำนวนนักศึกษาทั้งหมด 50 คน โดยเลือกเรียงตามรหัสประจำตัวนักศึกษาจากนักศึกษาลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 20 โดยมีการทดลอง 4 หัวข้อใบปฏิบัติงาน ในแต่ละใบปฏิบัติงานจะมีการประเมินระหว่างปฏิบัติการทดลองเป็น แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต เมื่อทดลองครบทั้ง 4 หัวข้อใบปฏิบัติงาน เสร็จสิ้นแล้วก็จะมีแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลอง ของใบงานขั้นสุดท้าย อีกครั้งหนึ่ง เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติ 3 ชั่วโมงต่อ 1 ใบปฏิบัติงาน รวมใช้เวลาทั้งสิ้น 15 ชั่วโมง ผู้ประเมินได้แก่ผู้วิจัยซึ่งเป็นอาจารย์ประจำวิชาและอาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ อีก 2 ท่าน รวมเป็น 3 ท่าน ใช้แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 20 คน

รายการ	จำนวนผู้เรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนจากแบบประเมิน วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต ระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน	20	200	169.70	84.85	80
คะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการทดลอง ขั้นสุดท้าย	20	50	42.80	85.60	80

จากตารางที่ 4.3 ผลปรากฏว่า ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ที่สร้างขึ้น นักศึกษาทำคะแนนจากแบบประเมินโดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน ของนักศึกษาเฉลี่ยได้ 169.70 คะแนนจากคะแนนเต็มทั้งหมด 200 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 84.85 และทำคะแนนจากแบบประเมินโดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย ของนักศึกษาเฉลี่ยได้ 42.80คะแนน จากคะแนนเต็ม 50 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 85.60 ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.85/85.60 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด (รายละเอียดที่มาของคะแนน ภาคผนวก ค : 172 – 174)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ได้สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

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 อภิปรายผลผลการวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ที่มีคุณภาพ

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

5.1.2 สมมติฐานของการวิจัย

ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 (E_1/E_2)

5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร

นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในภาคเรียนที่ 1/2546

2. กลุ่มตัวอย่าง

นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในภาคเรียนที่ 1/2546 จำนวน 20 คน

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ ชุดฝึก วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี เรื่องวงจรกรองความถี่ แบบประเมินคุณภาพ และแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ประกอบด้วย ชุดฝึกและใบปฏิบัติงาน วงจรกรองความถี่ต่ำ วงจรกรองความถี่สูง วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดและใบปฏิบัติงานขั้นสุดท้าย

2. แบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านชุดฝึก

3. แบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านเนื้อหาและใบงาน

4. แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตเพื่อวัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะของนักศึกษา

5.1.5 การเก็บรวมรวมข้อมูล

การทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ จำนวน 20 คน โดยดำเนินการทดลองดังนี้

1. ให้อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านชุดปฏิบัติการ ตรวจสอบเครื่องมือที่จะนำไปใช้

2. กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

3. บันทึกขออนุญาต ในการนำเอาชุดปฏิบัติการ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้เสนอขออนุญาตต่อ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

4. แนะนำกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับการใช้ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ขอบข่ายเนื้อหา วัตถุประสงค์และคำชี้แจงในการปฏิบัติการทดลอง

5. นำชุดปฏิบัติการมาดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052003 ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ภาคเรียนที่ 1/2546 จำนวน 20 คน จากจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนทั้งหมด 50 คน โดยเลือกเรียงตามรหัสประจำตัวนักศึกษาจากนักศึกษาลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 20 โดยมีการทดลอง 4 หัวข้อใบปฏิบัติงาน ในแต่ละใบปฏิบัติงานจะมีการประเมินระหว่างปฏิบัติการทดลองเป็น แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต เมื่อทดลองครบทั้ง 4 หัวข้อใบปฏิบัติงาน เสร็จสิ้นแล้วก็จะมีแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลอง ของใบงานขั้นสุดท้าย อีกครั้งหนึ่ง ผู้ประเมินได้แก่ ผู้วิจัยซึ่งเป็นอาจารย์ประจำวิชาและอาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ อีก 2 ท่าน รวมเป็น 3 ท่าน ใช้แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ตามวิธีการทางสถิติ

5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1. วิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ด้านเนื้อหาและใบงาน
2. วิเคราะห์คุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ด้านชุดฝึก
3. วิเคราะห์คุณภาพของ แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตเพื่อวัดความสามารถการปฏิบัติและทักษะของนักศึกษา
4. วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ โดยใช้เกณฑ์ 80/80

5.1.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ
2. คุณภาพของชุดปฏิบัติการ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ มีความคิดเห็นเกี่ยวกับชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ด้านชุดฝึกที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.84
3. คุณภาพของชุดปฏิบัติการ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ มีความคิดเห็นเกี่ยวกับชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ด้านเนื้อหาและใบงาน ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับ ดีมาก ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80

4. คุณภาพของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตเพื่อวัดความสามารถการปฏิบัติงานและทักษะของนักศึกษา โดยผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นเกี่ยวกับแบบประเมินที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะใช้วัดความสามารถในการปฏิบัติงานและทักษะของนักศึกษา

5. ทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏว่า ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.85/85.60 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดและเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีประสิทธิภาพของกระบวนการวัดผล ที่ได้จากคะแนนที่นักศึกษา ทำคะแนนตามแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงานของนักศึกษา ได้เท่ากับ 84.85 และมีประสิทธิภาพที่ได้จากนักศึกษาทำคะแนนตามแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย ของนักศึกษา ได้เท่ากับ 85.60

6. จากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่านักศึกษาที่ทดลองกับชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่มีความสนใจในแต่ละใบปฏิบัติงาน และมีความตั้งใจในการเรียนรู้ ซึ่งผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่านักศึกษาตั้งใจปฏิบัติการทดลอง การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์วัดและทดสอบ การประกอบวงจร วิเคราะห์การทำงาน การออกแบบวงจร ในแต่ละใบปฏิบัติงาน จดบันทึกผลการทดลองและสรุปผลการทดลองตามที่ใบปฏิบัติงานกำหนดในทุกขั้นตอน ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการที่นักศึกษาทำใบปฏิบัติงานเพื่อเก็บคะแนน และอีกสาเหตุหนึ่งที่ได้สอบถามกับนักศึกษาหลังทำการทดลองแล้วพบว่า นักศึกษาไม่เคยได้ทดลองกับชุดทดลองแบบที่มีอุปกรณ์ครบ เช่น มีแผงเสียบอุปกรณ์ , วงจรทดสอบไอซี , ชุดกำเนิดความถี่ , เครื่องมือวัด , แหล่งจ่ายไฟ, ตัวต้านทานแบบคงที่โดยใช้สวิทช์เลือก , ตัวต้านทานปรับค่าได้, ตัวเก็บประจุโดยใช้สวิทช์เลือก , ชุดสวิทช์ควบคุม อยู่ในชุดเดียวกัน จึงทำให้นักศึกษาเกิดความสนใจ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และการใช้งาน สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นไปตามสมมุติฐานของการวิจัย โดยค่าประสิทธิภาพตัวแรก (E_1) ได้จากคะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงานของนักศึกษา มีค่าคะแนนคิดเป็นร้อยละ 84.85 เป็นไปตาม

เกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 80 และค่าประสิทธิภาพตัวหลัง(E_2) ได้จากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้ายของนักศึกษา มีค่าคะแนนคิดเป็นร้อยละ 85.60 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด และยอมรับว่ามีประสิทธิภาพ

จากผลการวิจัยค่าประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ที่ได้จากการทดลอง ในครั้งนี้มีค่าเป็นตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. การทดลองในห้องทดลอง เป็นการฝึกปฏิบัติที่มุ่งให้นักศึกษาได้เรียนรู้หลักการ และข้อเท็จจริงจากการที่คนอื่นๆ ได้ค้นพบแล้ว เป็นการทบทวนและย้ำว่าข้อเท็จจริงนั้นเป็นไปตามที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้วอย่างไรบ้าง เป็นการพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วในชั้นเรียน นอกจากนั้นยังมุ่งหวังที่จะให้นักศึกษาได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างถูกต้อง และเหมาะสม เป็นการเริ่มต้นแนวทางประดิษฐ์ และการคิดค้นสิ่งใหม่ๆ อีกต่อไป (สุรพล ปุ้นต้นทอง. 2536 : 10)

2. ผลการวิเคราะห์ จากแบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ แบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ด้านชุดฝึก จากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ย 4.84 มีความหมายของระดับคุณภาพในระดับ ดีมาก (ภาคผนวก ง : 169) และด้านเนื้อหาและใบงาน จากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ย 4.80 มีความหมายของระดับคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก (ภาคผนวก ง : 170) แสดงว่าชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ชุดฝึก ใบปฏิบัติงาน มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต มีความเหมาะสม มีความตรงและเชื่อถือได้ (ภาคผนวก ง : 171)

3. การทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่กับ กลุ่มตัวอย่าง 20 คน เมื่อพิจารณาแล้วปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาทำคะแนน จากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงานของนักศึกษา และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่ได้ จากคะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้ายของนักศึกษา โดยคิดเป็นร้อยละ 84.85/85.60 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมาใช้ในการเรียนการสอนวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยชุดปฏิบัติการจะเป็นการกระตุ้นให้นักศึกษามีความสนใจในการทดลองแต่ละใบงาน และนักศึกษาก็จะเกิดการเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเอง จึงทำให้ผลการเรียนรู้ของการทดลองครั้งนี้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ดังนั้นชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้กับผู้เรียนวิชาอื่นที่เรียนเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเรื่องวงจรกรองความถี่และออปแอมป์ได้ หรือผู้สนใจในเรื่องของวงจรออปแอมป์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และการใช้งาน ผู้วิจัยขอเสนอแนะดังนี้

1. การออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการที่ใช้ในการเรียนการสอนในภาคปฏิบัติ ควรคำนึงถึงความสัมพันธ์ของชุดฝึกและใบปฏิบัติงาน ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของหลักสูตรและให้มีความสอดคล้องและตอบสนองกันได้อย่างครบถ้วน

2. ควรทำการศึกษา ชุดปฏิบัติการต่าง ๆ เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ในการสร้างชุดปฏิบัติการ แต่ไม่จำเป็นต้องนำเอามาใช้ทั้งหมด ควรเลือกเฉพาะที่จำเป็นต้องใช้กับรายวิชาเท่านั้น

3. ควรทำการศึกษารูปแบบของชุดปฏิบัติการที่ได้มีการสร้างขึ้นไว้แล้วหลายๆ ตัวอย่าง เพื่อให้ได้มาซึ่งเทคนิควิธีการ

4. ในการออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรคัดเลือกอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดและหาซื้อได้ง่ายราคาไม่แพง โดยต้องทำการทดสอบก่อนด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐาน

5. ในการจัดการเรียนการสอน ควรจะมีการทำความเข้าใจกับนักศึกษา ในเรื่องต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาและอุปสรรคในการเรียน อันเป็นผลไปถึงความตั้งใจในการเรียน จากชุดปฏิบัติการ

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการวิจัยเพื่อสร้างชุดปฏิบัติการ ที่ใช้ในการเรียนการสอน การทดลองต่างๆ และพัฒนาจนเป็นที่ยอมรับว่าชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพและราคาถูก

2. ควรทำการวิจัยและพัฒนาชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ให้ครบทุกเรื่องตามหลักสูตร

3. ควรศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการสร้างชุดปฏิบัติการ เช่น แหล่งจัดซื้อ-วัสดุ อุปกรณ์ และเรื่องอื่นๆ อันเป็นผลที่จะนำมาซึ่งความสำเร็จในการวิจัยและพัฒนาชุดปฏิบัติการ

บรรณานุกรม

กรมวิชาการ. 2542. **พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542.** กรุงเทพฯ : กรมวิชาการ.

กรมอาชีวศึกษา. 2545. **วิสัยทัศน์กรมอาชีวศึกษา พ.ศ. 2545 – 2549** : กระทรวงศึกษาธิการ

กลุ่ม CNS. 2535. **ออปแอมป์.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

ชัชวาลย์ มูลศรี. 2540. "การพัฒนาชุดประลองสำหรับการสอนภาคปฏิบัติแบบจำลองเรื่องวงจรทรานซิสเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice Version 6.1 for Windows 3.11." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2521. **ระบบสื่อการสอน.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไชยยศ เรืองสุวรรณ. 2533. **เทคโนโลยีการสอน : การออกแบบและพัฒนา.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

เตือนใจ อาชีวพานิชย์. 2542. "การสร้างและหาประสิทธิภาพ ชุดการสอนวิชาการวิเคราะห์วงจรเครือข่าย." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พร้อม แย้มมณฑา. 2545. **ออปแอมป์และการใช้งาน.** กรุงเทพฯ : วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี.

พวงทอง มีมั่นคง. 2537. **การสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับประถมศึกษา.** กรุงเทพฯ : พัฒนาการศึกษา.

พัฒนาการศึกษา . **พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542**

พิพัฒน์ สมใจ . 2545. "การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตร อนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิสิฐ เมธาภัทร และธีรพล เมธีกุล. 2539. **ยุทธวิธีการสอนวิชาเทคนิค.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภัทรา นิคมานนท์. 2539. **การวัดและการประเมินผลและการสร้างแบบทดสอบ.** กรุงเทพฯ : อักษรบัณฑิต.

ยืน ภู่สุวรรณ. 2534. **หลักการและแนวทางการจัดหาครุภัณฑ์การศึกษาในสาขางานวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530. **แนวทางการออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอนประเภทอุปกรณ์สาธิต.** วารสารอาชีวศึกษา.

สมศักดิ์ ธนพุทธวิโรจน์. 2543. "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2535." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. **แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติ ฉบับที่** 9 **พ.ศ.** 2545 – 2549).

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. 2540. **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.** 2540. กรุงเทพฯ : กระทรวงศึกษาธิการ.

สุนทร ก้องสินธุ. 2547. "การพัฒนาชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี. 2546. "การออกแบบวงจรสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรพล ปุ้นต้นทอง. 2536. "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองการปฏิบัติการเครื่องมือวัดดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Best John W. 1970. **Research in Education.** Englewood Cliffs , NS : Prentice Hall.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือราชการ

ภาคผนวก ข ชุดปฏิบัติการและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ภาคผนวก ค แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

ภาคผนวก ง ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

ภาคผนวก ก
หนังสือราชการ

คำสั่งคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ 106 /2546
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและ
เค้าโครงวิทยานิพนธ์ ของ นายยุทธพิชัย กล้าหาญ

เพื่อให้การเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ นายยุทธพิชัย กล้าหาญ เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพจึงแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อควบคุมและพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ดังต่อไปนี้

1. คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
ผศ.สถาพร	ดีบุญมี ณ ชุมแพ	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

2. คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

ดร.สุรสิทธิ์	ราตรี	ประธานกรรมการ
ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	กรรมการ
ผศ.สถาพร	ดีบุญมี ณ ชุมแพ	กรรมการ
ดร.ณรงค์	พิมสาร	กรรมการ
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	กรรมการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2546

(รองศาสตราจารย์ รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดี

ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายยุทธพิชัย กล้าหาญ รหัสประจำตัว 44064601 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และการใช้งาน ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ (CONSTRUCT AND FIND EFFICIENCY DEMONSTRATION FILTER CIRCUIT OPERATION AMPLIFIER AND USE SUBJECT IN DIPLOMA CURRICULUM DEVELOPMENT OF VOCATIONAL EDUCATION MINISTRY OF EDUCATION)" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.สถาพร ดีบุญมี ณ ชุมแพ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2546

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2546

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก วีระเชษฐ์ ขันเงิน)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ
ปฏิบัติราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ศธ 0524.04/ 0440

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๑๕ สิงหาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายมนตรี พรหมเพ็ชร

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และการใช้งานตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมพิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามเพื่อการวิจัยด้านใบปฏิบัติงาน ดังที่แนบมาพร้อมนี้ ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของ นายยุทธิพชัย กล้าหาญ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 0-2326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0440

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

25 สิงหาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายแฉล้ม ฉิมชาติ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และการใช้งานตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมพิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามเพื่อการวิจัยด้านใบปฏิบัติงาน ดังที่แนบมาพร้อมนี้ ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของ นายยุทธิพชัย กล้าหาญ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 0-2326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0440

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๒๕ สิงหาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายวีระศักดิ์ สุวรรณเพชร

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และการใช้งานตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมพิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามเพื่อการวิจัยด้านใบปฏิบัติงาน ดังที่แนบมาพร้อมนี้ ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของ นายยุทธิพชัย กล้าหาญ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 0-2326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0440

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

25 สิงหาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายวิโรจน์ ธิมา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และการใช้งานตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมพิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามเพื่อการวิจัยด้านชุดฝึก ดังที่แนบมาพร้อมนี้ ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของนายยุทธิพชัย กล้าหาญ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 0-2326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0490

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

25 สิงหาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายอำนวย สุปะติ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และการใช้งานตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมพิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามเพื่อการวิจัยด้านชุดฝึก ดังที่แนบมาพร้อมนี้ ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของนายยุทธิพชัย กล้าหาญ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 0-2326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0440

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

15 สิงหาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายวัฒนชัย บุญสุข

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และการใช้งานตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมพิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามเพื่อการวิจัยด้านชุดฝึก ดังที่แนบมาพร้อมนี้ ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของนายยุทธิพชัย กล้าหาญ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 0-2326-4325

ที่ ศธ 0524.04 / 0614

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๖ กันยายน 2546

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

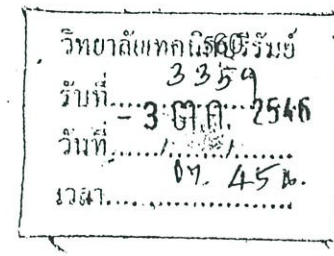
ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์และการใช้งาน ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมจึงขอความอนุเคราะห์ท่านได้โปรดอนุญาตให้ นายยุทธพิชัย กล้าหาญ ทดลองเครื่องมือเพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาของท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 7373000 ต่อ 3692
โทรสาร. 3264325



ที่ ศธ 0524.04 / 1093

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

1 ตุลาคม 2546

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

สิ่งที่ส่งมาด้วย ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ

ด้วย นายยุทธพิชัย กล้าหาญ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ วิชาออปแอมป์ และการใช้งาน ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ" และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2546 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมจึงขอความอนุเคราะห์จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายยุทธพิชัย กล้าหาญ เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาของท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

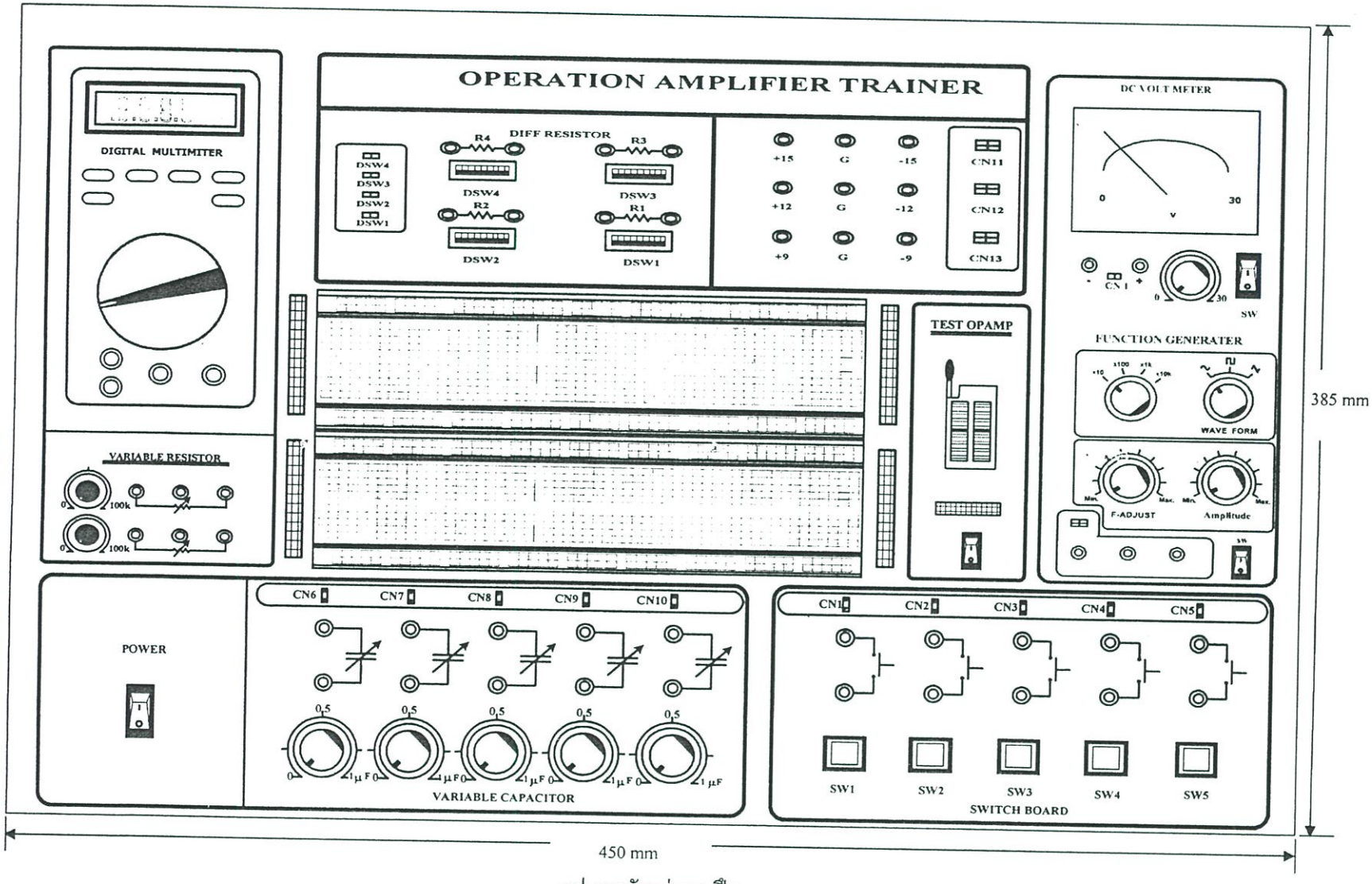
ขอแสดงความนับถือ

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

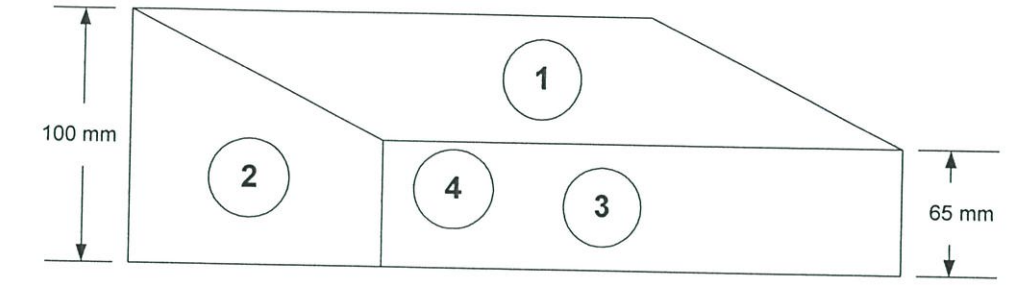
หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 3264325

ภาคผนวก ข

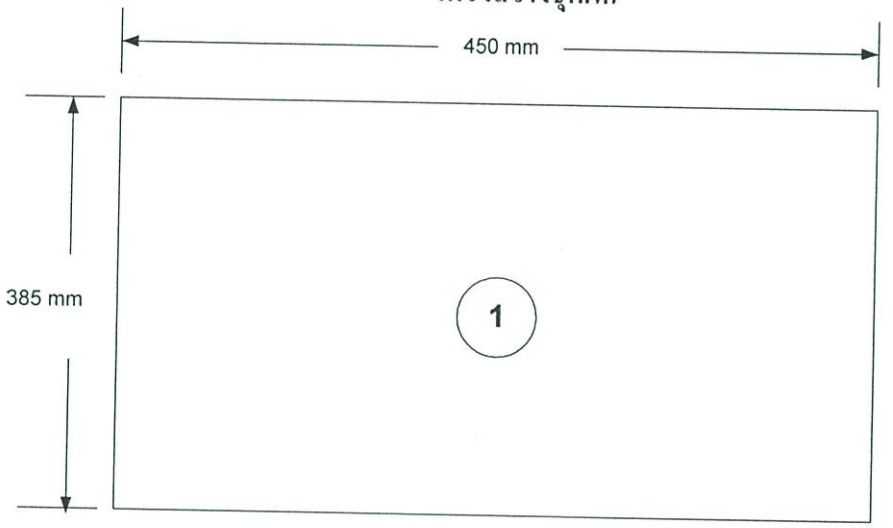
ชุดปฏิบัติการและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน



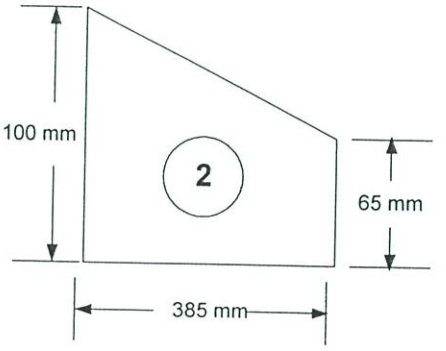
รูปแบบตัวอย่างชุดฝึก



โครงสร้างชุดฝึก

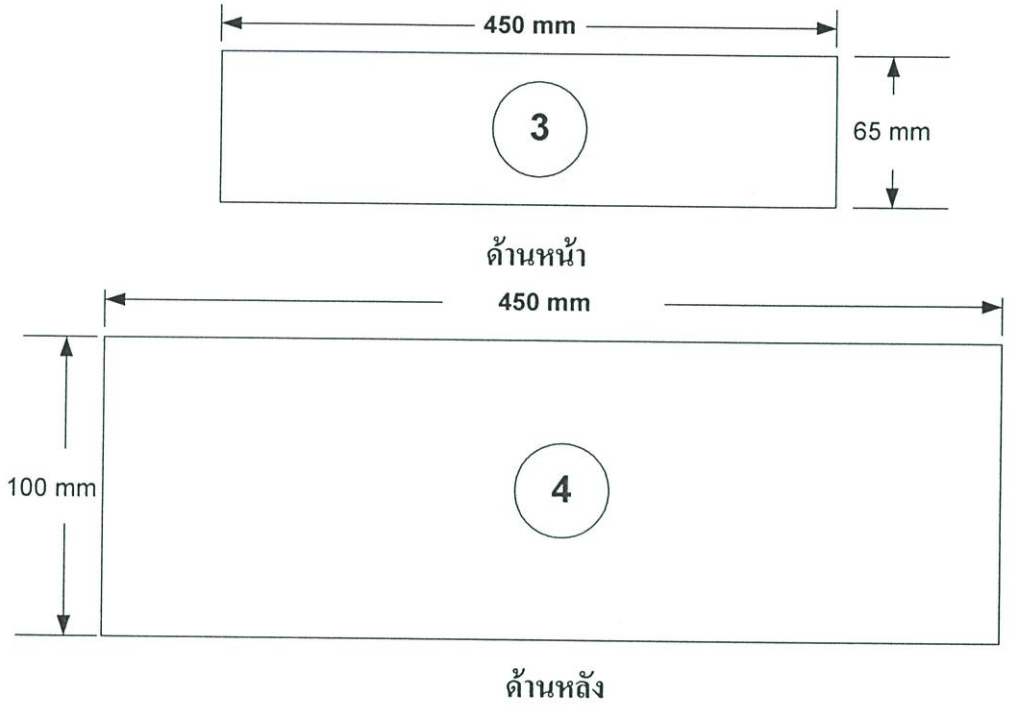


ด้านบน

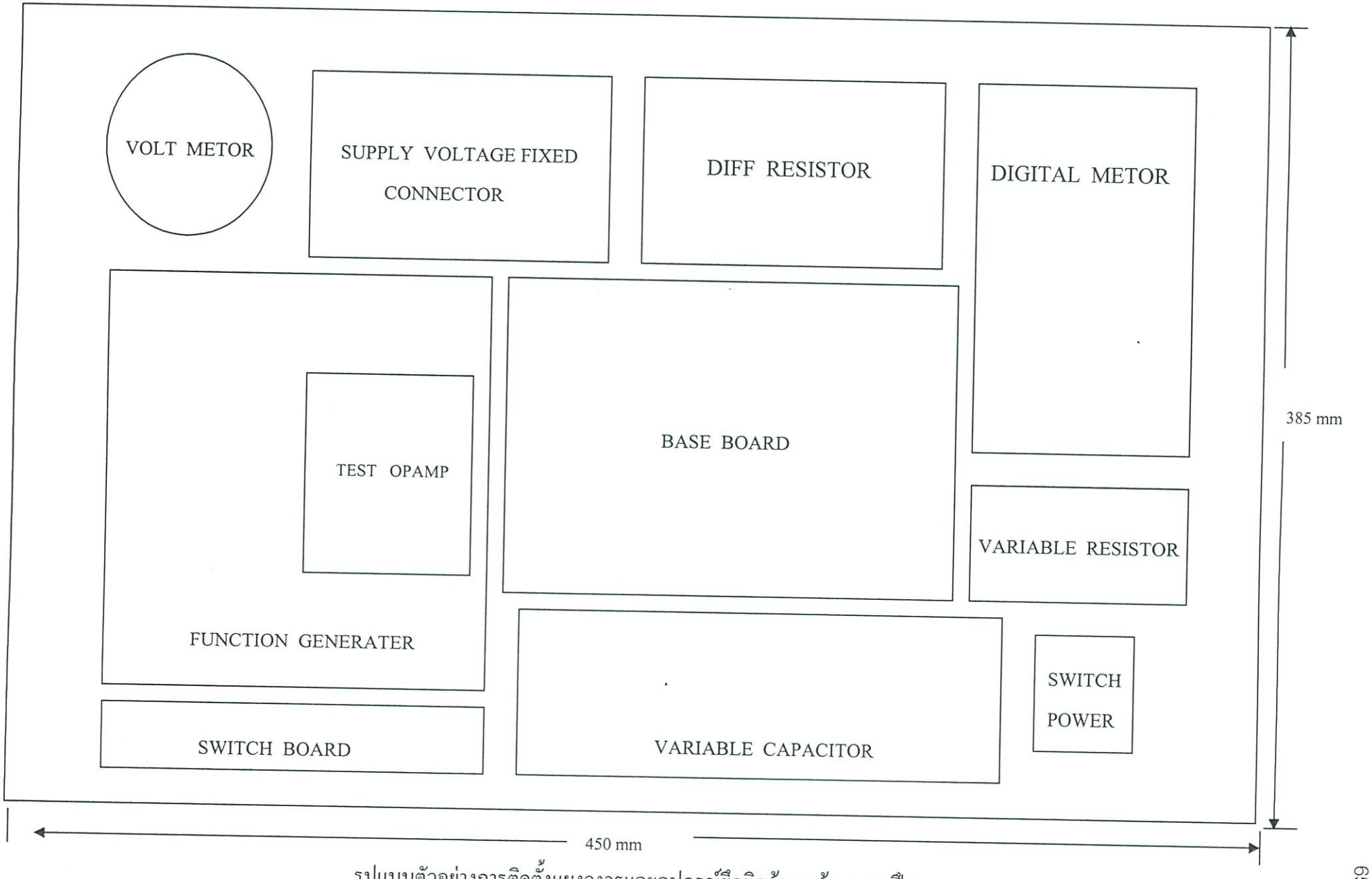


ด้านข้าง

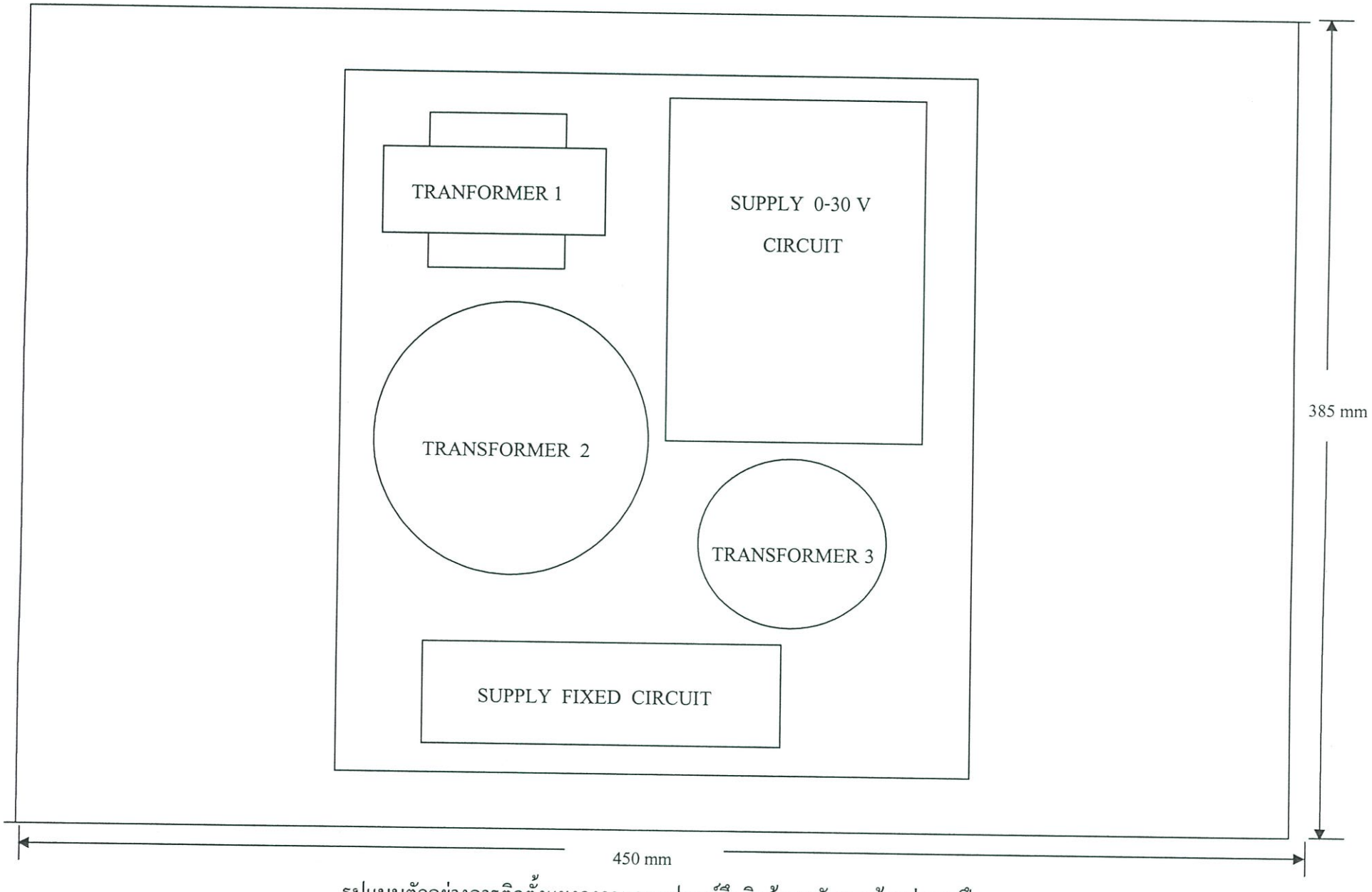
รูปแบบตัวอย่างโครงสร้างชุดฝึก ด้านบน และด้านข้าง



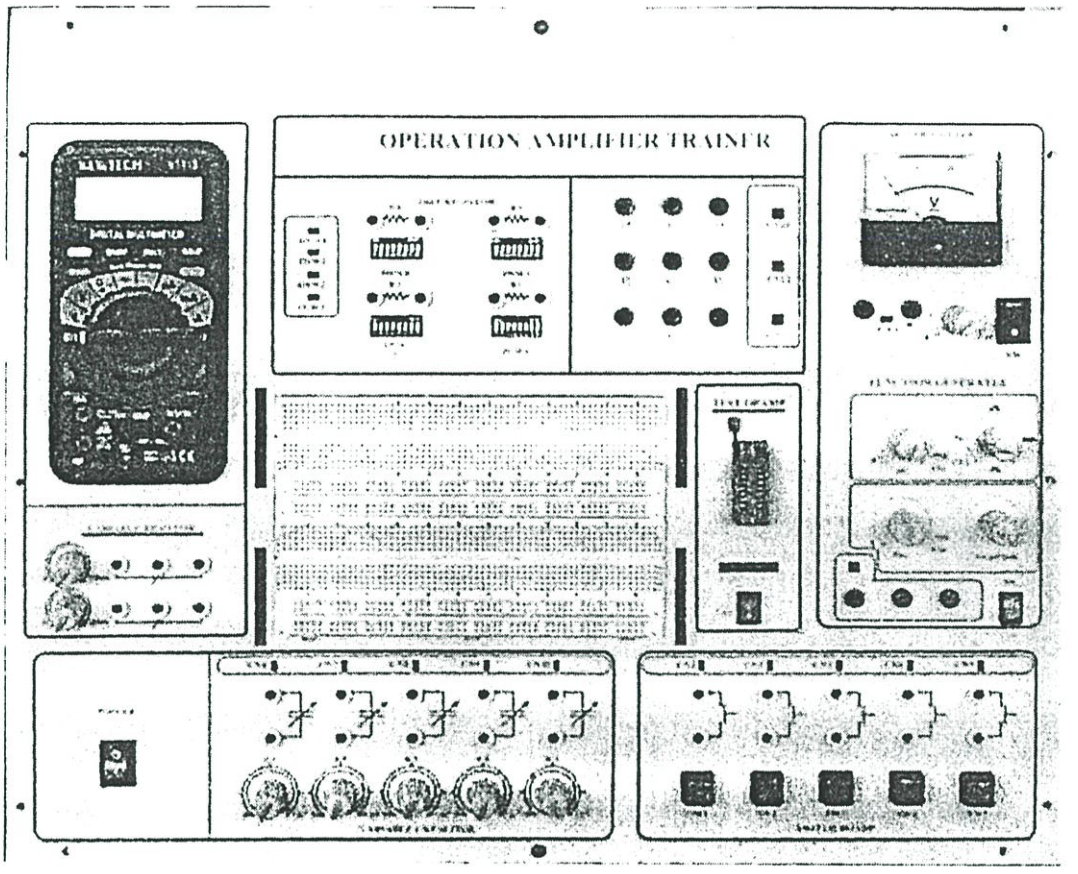
รูปแบบตัวอย่างโครงสร้างชุดฝึก ด้านหน้าและ ด้านหลัง

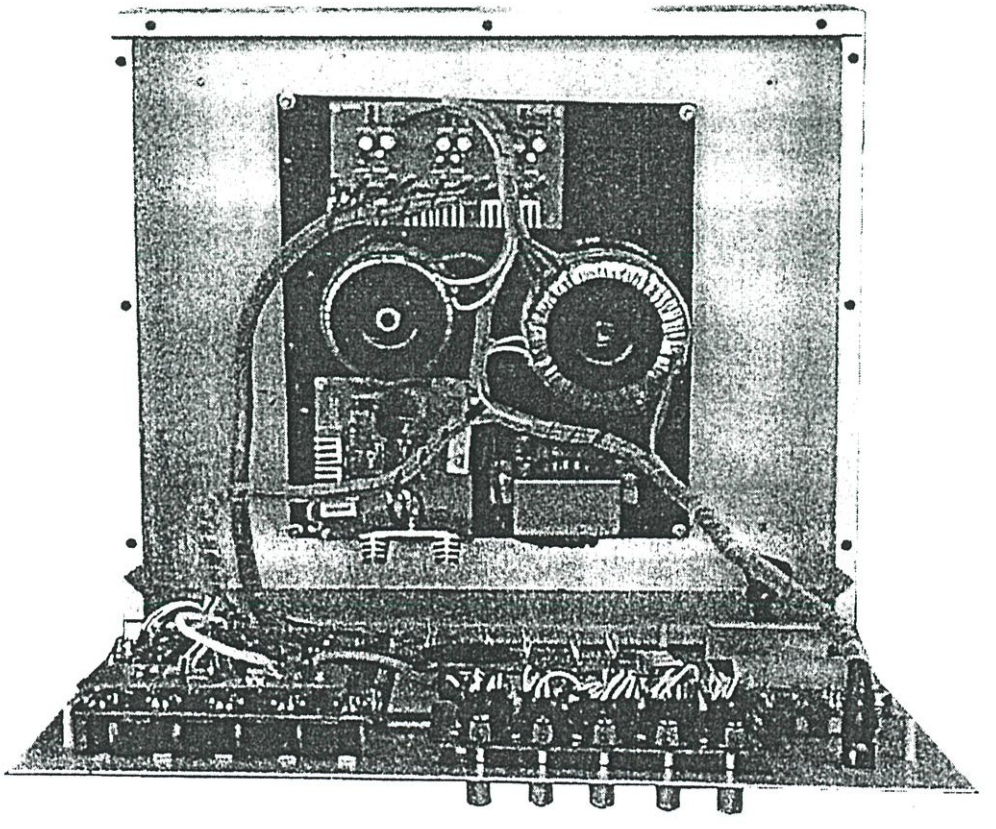


รูปแบบตัวอย่างการติดตั้งแผงวงจรและอุปกรณ์ยึดติดด้านหน้าของชุดฝึก

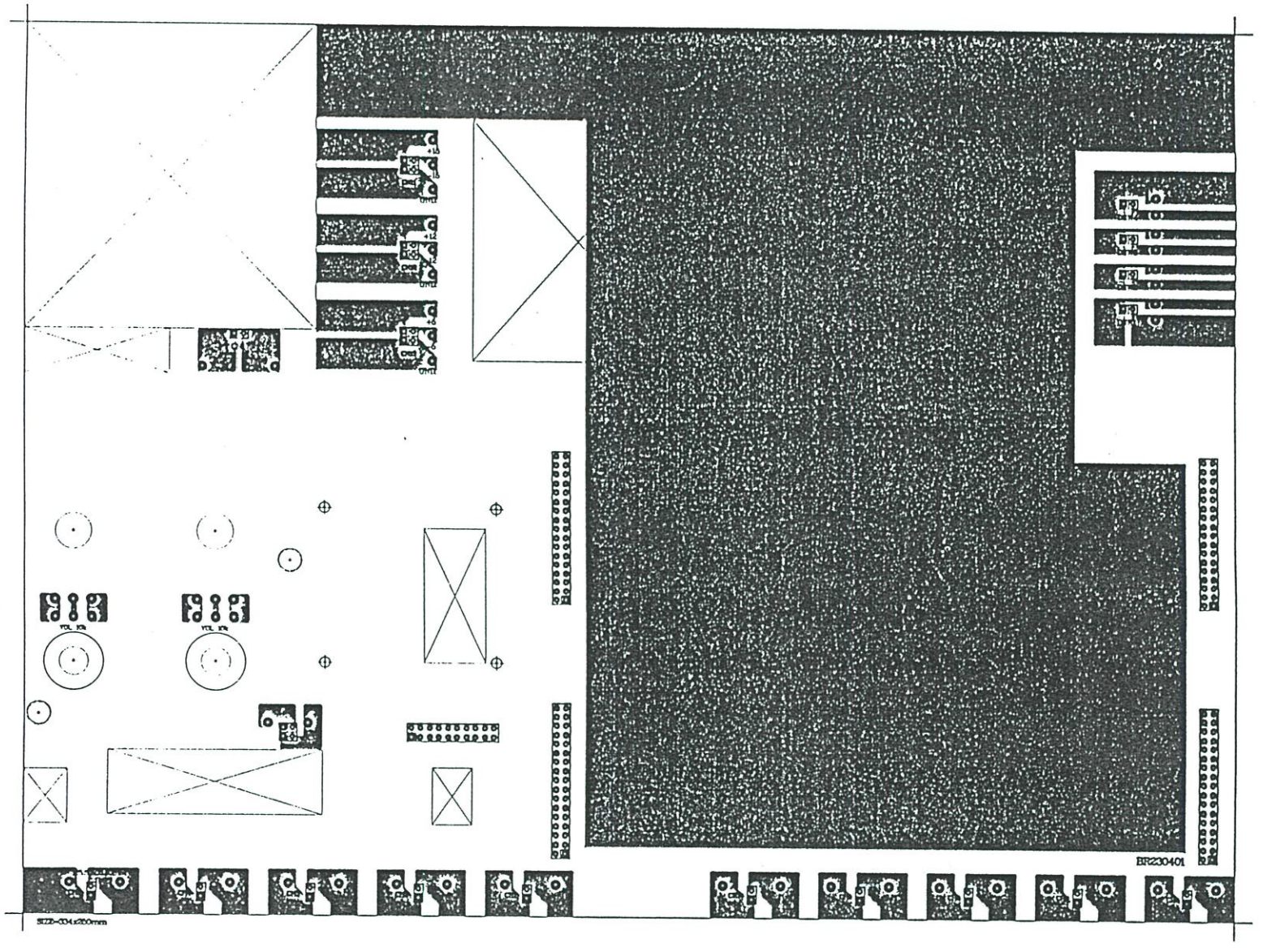


รูปแบบตัวอย่างการติดตั้งแผงวงจรและอุปกรณ์ยึดติดด้านหลังของด้านล่างชุดฝึก

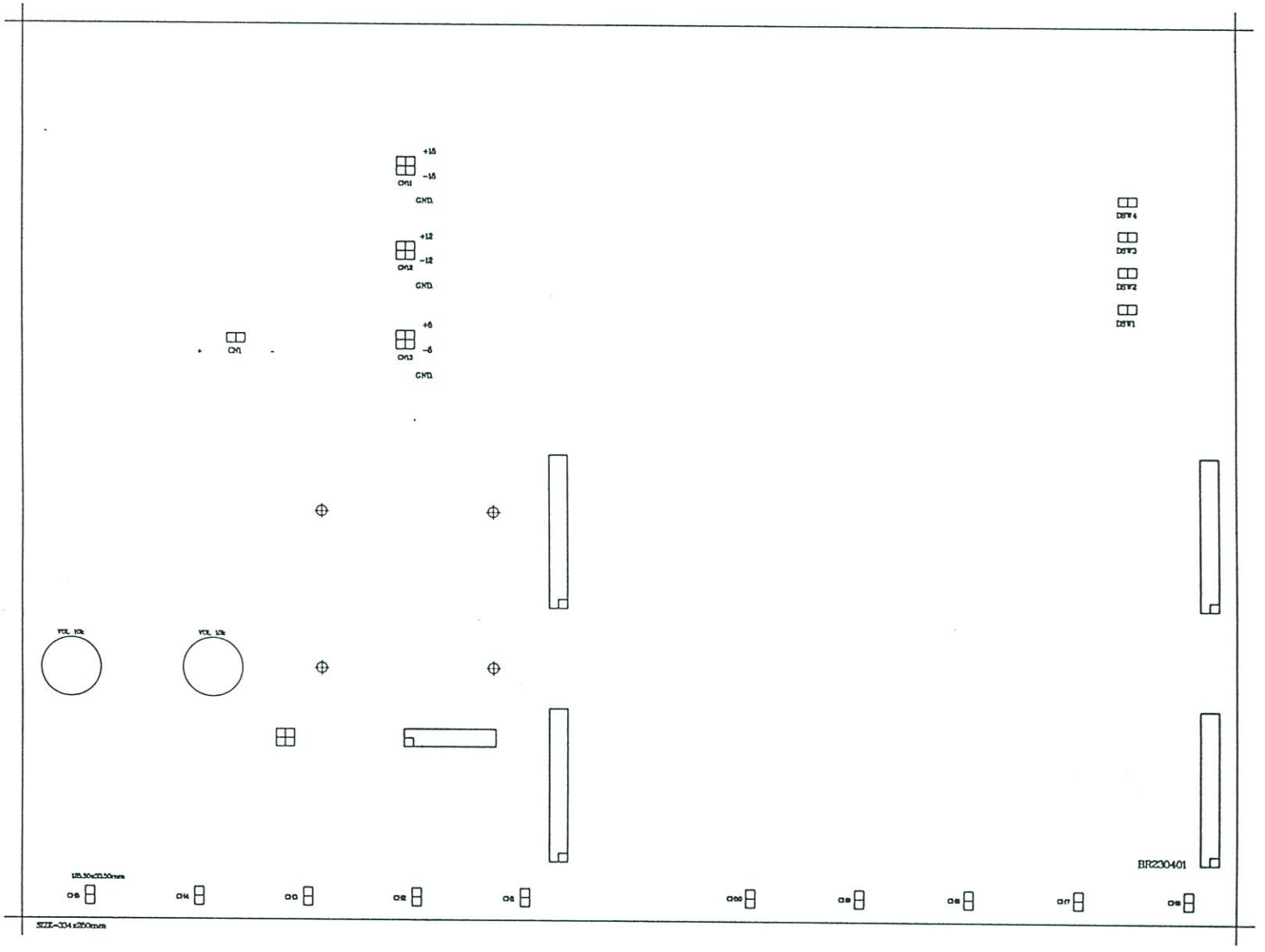




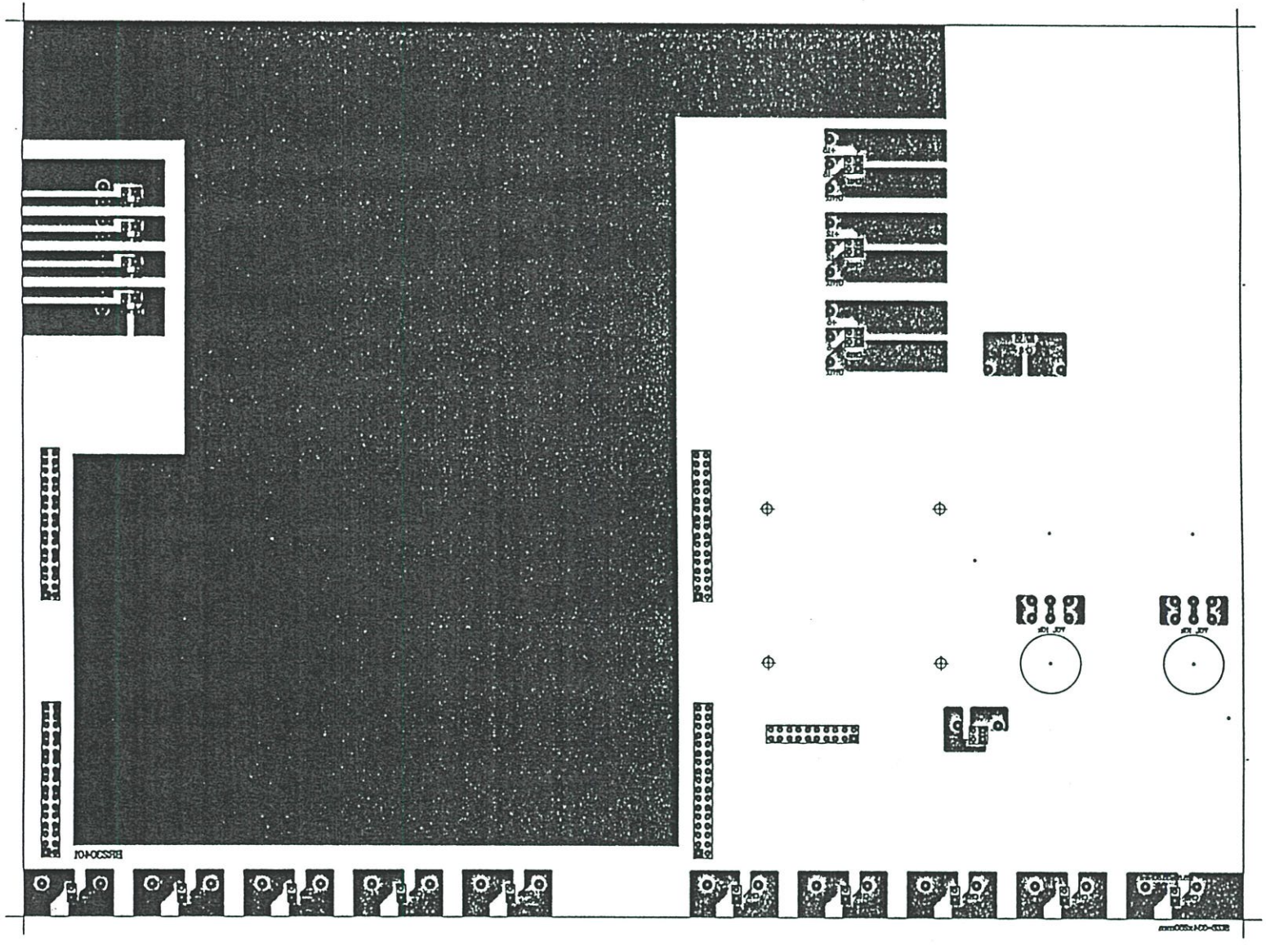
รูปชุดฝึกที่สร้างขึ้น



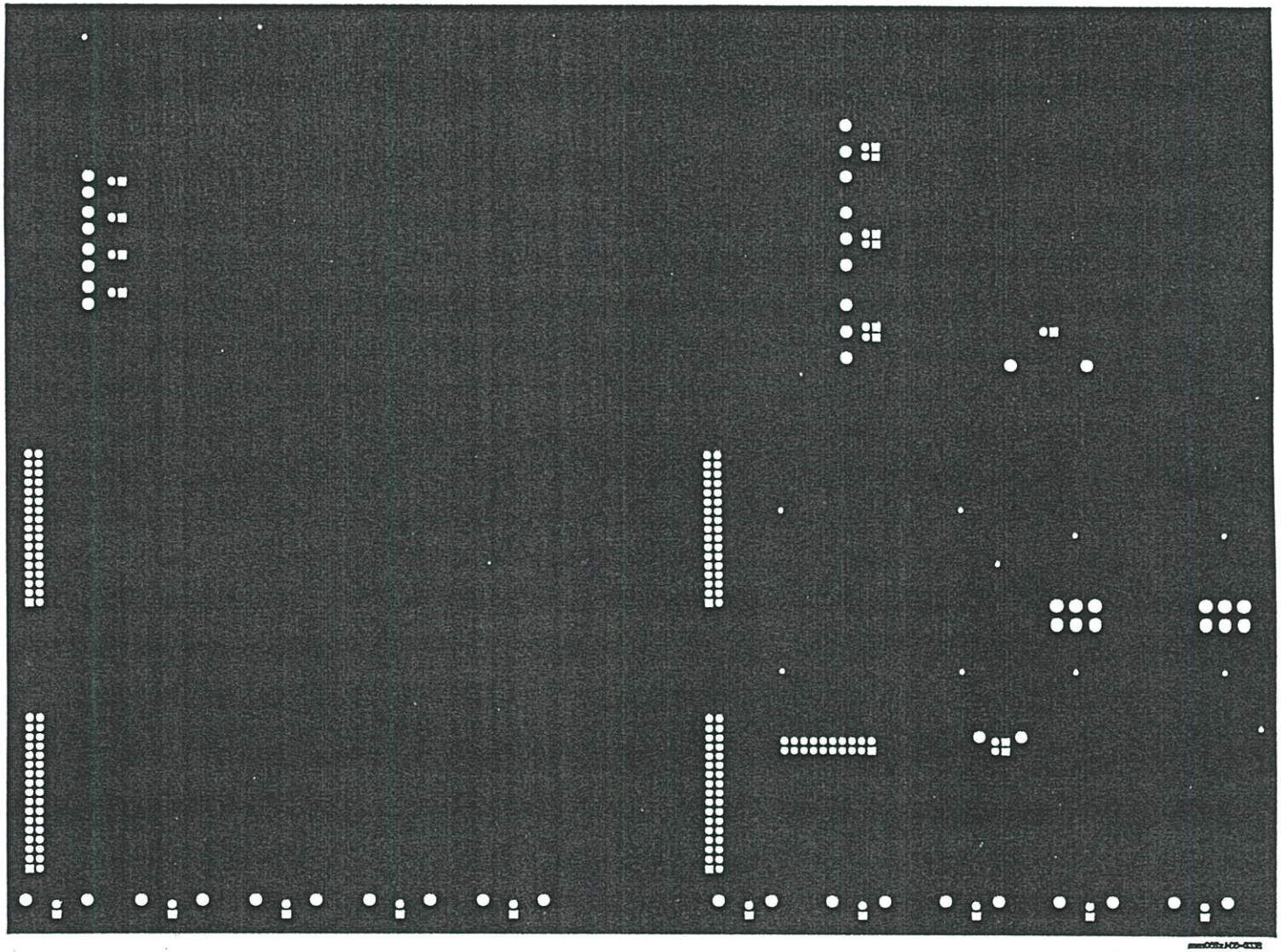
รูปรวมแผ่นลายทองแดงติดตั้งอุปกรณ์ SOCKET สี่เหลี่ยมระยะขา 2.5 มม.



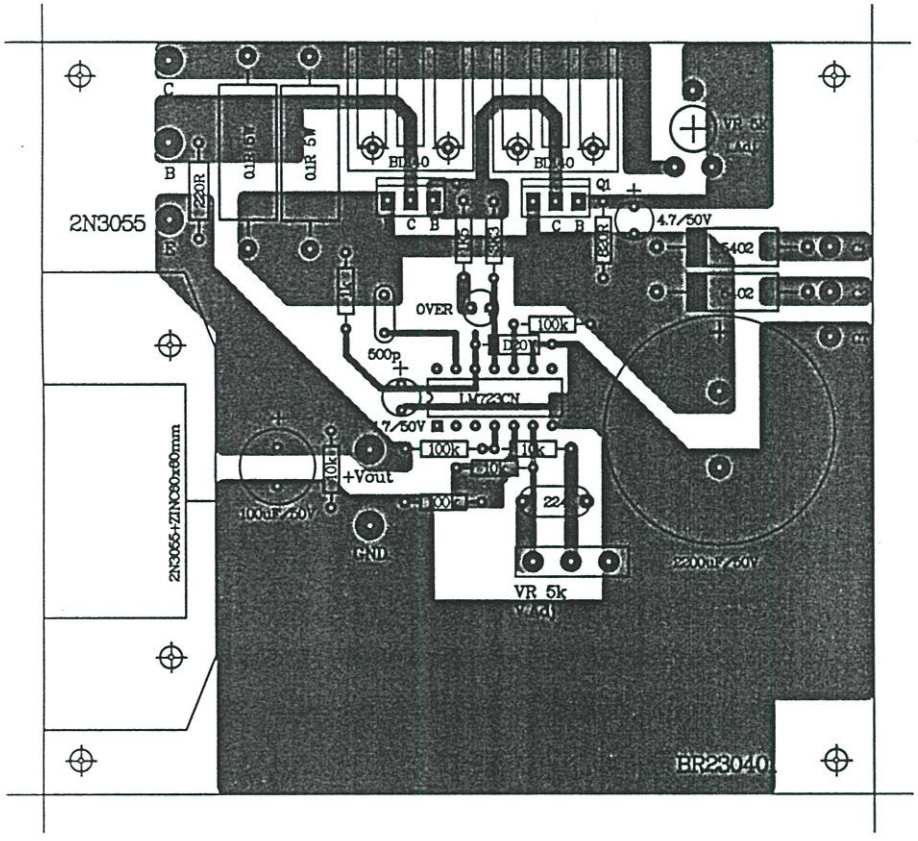
รูปแบบสกรีนตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นลายทองแดงติดตั้งอุปกรณ์ SOCKET

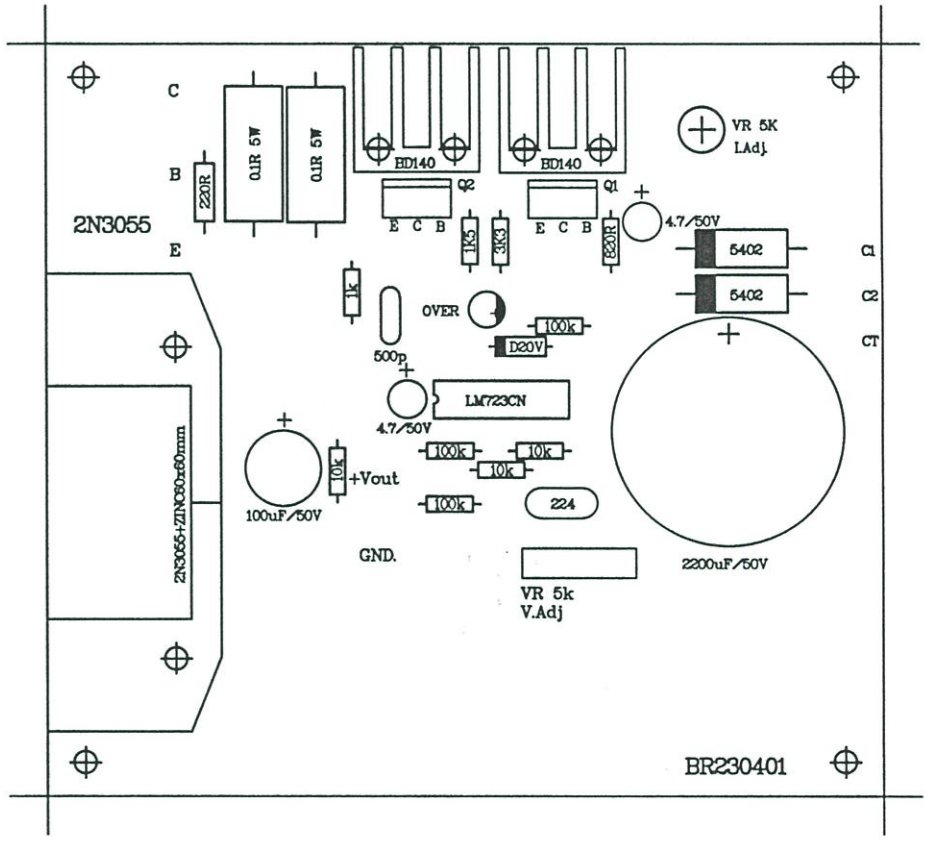


ลายทองแดงติดตั้งอุปกรณ์ SOCKET

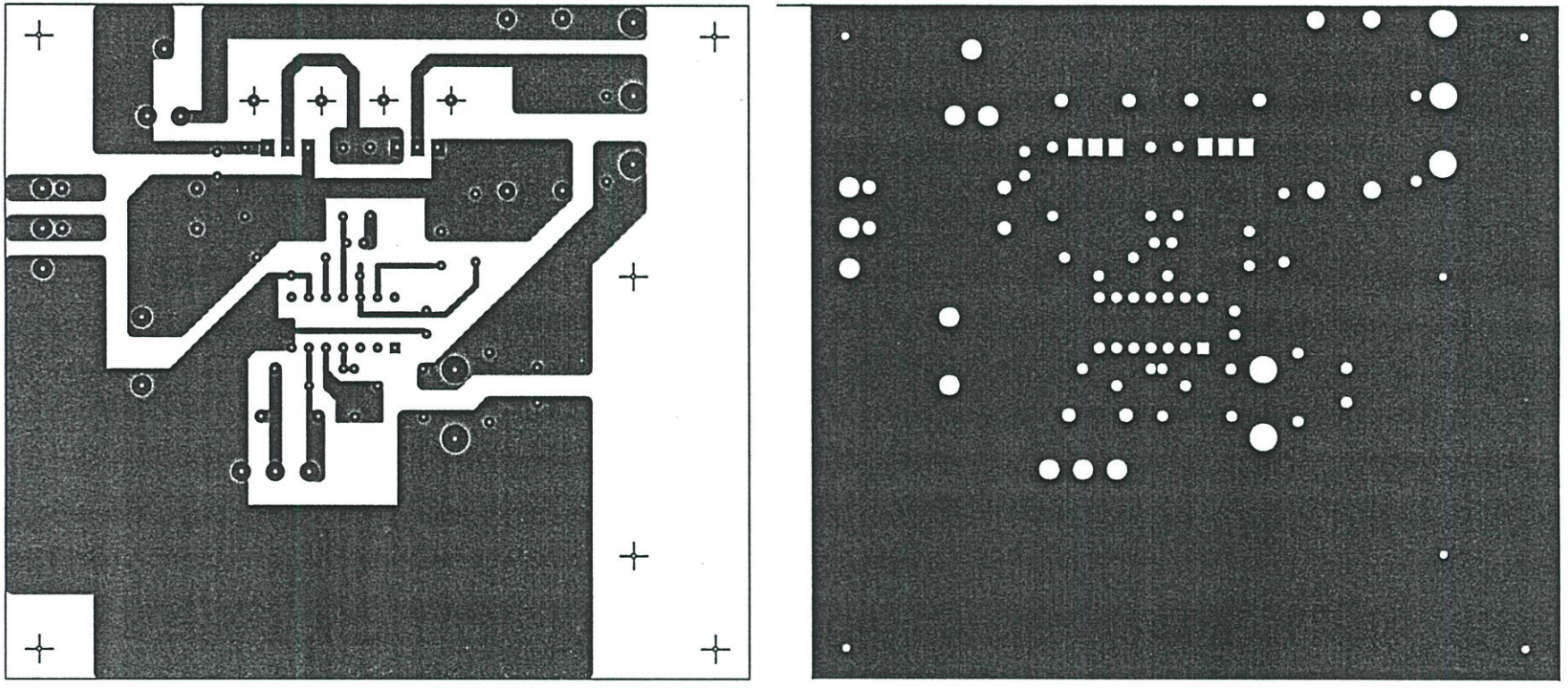


ลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียวอุปกรณ์ SOCKET

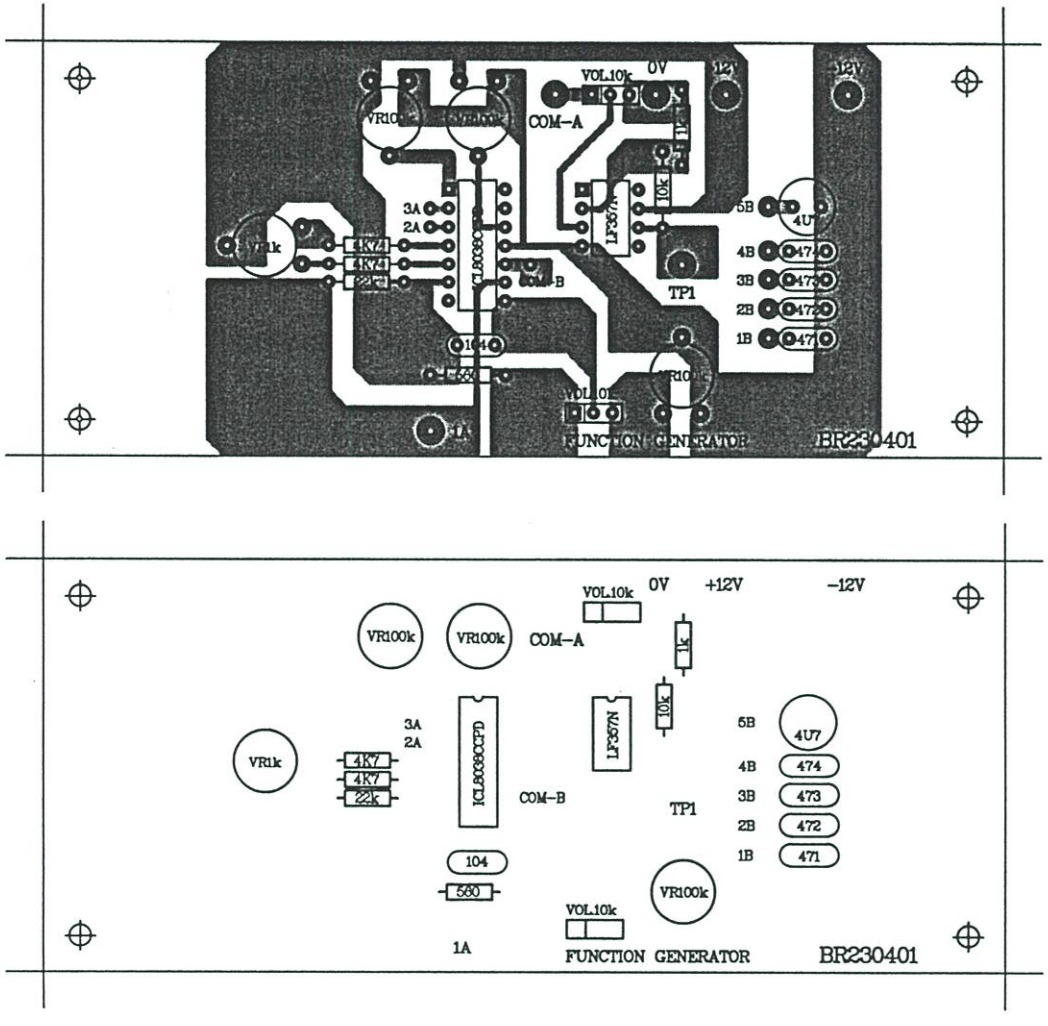




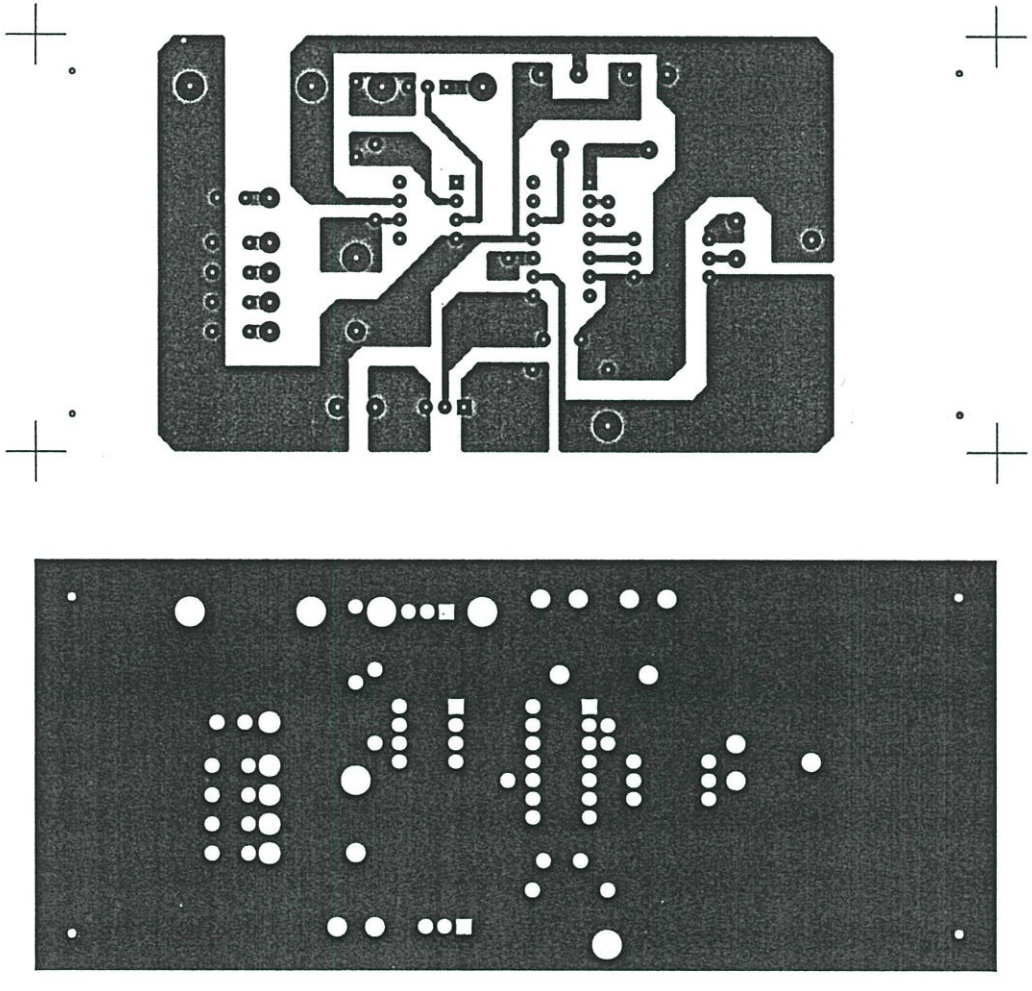
รูปภาพรวมวงจรและลายทองแดง DC POWER SUPPLY 0-30V



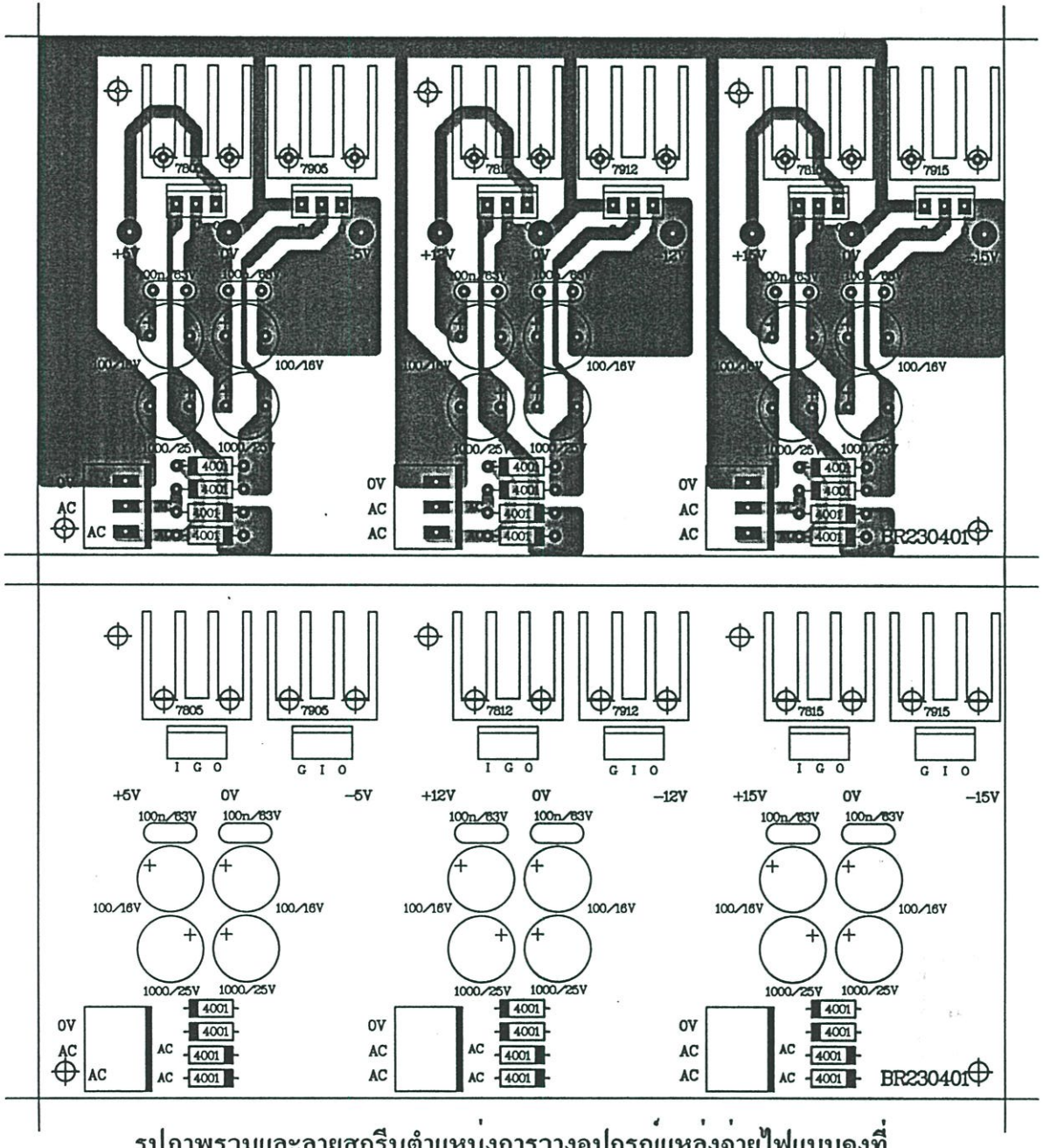
รูปแบบสกรีนและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว DC POWER SUPPLY 0-30V



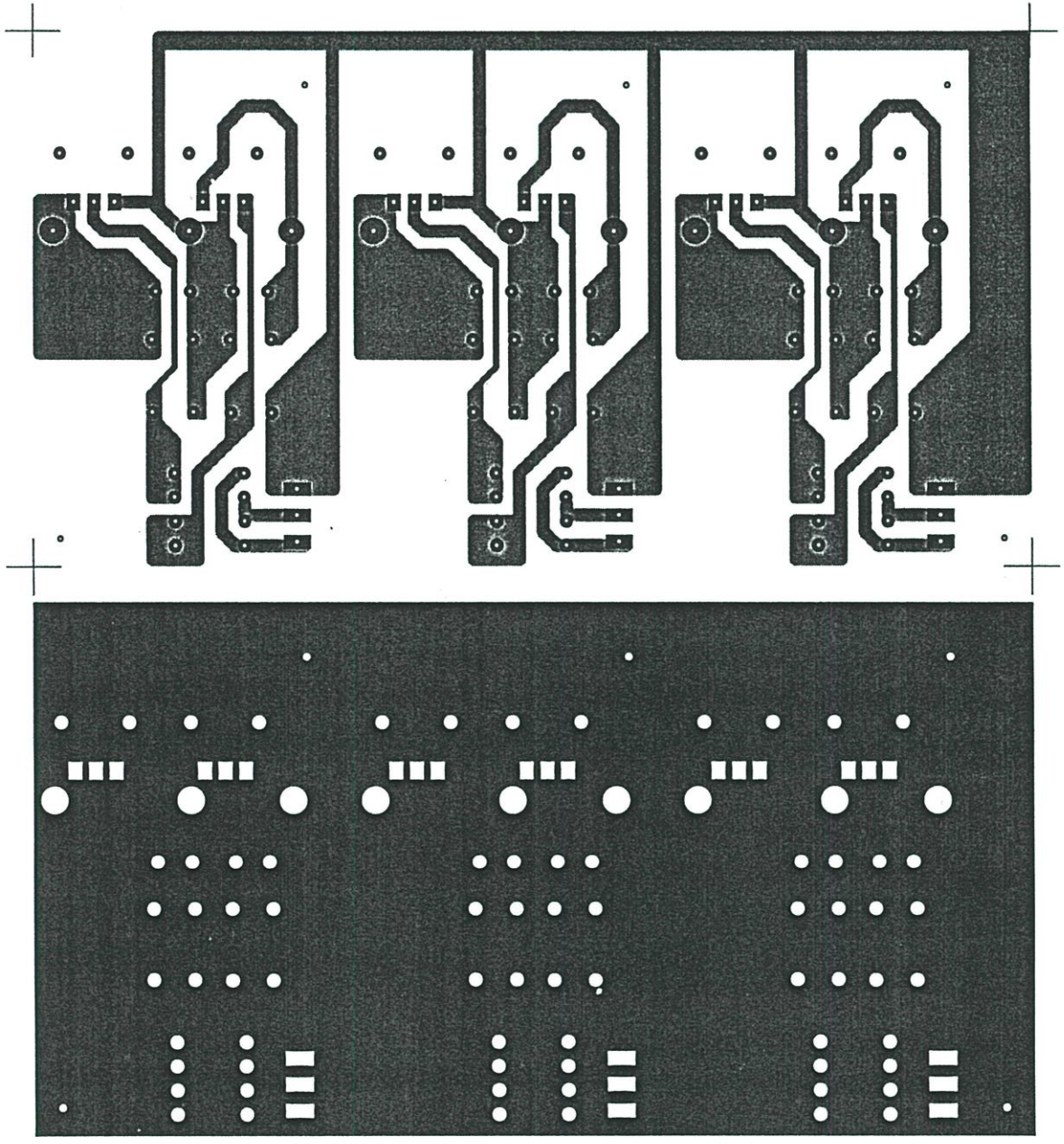
รูปภาพรวมและลายสกรีนตำแหน่งการวางอุปกรณ์ FUNCTION GENERATOR



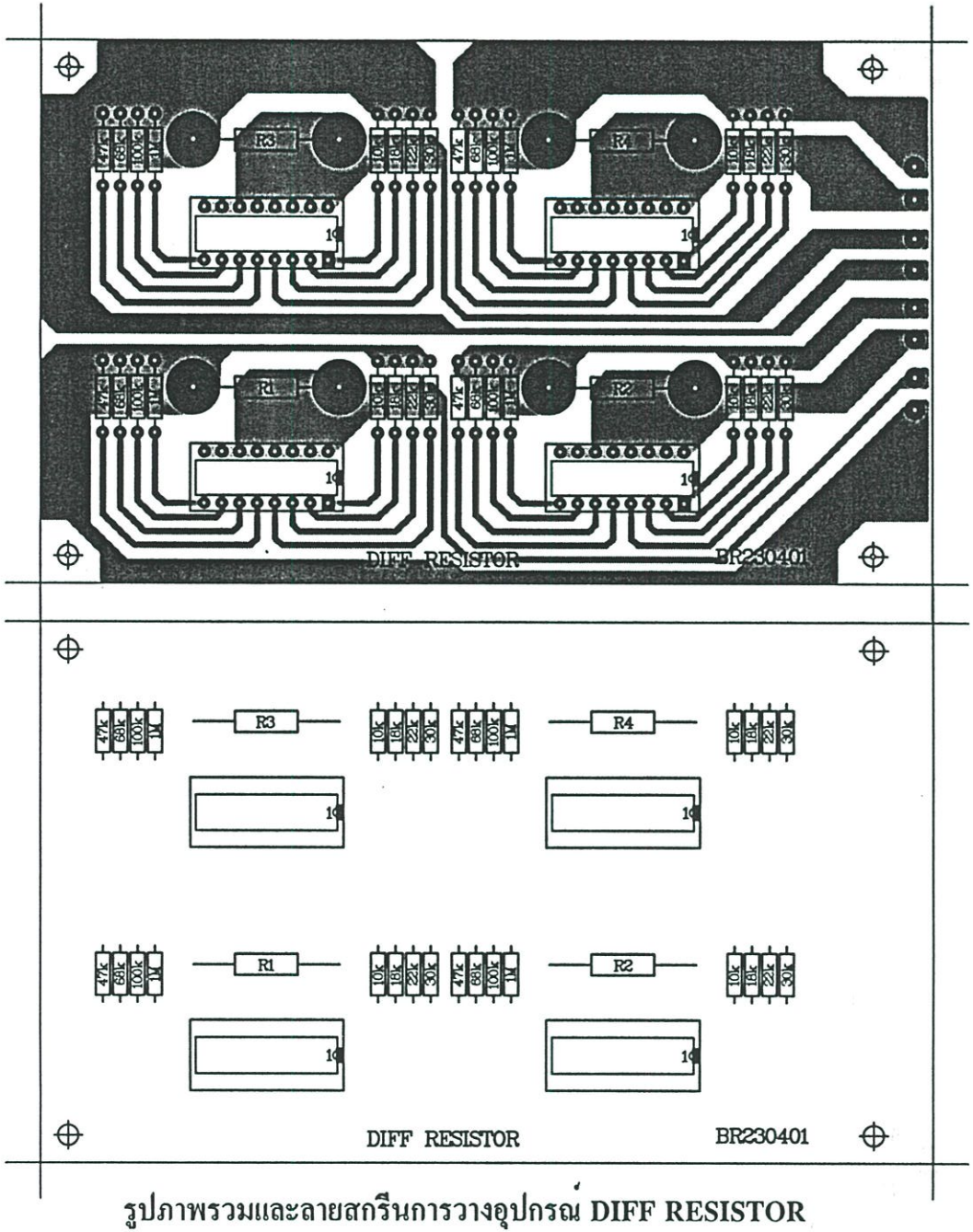
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว FUNCTION GENERATOR



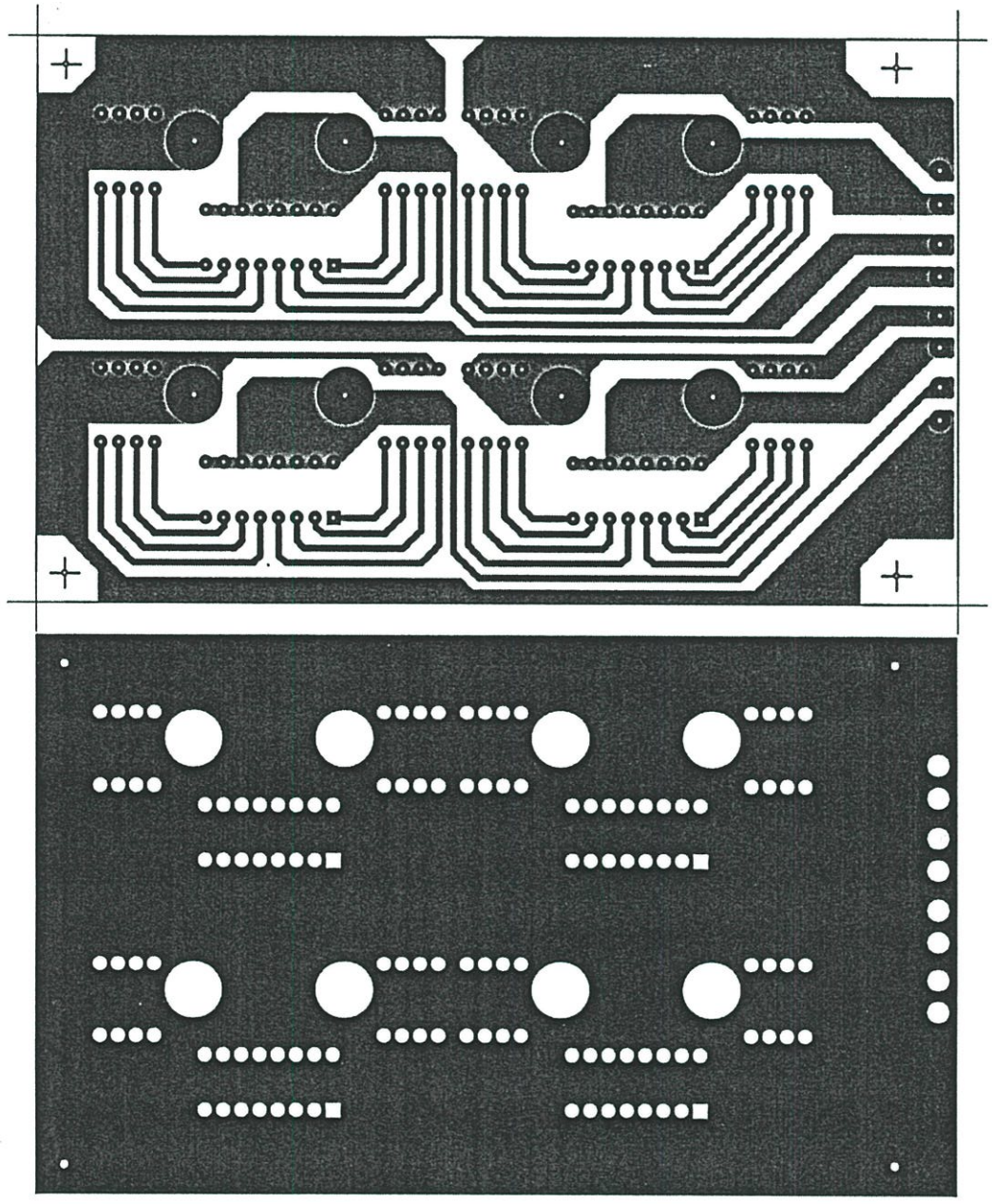
รูปภาพรวมและลายสกรีนตำแหน่งการวางอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟแบบคงที่



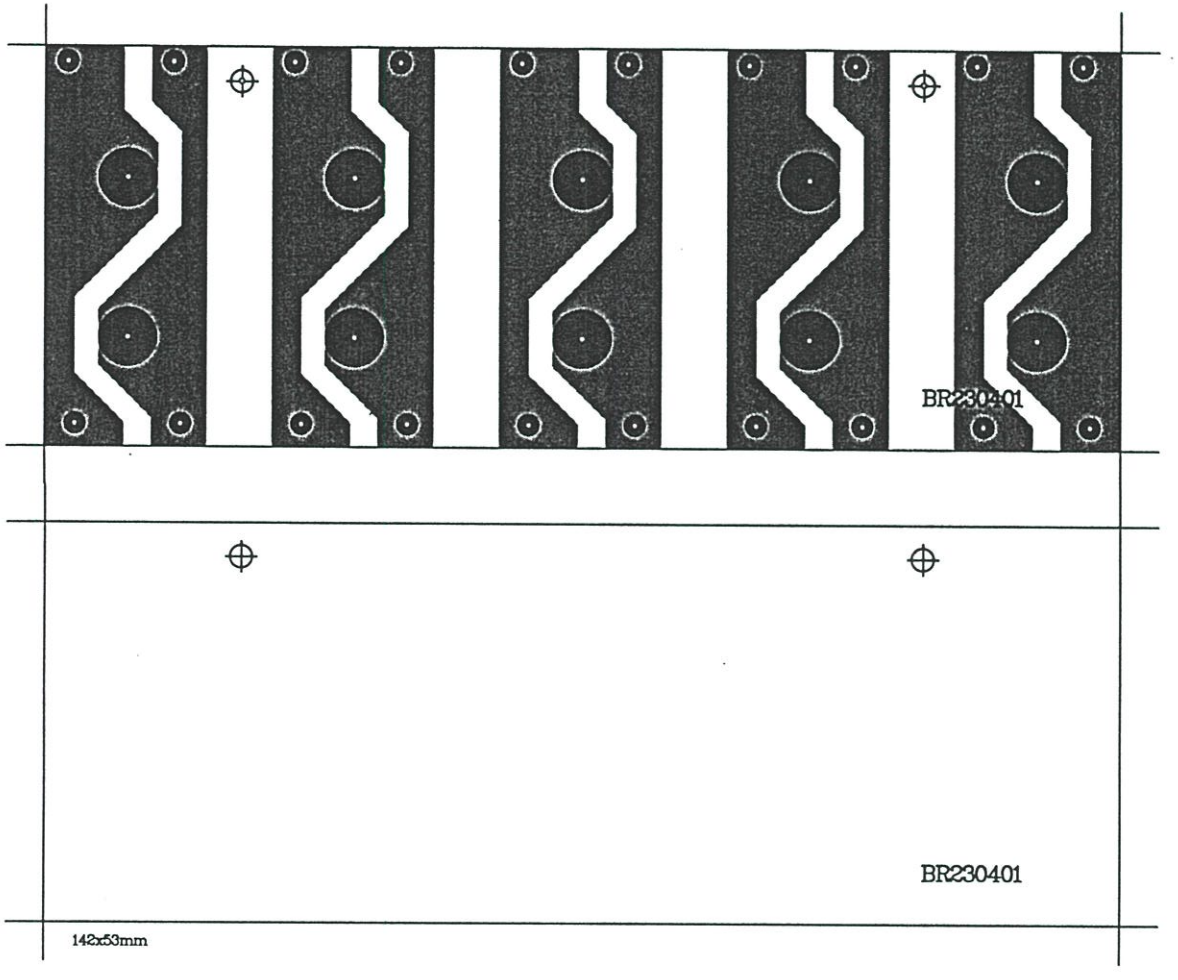
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียวแหล่งจ่ายไฟแบบคงที่



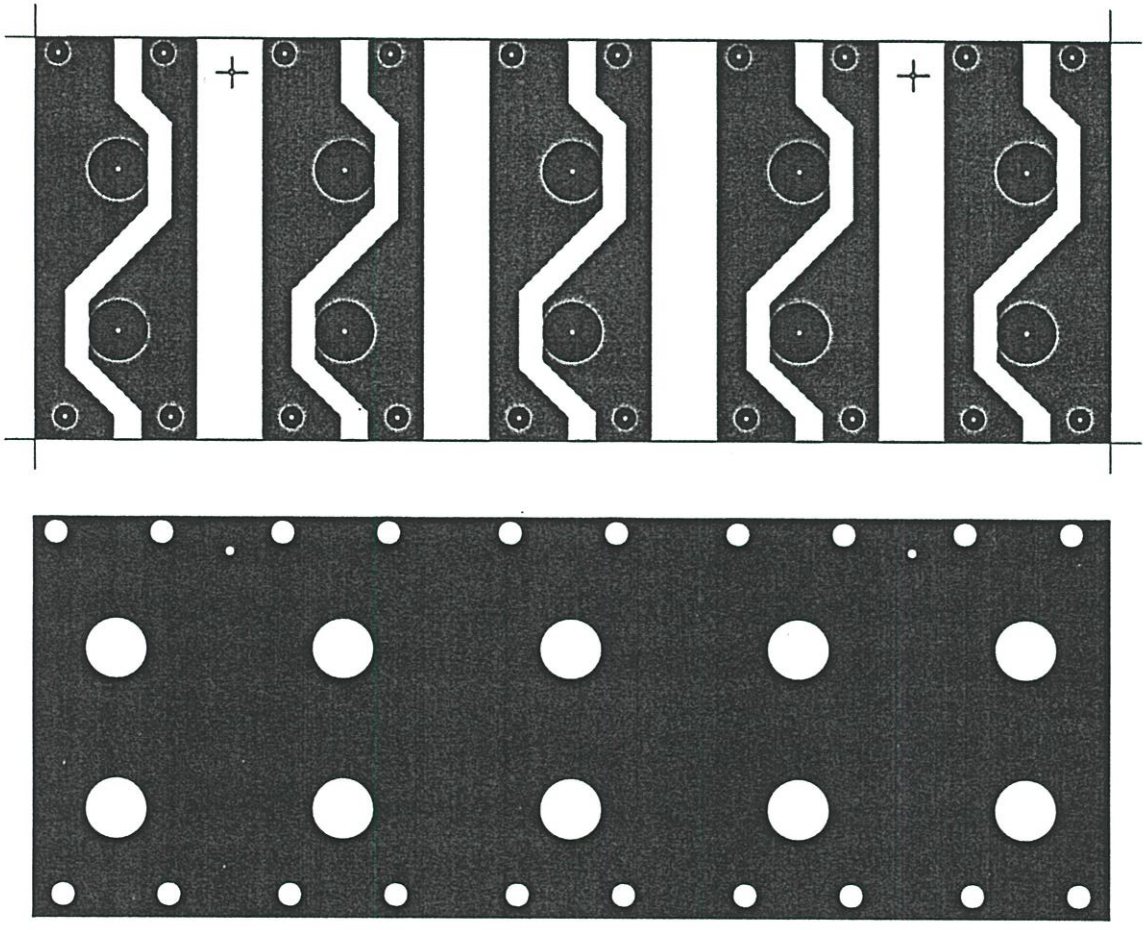
รูปภาพรวมและลายสกรีนการวางอุปกรณ์ DIFF RESISTOR



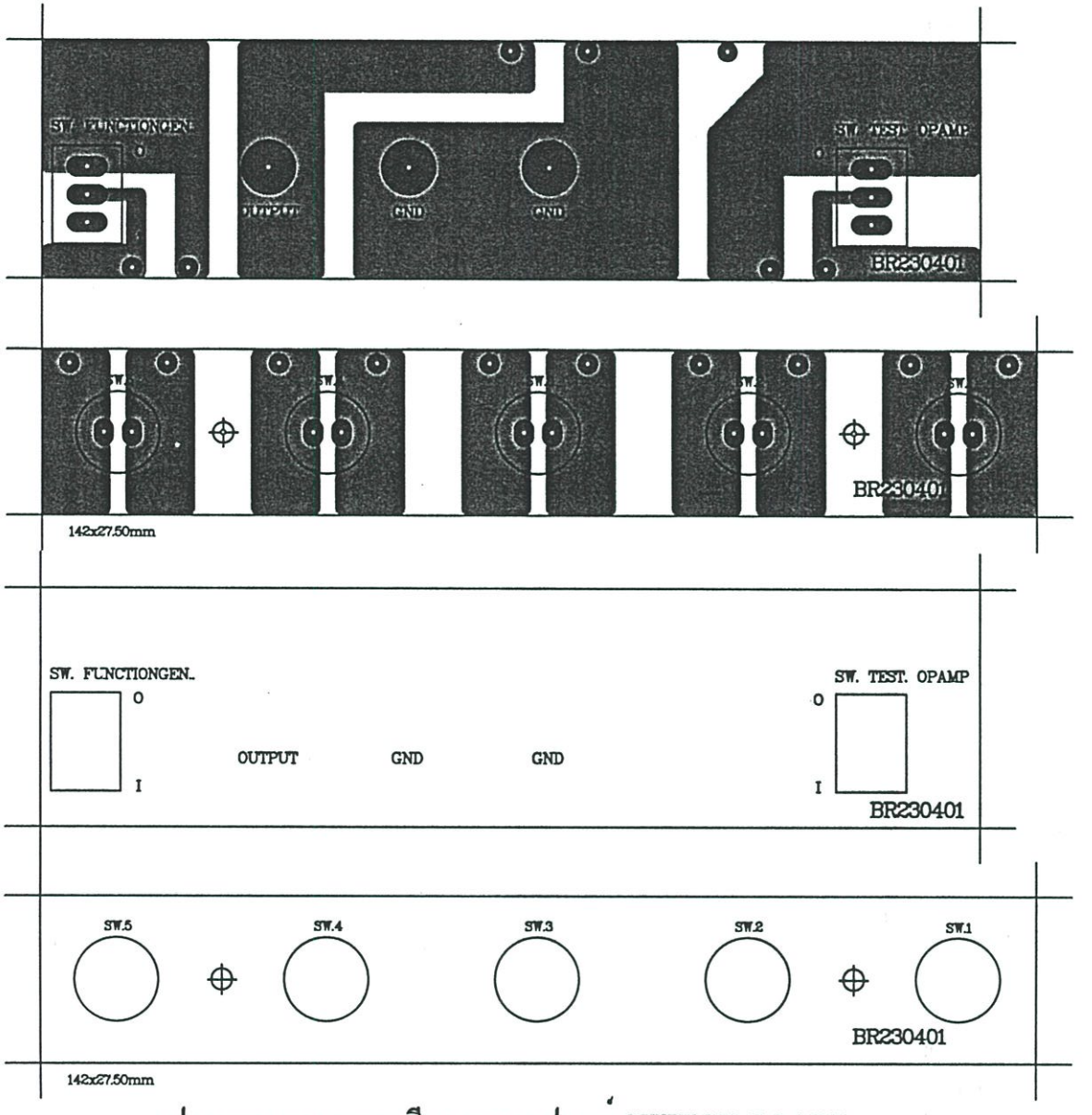
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว DIFF RESISTOR



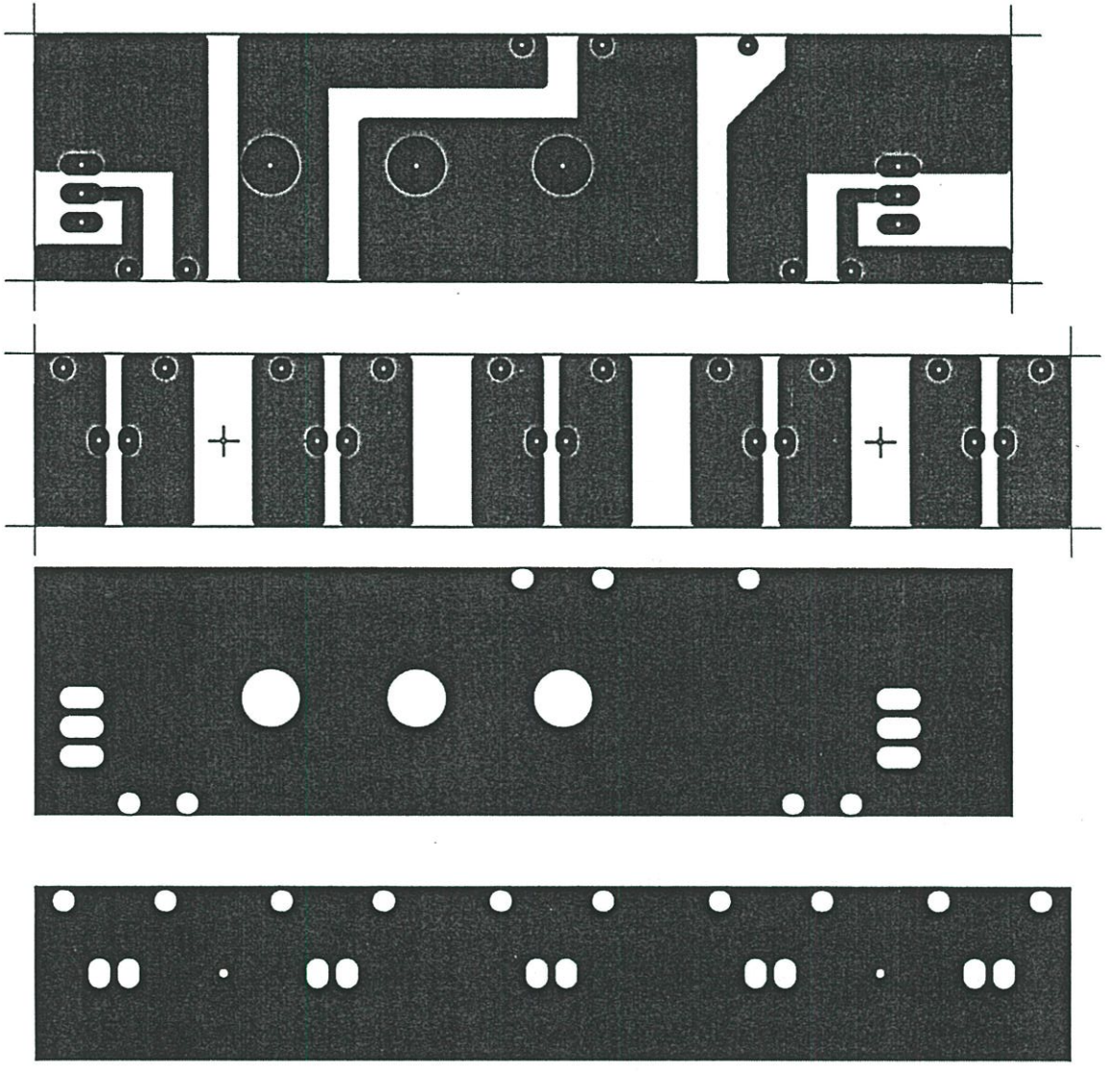
รูปภาพรวมและลายสกรีนการวางอุปกรณ์ SOCKET CAPACITOR VARIABLE



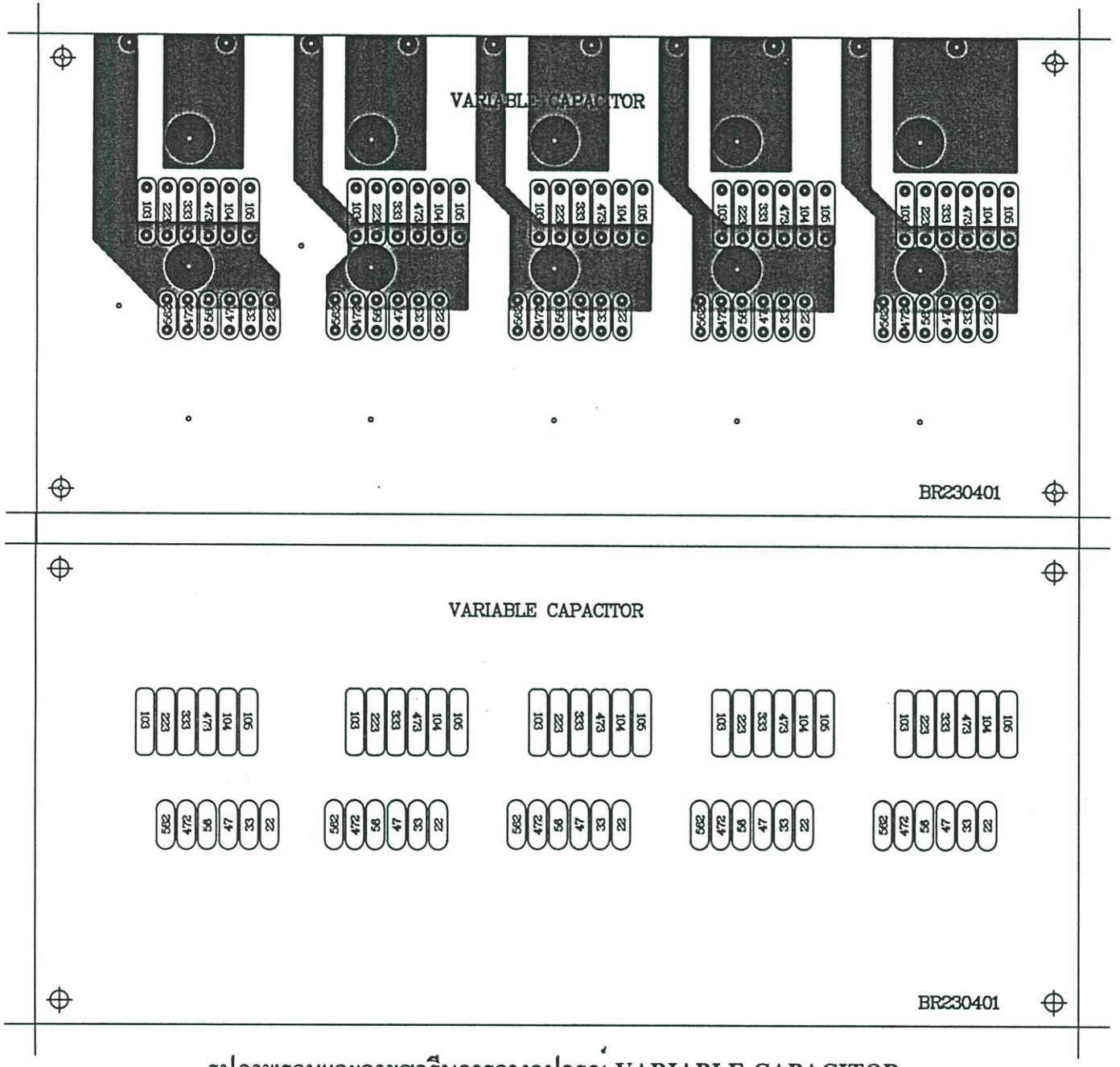
รูปลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว SOCKET CAPACITOR VARIABLE



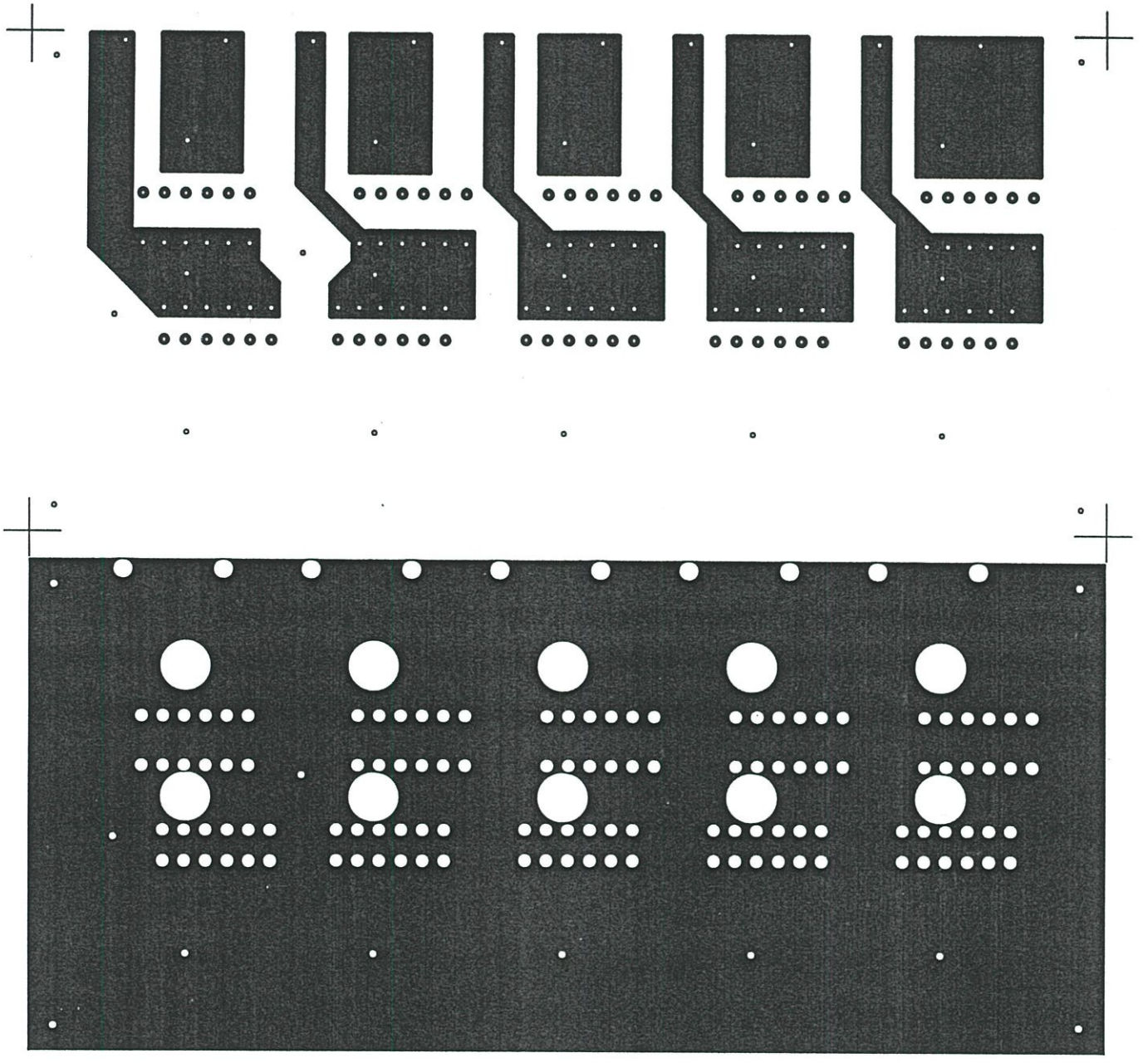
รูปภาพรวมและลายสกรีนการวางอุปกรณ์ SWITCH BOARD



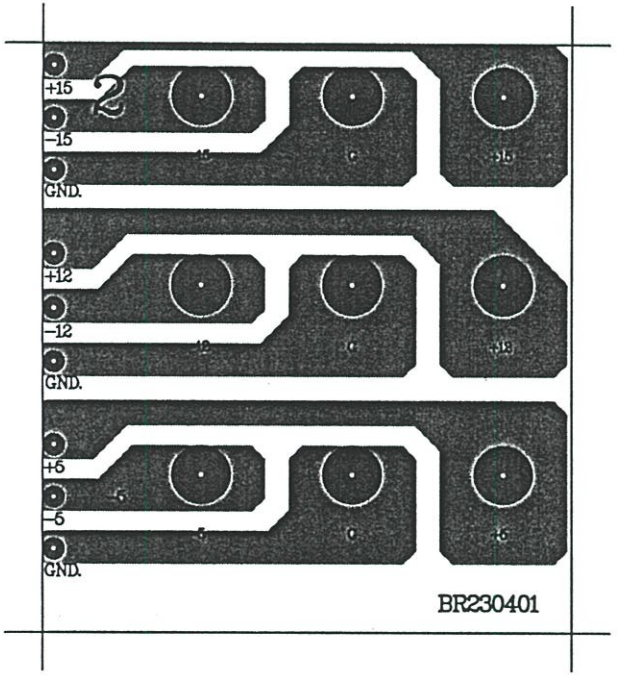
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว SWITCH BOARD

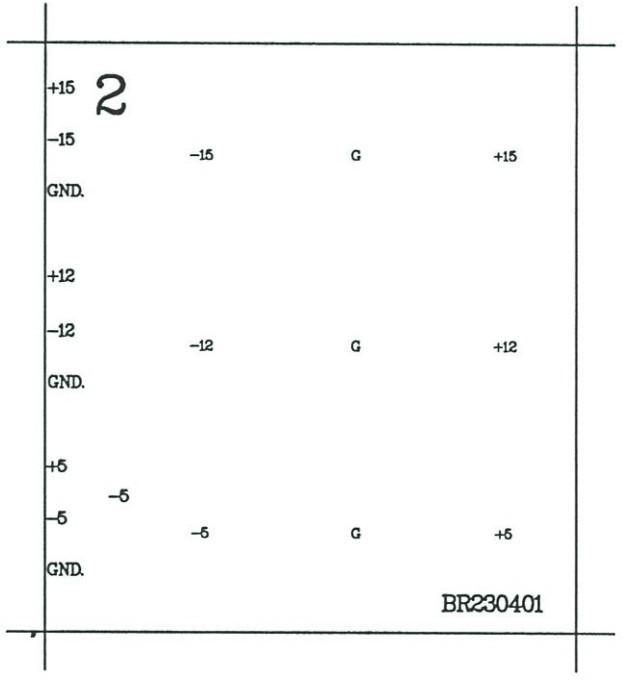


รูปภาพรวมและลายสกรีนการวางอุปกรณ์ VARIABLE CAPACITOR

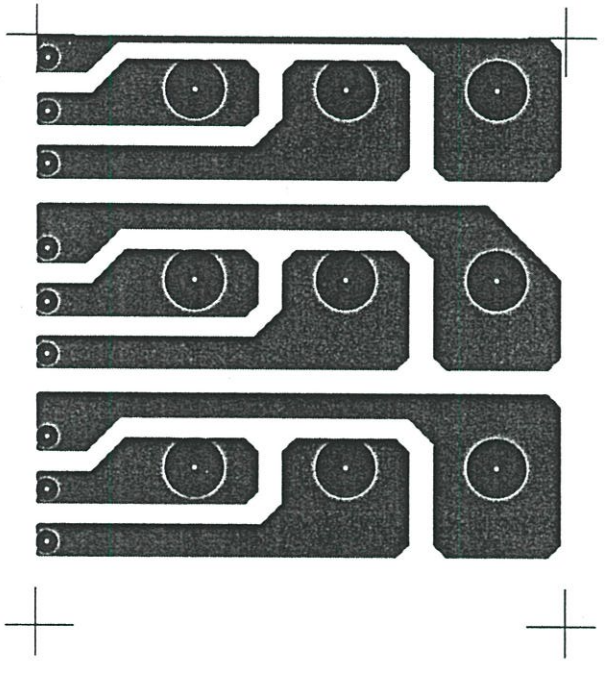


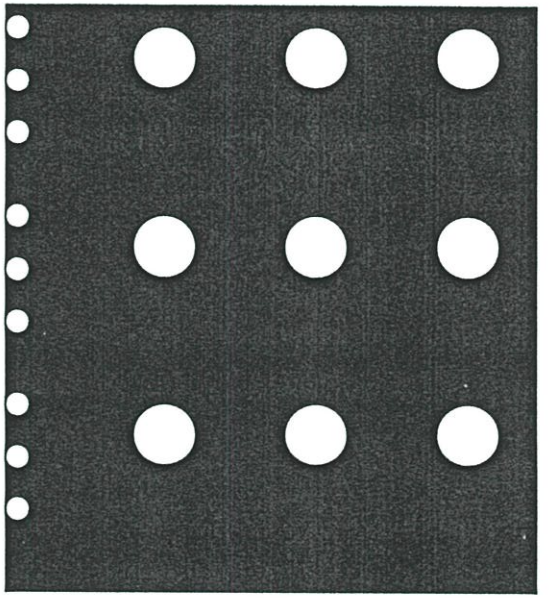
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว VARIABLE CAPACITOR



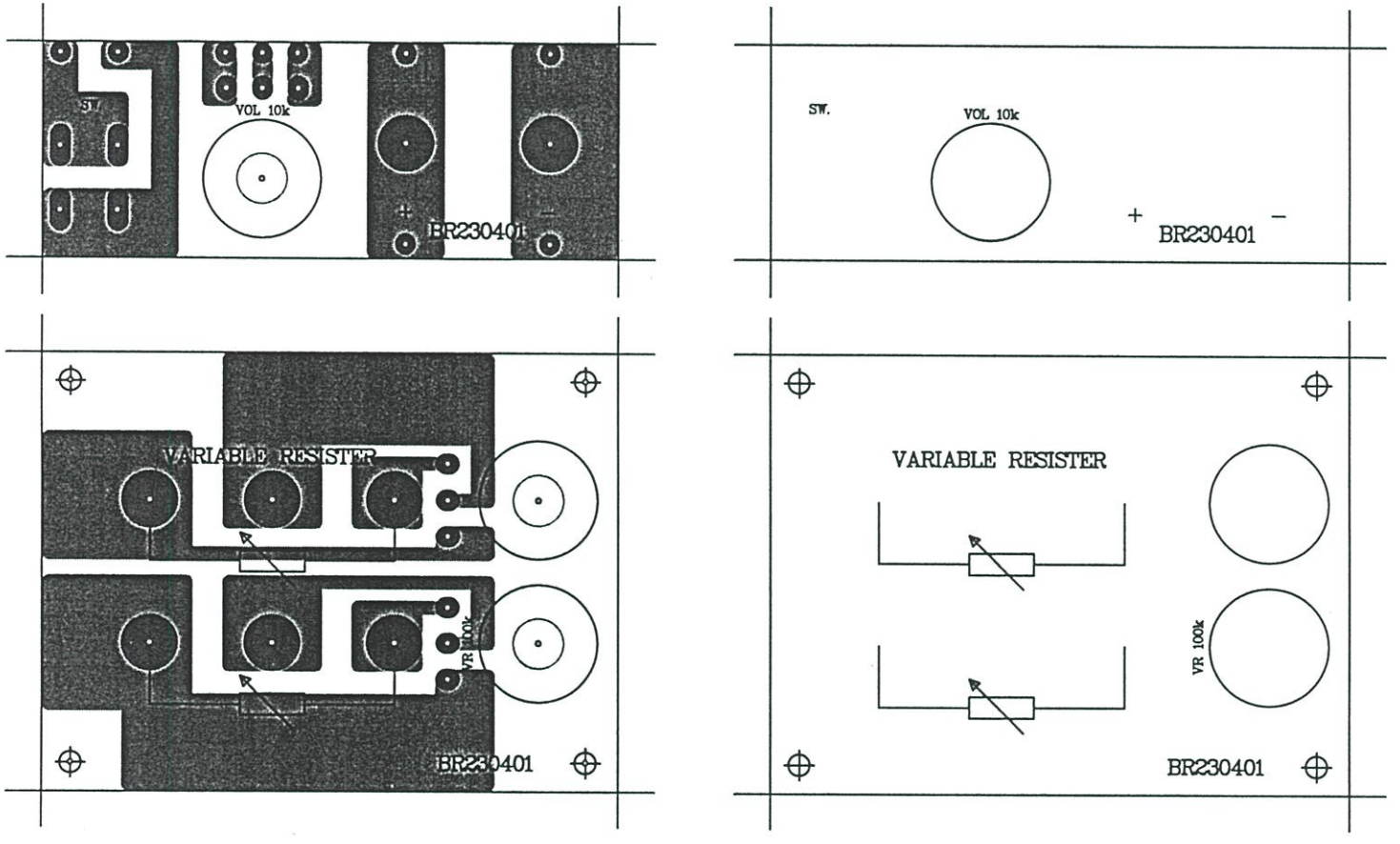


รูปภาพรวมและลายสกรีนการลงอุปกรณ์ CONNECTOR แหล่งจ่ายไฟแบบคงที่

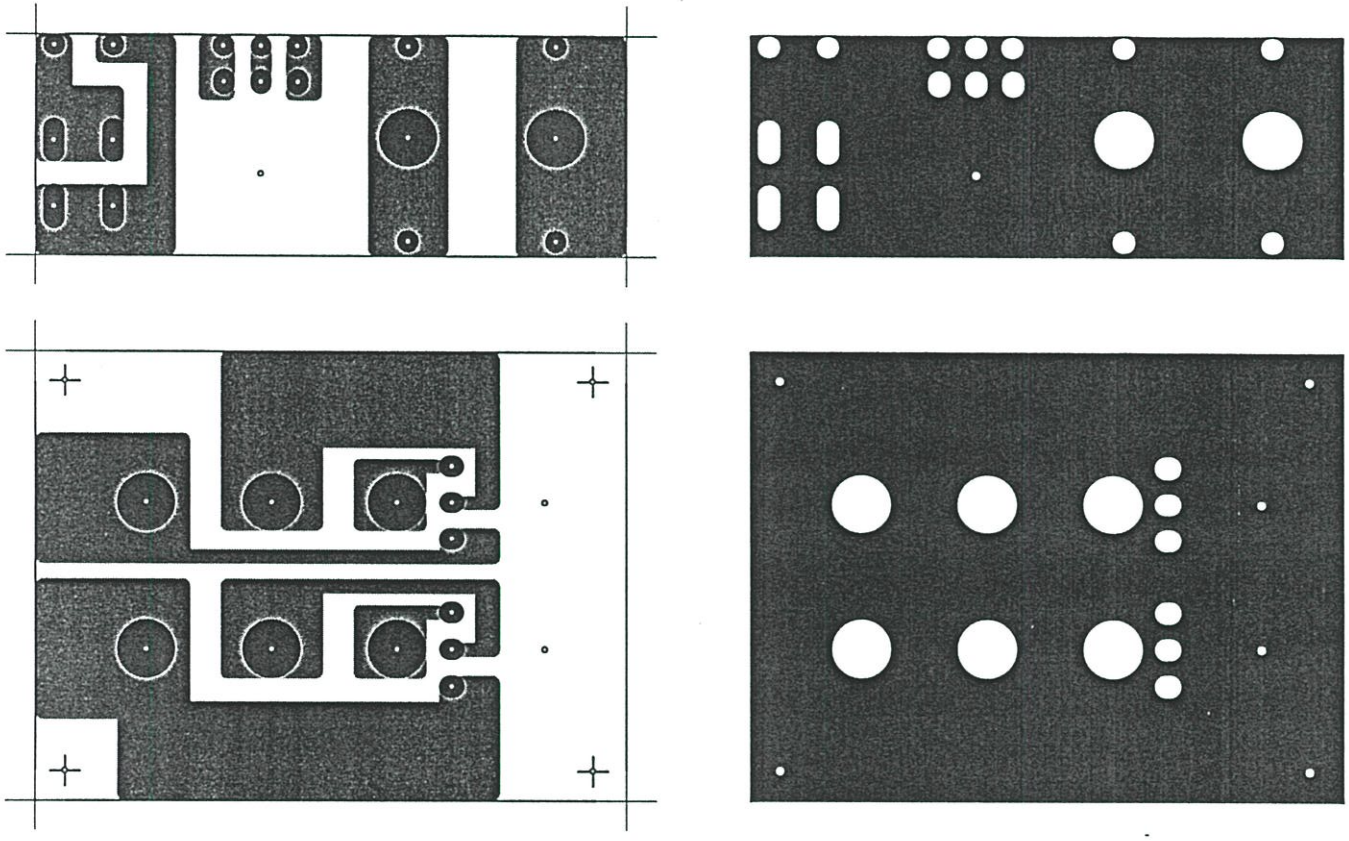




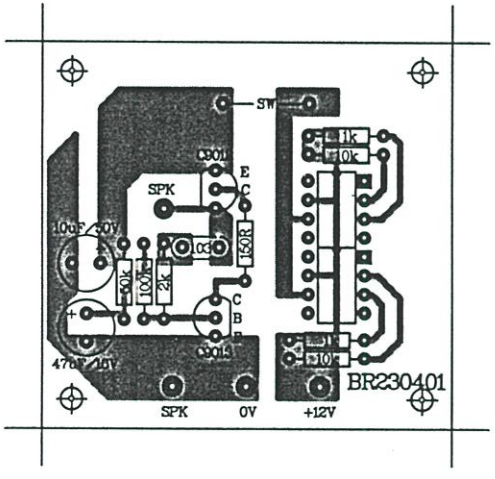
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว CONNECTOR แหล่งจ่ายไฟแบบคงที่

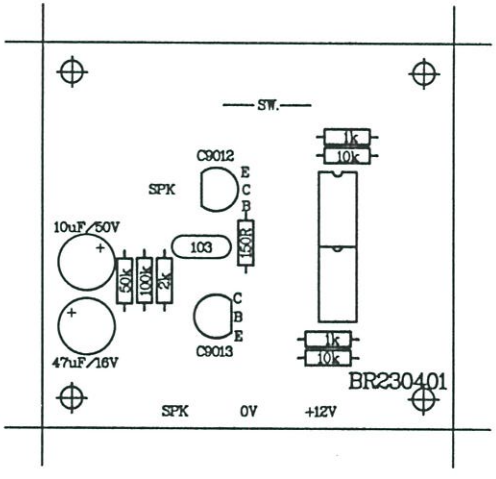


รูปภาพรวมและลายสกรีนการลงอุปกรณ์ VARIABLE RESISTOR

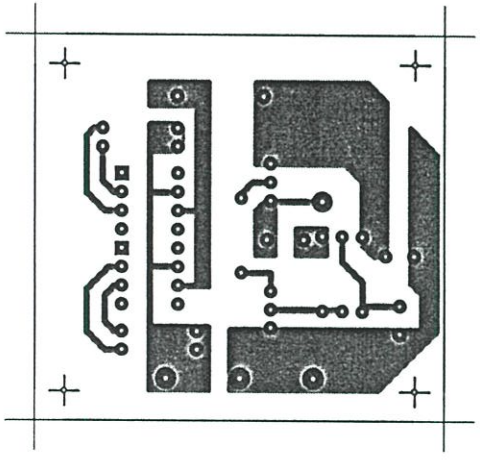


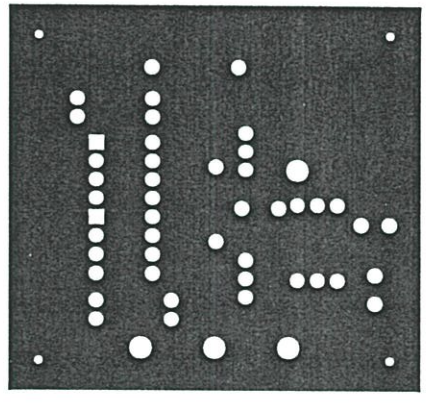
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียว VARIABLE RESISTOR



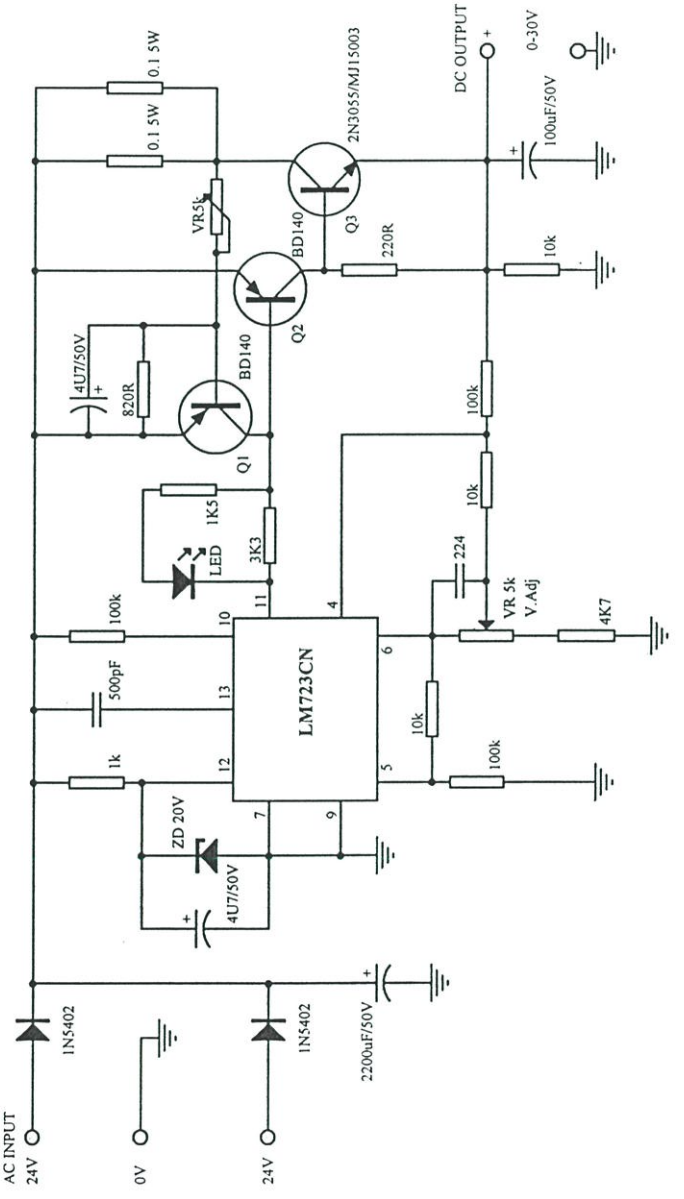


รูปภาพรวมและลายอุปกรณ์วงจร TEST OPAMP

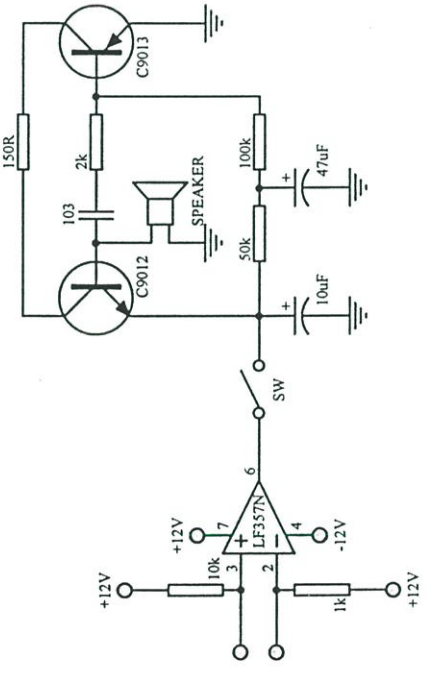




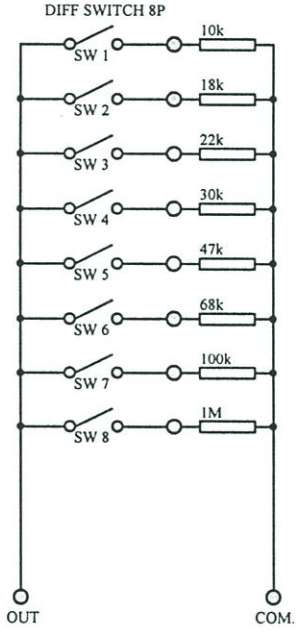
รูปลายทองแดงและลายสกรีนจุดบัดกรีพิมพ์สีเขียววงจร TEST OPAMP



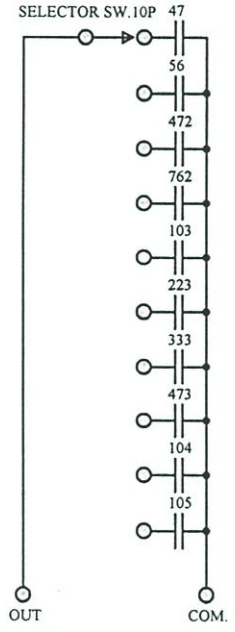
รูปวงจร แหล่งจ่ายไฟ DC 0-30V



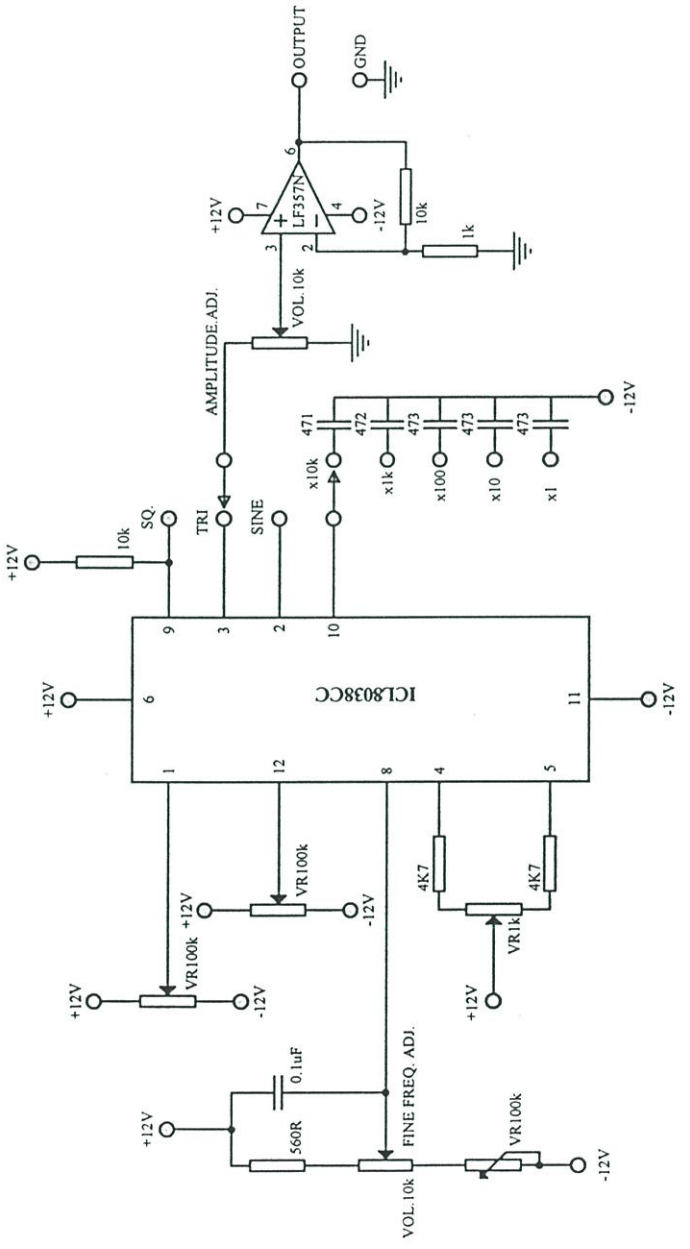
รูปวงจร Test Opamp



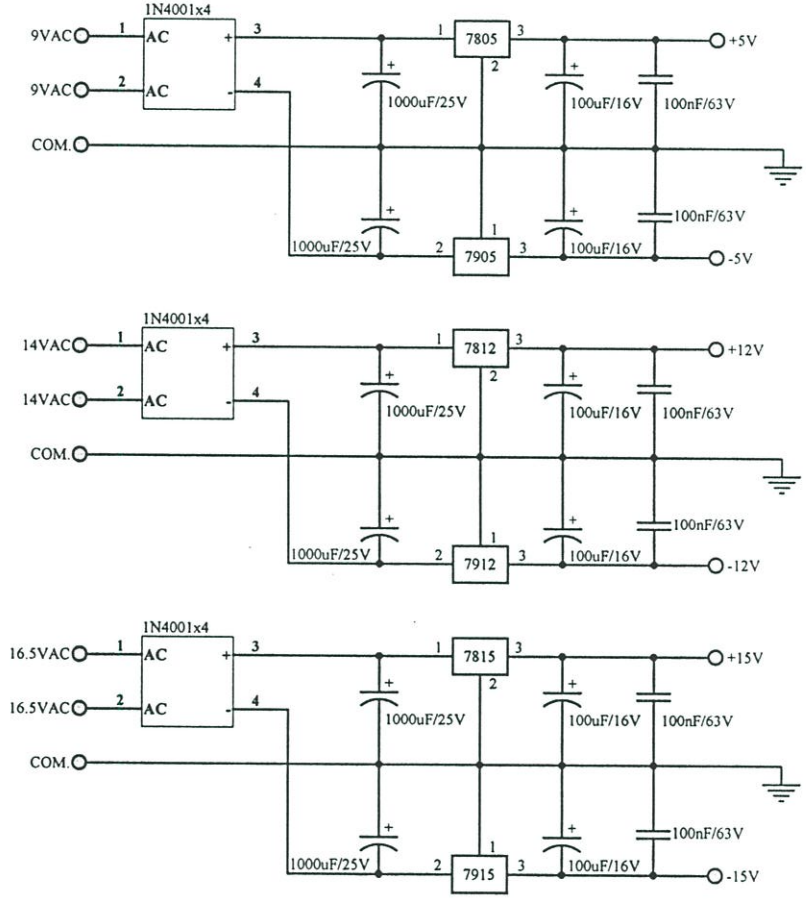
รูปวงจร DIFF RESISTOR



รูปวงจร VARIABLE CAPACITOR



รูปที่๑๑๕ FUNCTION GENERATOR



รูปวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบคงที่

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 1

เรื่อง	**การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่**
หัวข้อ	**วงจรกรองความถี่ต่ำ** (Low-Pass Filter)

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจการประกอบวงจรกรองความถี่ต่ำ
2. เข้าใจการวิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำ
3. เข้าใจการวัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำ

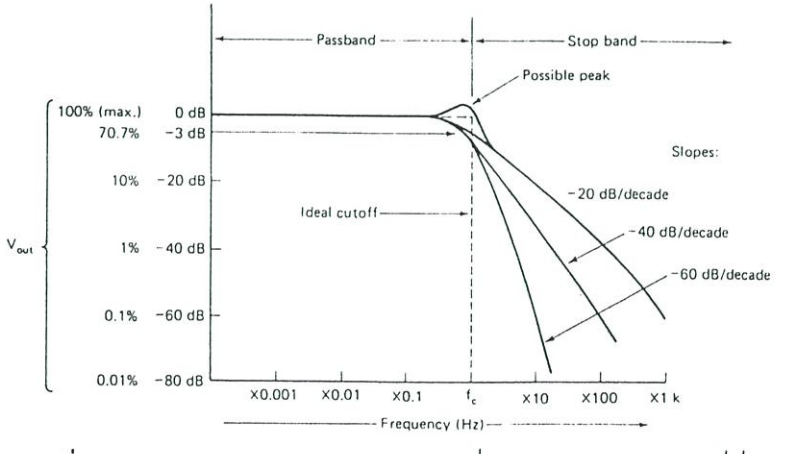
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ประกอบวงจรกรองความถี่ต่ำได้
2. วิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำได้
3. วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำได้

เนื้อเรื่อง

วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter)

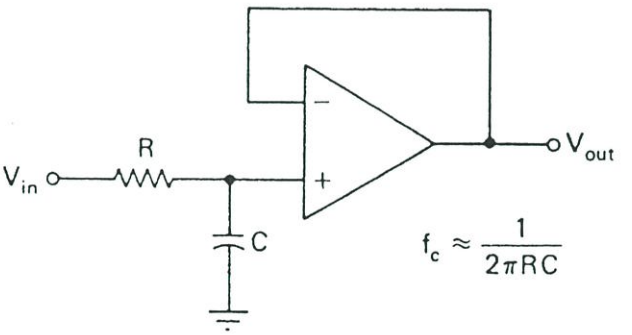
ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราอาจต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้ามาเท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนี้จะถูกกำจัดออกไป และนี้คือประโยชน์ของวงจรกรองความถี่ชนิดนั้นๆ โดยเริ่มศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นชนิดแรก



รูปที่ ข1 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

ในอุดมคติ วงจรกรองความถี่ต่ำจะกันไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟ (f_C) ผ่านเข้ามาในวงจรเลยหากสัญญาณมีความถี่สูงกว่า f_C เพียงเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติลักษณะของความถี่ที่ถูกกันออกไปนั้นจะไม่เป็นเช่นนั้น แต่จะค่อยๆ ถูกลดอัตราขยายลดลงไปเรื่อยๆ จุดที่ความถี่มีค่าเท่ากับ f_C ถูกเรียกได้หลายชื่อ เช่น ความถี่ 0.707 (ขนาดของ V_{out}ลดลงเหลือเพียง 70.7 % เทียบกับ V_{in} สูงสุด) ความถี่ -3 dB (อัตราขยายแรงดันเอาท์พุทลดลง 3 dB) หรือความถี่หักมุม เป็นต้นกล่าวโดยสรุปแล้ว วงจรนี้จะลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า f_C และเรียกช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า f_C ว่า ช่วงที่ผ่านได้ (PASS BAND) และช่วงที่มีความถี่สูงกว่า f_C ว่าช่วงที่ถูกกั้น (STOP BAND)

จากกราฟ แสดงการตอบสนองต่อความถี่ในรูป 1 จะพบว่า เมื่อสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟแล้ว สัญญาณบางเส้นอาจถูกลดทอนด้วยอัตราที่น้อยกว่าสัญญาณเส้นอื่น เช่น สัญญาณที่มีความชัน – 20 dB/decade (อัตราขยายลดลง 20 dB ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) จะมีความชันน้อยกว่าสัญญาณที่มีค่า – 60 dB/decade คุณสมบัตินี้เกิดขึ้นจากออกแบบวงจรกรองความถี่และเป็นที่แน่นอนว่า ยิ่งค่าความชันนี้มีขนาดลบมากเท่าใด วงจรก็จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจรในอุดมคติมากยิ่งขึ้น



รูปที่ ข2 ตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน มีความชันประมาณ -20 dB/decade

จากรูปที่ ข2 แสดงตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน ซึ่งใช้ออปแอมป์ที่ถูกต่อในลักษณะของวงจรตามแรงดัน และใช้หลักการแบ่งแรงดันธรรมดา ณ ขั้วอินพุทบวก โดยใช้คุณสมบัติที่ว่าความถี่ของสัญญาณอินพุทจะมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุดังสมการ

$$X_C = \frac{1}{w_C} \qquad (w = 2\pi f)$$

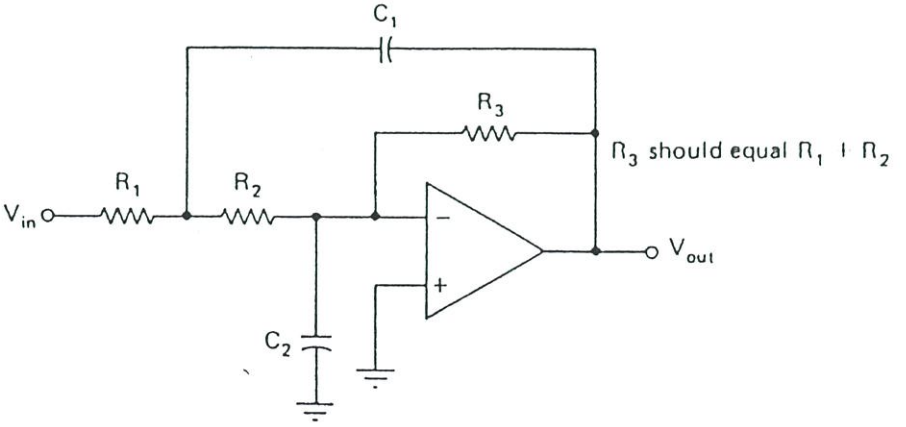
โดยที่ f คือ ความถี่ของสัญญาณอินพุท ดังนั้น เมื่อสัญญาณอินพุทมีความถี่ต่ำ X_C จะมีค่าสูง ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดจากอินพุทตกคร่อมตัวเก็บประจุ และเป็นผลให้แรงดันเอาท์พุท V_O จะมีค่าประมาณ V_{in} ด้วย ในขณะที่สัญญาณซึ่งมีค่าความถี่สูงจะทำให้ X_C มีค่าต่ำเป็นผลทำให้ตัวเก็บประจุเสมือนลัดวงจร ดังนั้น V_{out} จึงมีค่าต่ำด้วย สรุปได้ว่า ช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำจะผ่านไปปรากฏที่เอาท์พุทได้ โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่สูงจะถูกกั้นเอาไว้ และเราสามารถหาความถี่ f_C ที่แบ่งช่วงสัญญาณออกเป็นสองส่วนได้ดังสมการ

$$f_C \approx \frac{1}{2\pi RC}$$

วงจรกรองความถี่ต่ำในรูปที่ ข2 นี้จะมีความชันประมาณ -20 dB/decade และจากการใช้อุปกรณ์เช่นตัวเก็บประจุในวงจรสัญญาณที่วัดได้จากเอาท์พุท จะมีเฟสไม่ตรงกับอินพุทเลยทีเดียวคือ จะมีการเลื่อนเฟสออกไป 45° (ถึงแม้จะป้อนอินพุท ณ ขั้วอินพุทบวกก็ตาม) ซึ่งหากความชันมีค่าเป็นลบสูงเท่าใด เฟสก็จะถูกเลื่อนไปเรื่อยๆ โดยทั่วไปเฟสของสัญญาณเอาท์พุทจะเลื่อนไป 45° สำหรับทุกๆ ความชันที่ลดลง -20 dB/decade ตัวอย่างเช่น สำหรับสัญญาณที่มีความชัน -40 dB/decade เฟสของเอาท์พุทจะถูกเลื่อนออกไป -90° เทียบกับสัญญาณอินพุท

รูปที่ ข3 แสดงวงจรที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน -40 dB/decade โดยมีตัวเก็บประจุทำหน้าที่เช่นเดิม แต่เพิ่มตัวเก็บประจุ C_1 ในการป้อนสัญญาณกลับมาหักล้างกับสัญญาณอินพุทที่มีความถี่สูง (เนื่องจาก X_{C1} จะมีค่าลดลง) และเราสามารถหาความถี่คัทออฟจากสมการได้ดังนี้

$f_C \approx \frac{0.707}{2\pi RC}$ พิจารณาที่ความถี่ -3 dB (อัตราขยายแรงดันเอาท์พุทลดลง 3 dB)



รูปที่ ข3 วงจรกรองความถี่ต่ำที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน -40 dB/decade

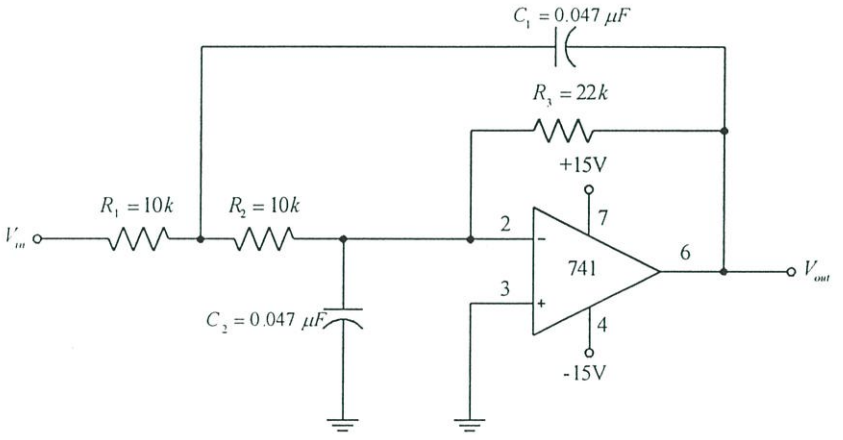
สมการนี้จะแม่นยำมากถ้าความต้านทาน R_1 และ R_2 ที่ใช้มีขนาดเท่ากัน และตัวเก็บประจุ C_1 มีคาปาซิแตนซ์สูงกว่า C_2 R_3 ควรมีค่าเท่ากับ $R_1 + R_2$ เพื่อสัญญาณเอาท์พุทจะได้มีลักษณะใกล้เคียงกับอินพุทที่สุด และยังช่วยในการปรับออฟเซ็ทให้เกิดสมดุลอีกด้วย

เครื่องมืออุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ 1 ชุด
2. ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM 741 1 ตัว
3. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
4. ใบปฏิบัติงานที่ 1

ลำดับขั้นปฏิบัติ

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร Low Pass Filter



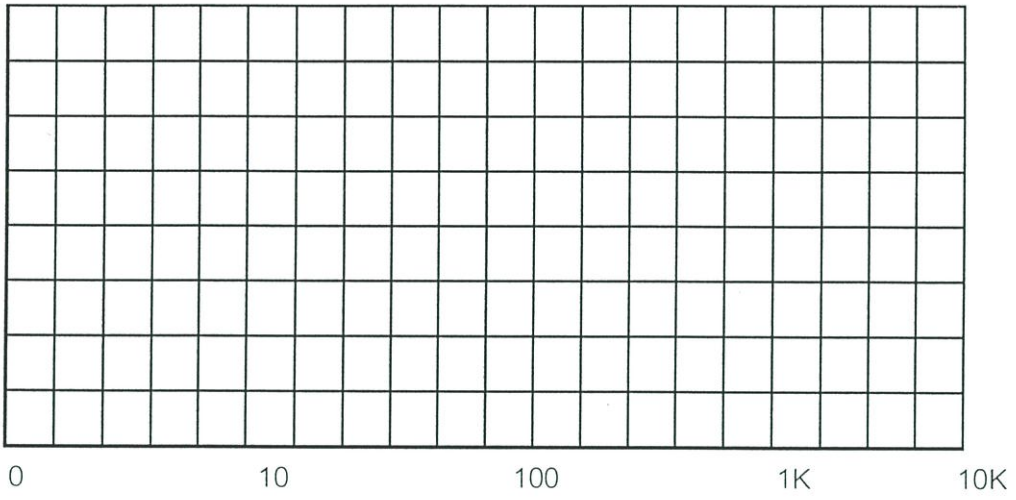
รูปที่ ข4 วงจร Low Pass Filter

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

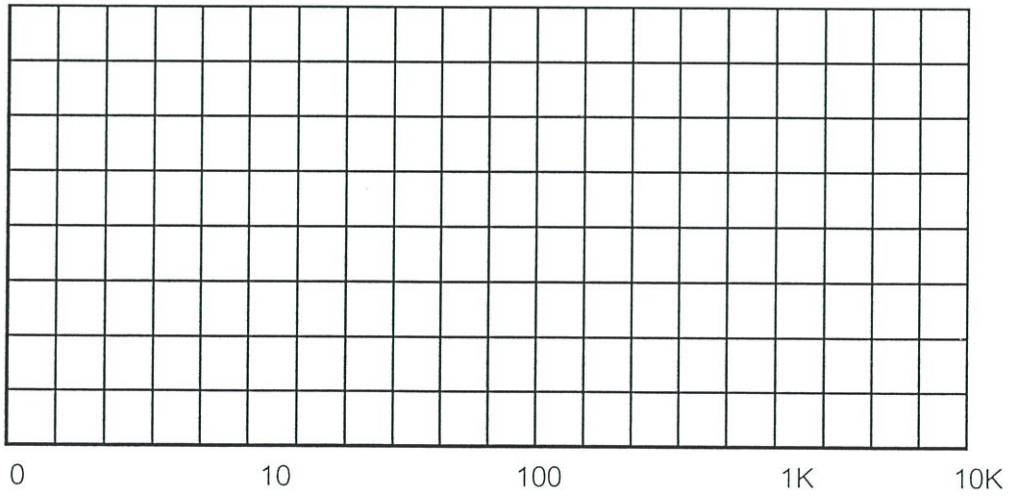
3. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF และ 0.022 μF

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	10K	Hz
$C_1=C_2=0.1$	V_{01}													V
$C_1=C_2=0.022$	V_{02}													V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



ตารางที่ 4

5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร .....

.....

.....

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ต่ำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

.....

.....

8. สรุปผลการทดลอง .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 2

เรื่อง	**การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่**
หัวข้อ	**วงจรกรองความถี่สูง** (High-Pass Filter)

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจการประกอบวงจรกรองความถี่สูง
2. เข้าใจการวิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่สูง
3. เข้าใจการวัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่สูง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

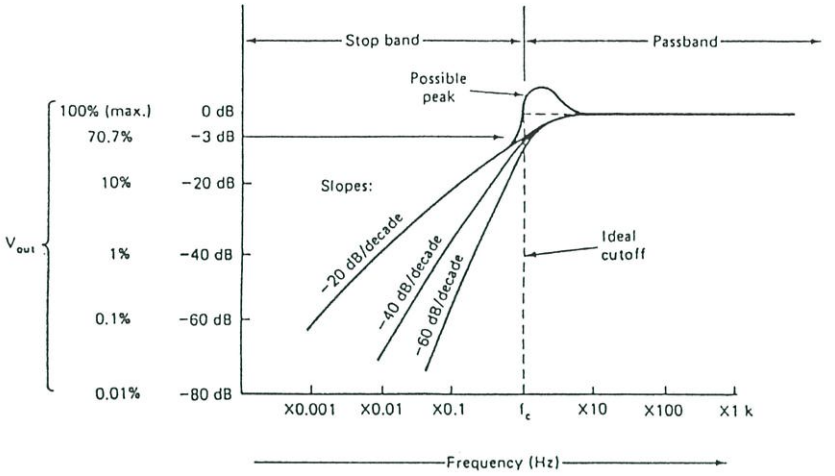
1. ประกอบวงจรกรองความถี่สูงได้
2. วิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่สูงได้
3. วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงได้

เนื้อเรื่อง

2.3.2 วงจรกรองความถี่สูง (HIGH PASS FILTER)

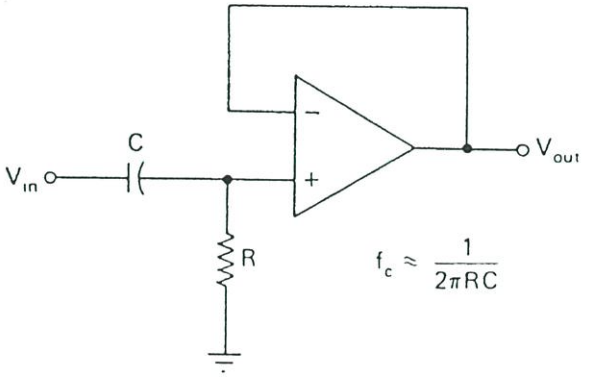
หลังจากที่ได้ศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำแล้ว เราสามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถนำสมการต่างๆ ของวงจรกรองความถี่ต่ำ มาใช้กับวงจรกรองความถี่สูงได้อีกด้วย

จากชื่อของวงจรชนิดนี้ เราสามารถบอกได้ทันทีว่าวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านเข้าไปสู่ภาคเอาท์พุทได้ แต่จะกันไม่ให้สัญญาณความถี่ต่ำเล็ดลอดออกไป แต่จากคุณสมบัติที่มีไม่เหมือนในอุดมคติ วงจรนี้จึงมีลักษณะเช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำ นั่นคือ เกิดความถี่คัทออฟ f_C ขึ้น และอัตราขยายจะค่อยๆ ลดลง คือไม่ตกลงในแนวดิ่งเลยที่เดียวดังรูปที่ ข5

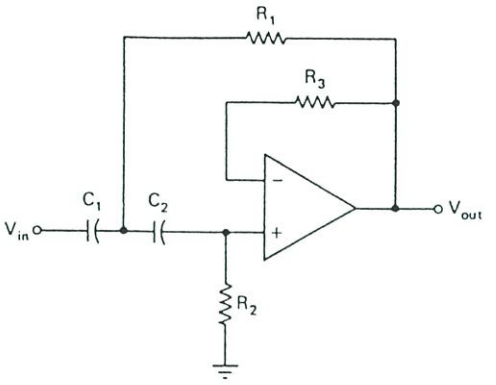


รูปที่ ข5 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง

เราสามารถสร้างวงจรนี้โดยการสลับตำแหน่งของตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุของวงจรกรองความถี่ดังรูปที่ ข6 และสามารถอธิบายจากคุณสมบัติที่ว่า ที่ความสูง อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าต่ำกว่า f_C อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าสูง ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดตกคร่อมตัวเก็บประจุเองและเป็นผลให้แรงดันคร่อมตัวต้านทานและแรงดันเอาท์พุทมีค่าต่ำมาก โดยที่วงจรในรูปที่ ข6 นี้มีความชันประมาณ -20 dB/decade และมีค่าความถี่คัทออฟซึ่งหาค่าได้จากสมการเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำ



รูปที่ ข6 วงจรกรองความถี่สูง มีความชันประมาณ -20 dB/decade



$f_C = \frac{1.414}{2\pi RC}$ พิจารณาที่ความถี่ -3 dB

เมื่อ $R_1 = R_2$, $R_3 = R_1 + R_2$ และ $C_1 = C_2$

รูปที่ ข7 วงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง -40 dB/decade

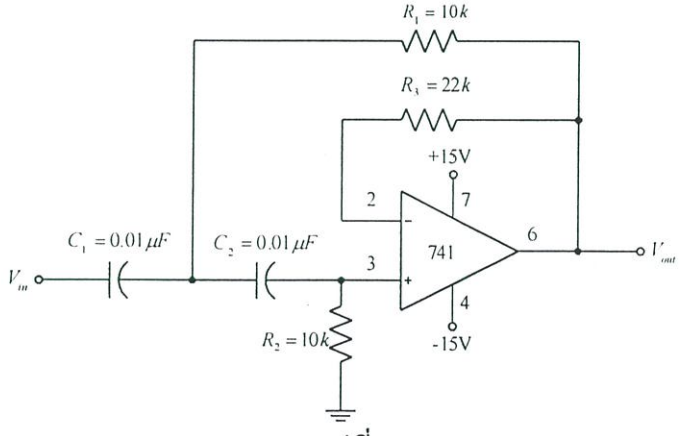
รูปที่ ข7 แสดงวงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง -40 dB/decade และเพื่อการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด C_1 ควรมีค่าเท่ากับ C_2 R_3 ควรมีค่าเท่ากับ R_2 โดยมี R_2 เป็นตัวป้อนสัญญาณกลับเพื่อการกรองสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง

เครื่องมืออุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ 1 ชุด
2. ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM741 1 ตัว
3. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
4. ใบปฏิบัติงานที่ 2

ลำดับขั้นปฏิบัติ

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร High Pass Filter



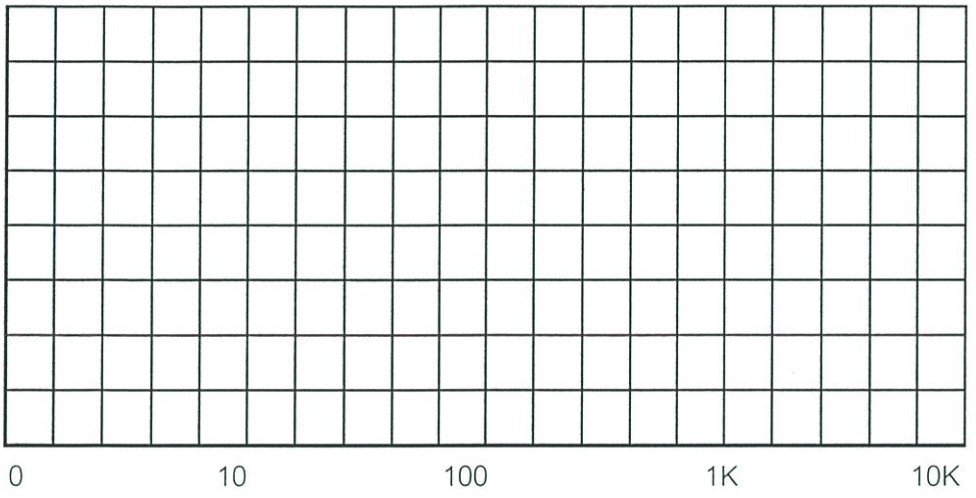
รูปที่ ข8 วงจร High Pass Filter

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

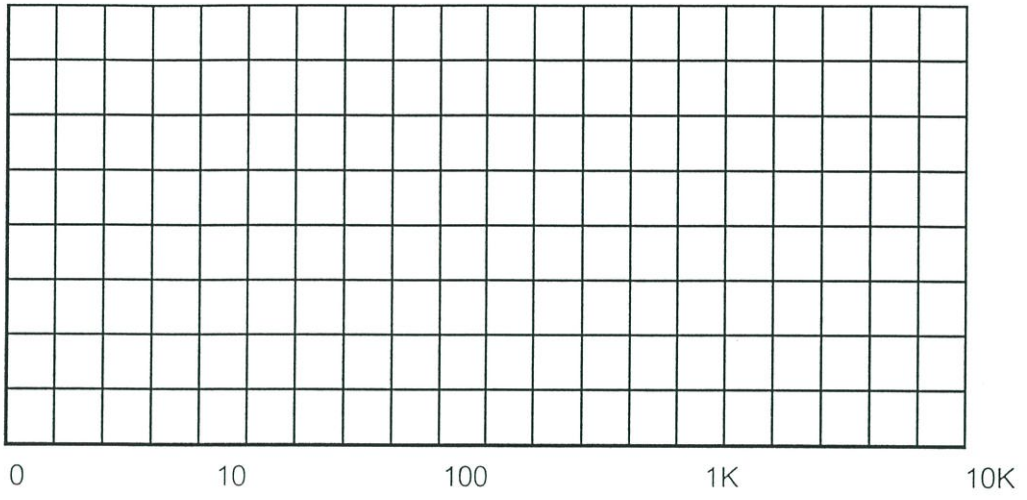
3. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF และ 0.022 μF

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	10K	Hz
$C_1=C_2=0.1$	V_{01}													V
$C_1=C_2=0.022$	V_{02}													V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



ตารางที่ 4

5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร .....

.....

.....

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่สูงไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

8. สรุปผลการทดลอง .....

.....

.....

.....

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 3

เรื่อง	**การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่**
หัวข้อ	**วงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน (Band-Pass Filter)**

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจการประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบ
2. เข้าใจการวิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน
3. เข้าใจการวัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน

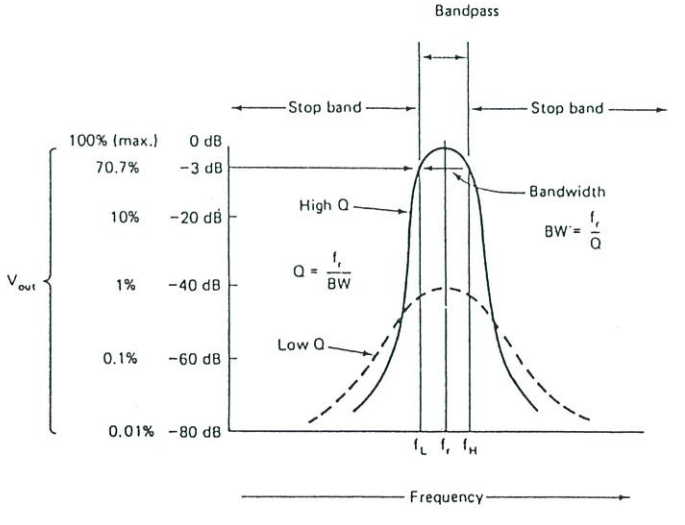
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบได้
2. วิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านได้
3. วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านได้

เนื้อเรื่อง

วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน (BAND PASS FILTER)

วงจรกรองความถี่เป็นช่วงหรือแบนด์พาสฟิลเตอร์ คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณบางความถี่ผ่านได้เท่านั้น รูปที่ ข9 แสดงคุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน



รูปที่ ข9 คุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

จากรูปที่ ข9 จะพบว่าความถี่ที่เอาท์พุทมีขนาดสูงสุด เราเรียกว่า ความถี่รีโซแนนท์ (Resonant Frequency) และความถี่ซึ่งมีแรงดันเอาท์พุทลดลง เหลือ 70.7% ทั้งทางด้านที่มีความถี่สูงขึ้น และที่ความถี่ลดลง เรียกว่า ความถี่ f_H และ f_L ตามลำดับ โดยที่ผลต่างของความถี่ทั้งสองนี้ (f_C- f_L) จะแสดงแบนด์วิดธ์ (BW) ของวงจร ถ้า BW มีความถี่ต่ำกว่า 10% ของความถี่รีโซแนนท์ (f_r) จะเรียกวงจรนี้ว่า วงจรฟิลเตอร์ช่วงแคบ แต่จะเรียกว่าเป็นวงจรฟิลเตอร์ช่วงกว้าง หากแบนด์วิดธ์ มีค่าสูงกว่า 10% ของ f_r นอกจากนี้ยังให้นิยามสำหรับค่า Q (quality factor) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่รีโซแนนท์และแบนด์วิดธ์ ดังสมการ

$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

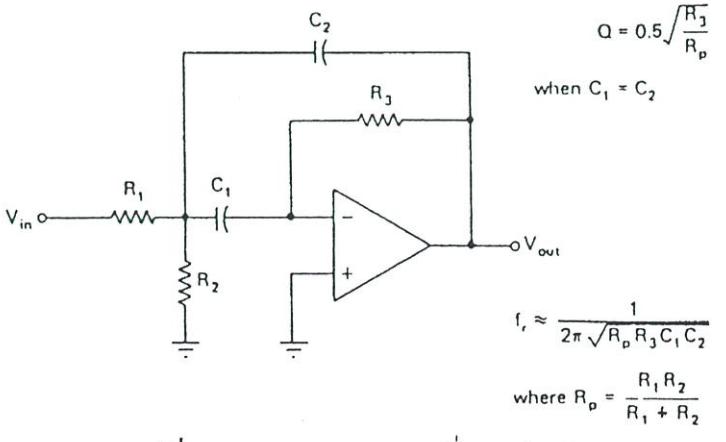
วงจรที่มีค่า Q สูงมากเท่าใด แบนด์วิดธ์ก็จะยิ่งแคบเท่านั้น (เข้าใกล้วงจรในอุดมคติซึ่งต้องการเลือกความถี่ที่ผ่านวงจรกรองได้เพียงค่าเดียว) และเอาท์พุทก็จะมีขนาดสูงขึ้นด้วย เส้นประในรูป 1 แสดงวงจรกรองแบนด์พาสที่มีค่า Q ค่อนข้างต่ำ

วงจรในรูปที่ ข10 แสดงวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน ซึ่งใช้การรวมความถี่สูงและวงจรความถี่ต่ำเข้าด้วยกัน (โดยที่วงจรใดจะมาก่อนกันก็ได้) R_1 และ C_2 คืออุปกรณ์ในการกรองความถี่ต่ำ ส่วน C_1 และ R_2 ใช้กรองความถี่สูง และสามารถหาความถี่รีโซแนนซ์ f_r จากสมการ

$$f_r \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{R_p R_3 C_1 C_2}}$$

โดยที่ $R_p = R_1 // R_2$

$$R_p \equiv \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



รูปที่ ข10 วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

หาค่า Q จากสมการ

$$Q = 0.5\sqrt{\frac{R_3}{R_P}}$$ เมื่อ $C_1 = C_2$

หาค่า f_H จากสมการ

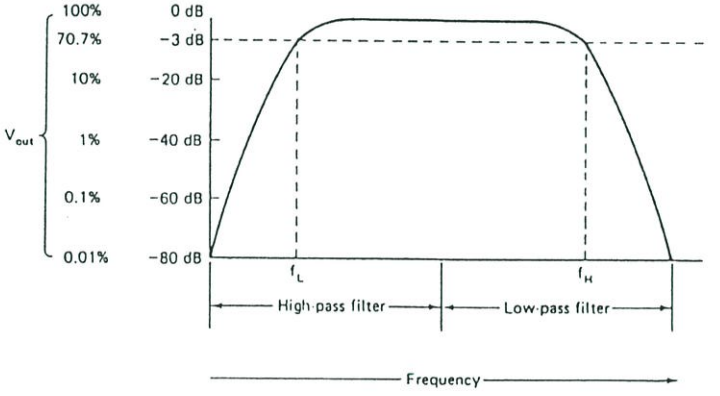
$$f_H = f_r + \frac{BW}{2}$$

และหาค่า f_L จากสมการ

$$f_L = f_r - \frac{BW}{2}$$

จากสมการในการคำนวณหา f_r และ Q จะพบว่าความต้านทาน R_3 จะมีบทบาทสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เมื่อตัวต้านทาน R_3 นี้มีค่าต่ำ f_r จะมีค่าสูง Q จะมีค่าต่ำ เป็นต้น

ดังนั้น จะสรุปได้ว่า ตัวต้านทาน R_3 จะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเลือกความถี่ของสัญญาณที่ต้องการให้ผ่านเข้ามา และความกว้างของช่วงความถี่นั้นๆ



รูปที่ ข 11 กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

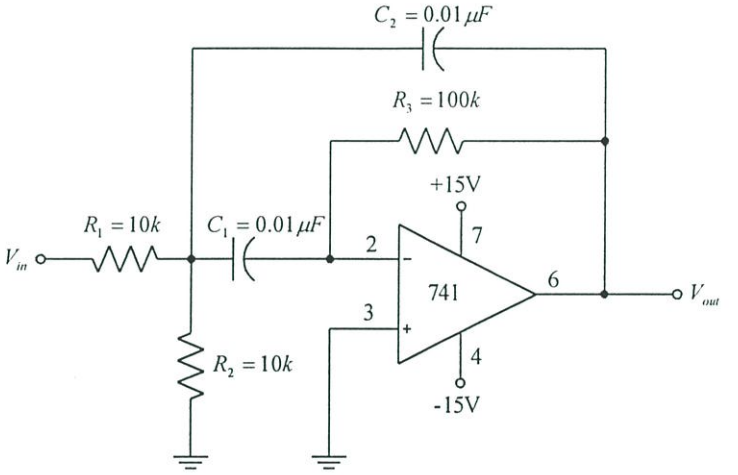
ในกรณีที่ต้องการวงจรกรองความถี่เป็นช่วงๆ ซึ่งมีช่วงกว้างมากๆ เราสามารถนำวงจรกรองความถี่ต่ำ และวงจรกรองความถี่สูงมาต่อรวมกันได้เลย โดยใช้ f_C ของวงจรกรองความถี่ต่ำเป็น f_H และใช้ f_C ของวงจรกรองความถี่สูงเป็น f_L ซึ่งจะได้กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ดังรูปที่ ข11

เครื่องมืออุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ 1 ชุด
2. ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM 741 1 ตัว
3. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
4. ใบปฏิบัติงานที่ 3

ลำดับขั้นปฏิบัติ

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร Band-Pass Filter



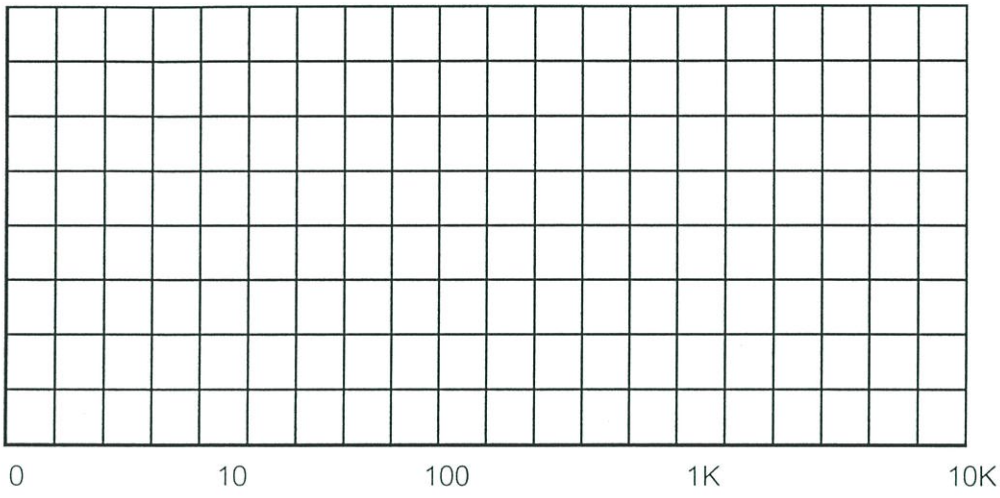
รูปที่ ข12 วงจร Band-Pass Filter

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

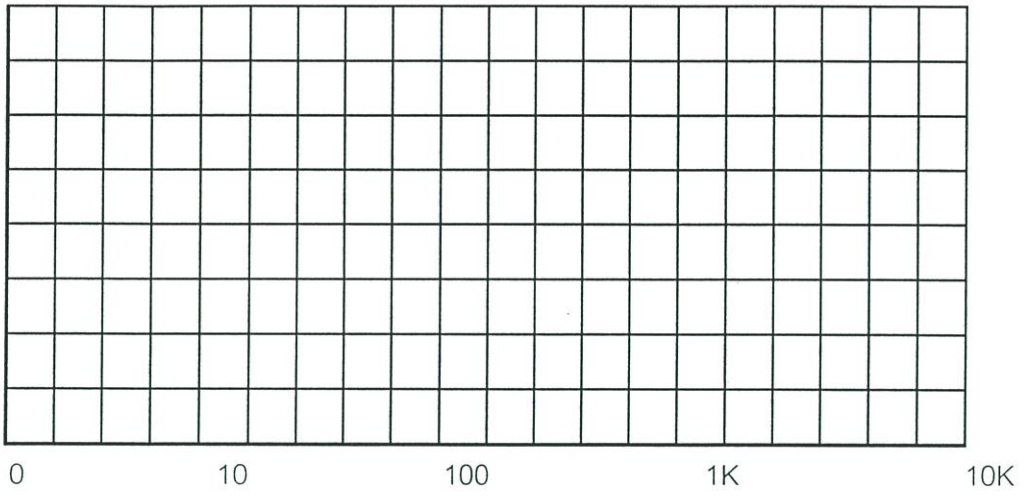
3. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF และ 0.022 μF

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	Hz
$C_1=C_2=0.1$	V_{01}													V
V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	400	500	600	700	800	900	1K	10K					Hz
$C_1=C_2=0.1$	V_{01}													V
V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	Hz
$C_1=C_2=0.022$	V_{02}													V
V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	400	500	600	700	800	900	1K	10K					Hz
$C_1=C_2=0.022$	V_{02}													V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



ตารางที่ 4

5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร .....

.....

.....

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

.....

.....

8. สรุปผลการทดลอง .....

.....

.....

.....

.....

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 4

เรื่อง	**การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่**
หัวข้อ	**วงจรกรองความถี่ช่วงหยุด (Band-Stop Filter)**

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจการประกอบวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด
2. เข้าใจการวิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด
3. เข้าใจการวัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด

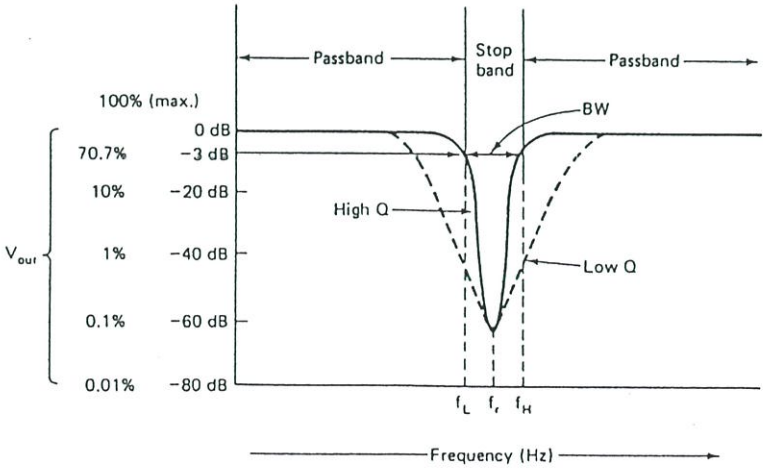
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ประกอบวงจรกรองความถี่ช่วงหยุดได้
2. วิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงหยุดได้
3. วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ช่วงหยุดได้

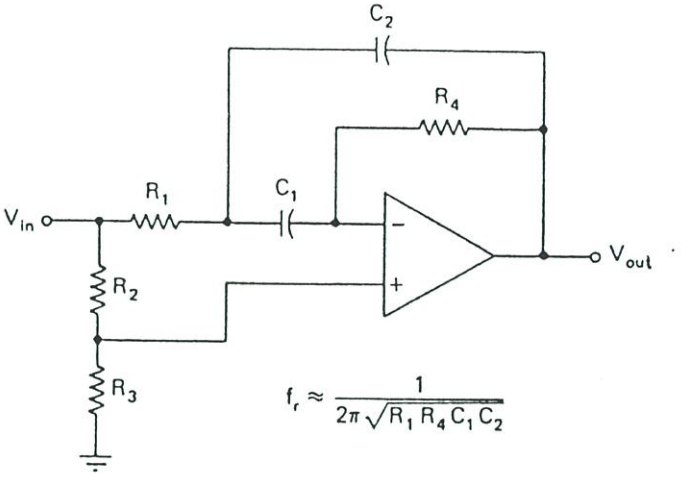
เนื้อเรื่อง

วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (Band Stop Filter)

วงจรนี้จะทำงานตรงข้ามกับวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน หรือ เรียกว่า วงจรนอท์ช ฟิลเตอร์ (NOTCH FILTER) โดยที่วงจรนี้จะยอมให้ความถี่ทุกๆ ค่าผ่าน ยกเว้นความถี่ช่วงหนึ่งซึ่งได้กำหนดไว้ โดยทั่วไปวงจรชนิดนี้มักถูกใช้เพื่อกันสัญญาณรบกวนที่เราทราบค่าความถี่แล้ว รูปที่ ข 13 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด



รูปที่ ข13 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด



รูปที่ ข 14 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน

รูปที่ ข14 แสดงวงจรวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน โดยสามารถคำนวณ f_r จากสมการ

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_4 C_1 C_2}}$$

และคำนวณค่า Q ของวงจรเมื่อ $C_1 = C_2$ จากสมการ

$$Q = 0.5\sqrt{\frac{R_4}{R_1}}$$

นอกจากนี้ยังสามารถนำค่า Q นี้มาคำนวณหาความชันได้อีกด้วย โดยที่

$$\text{(ความชัน) } N = \frac{\frac{1}{Q} - \frac{1-R_P}{R_P}(2Q)}{\frac{1}{Q}} \qquad R_P = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

ซึ่งโดยปกติแล้ว R_3 ที่ใช้งานจะมีค่าสูงกว่า R_2 ประมาณ 50 เท่า

หา $BW = \frac{f_r}{Q}$

หาค่า f_H จากสมการ

$$f_H = f_r + \frac{BW}{2}$$

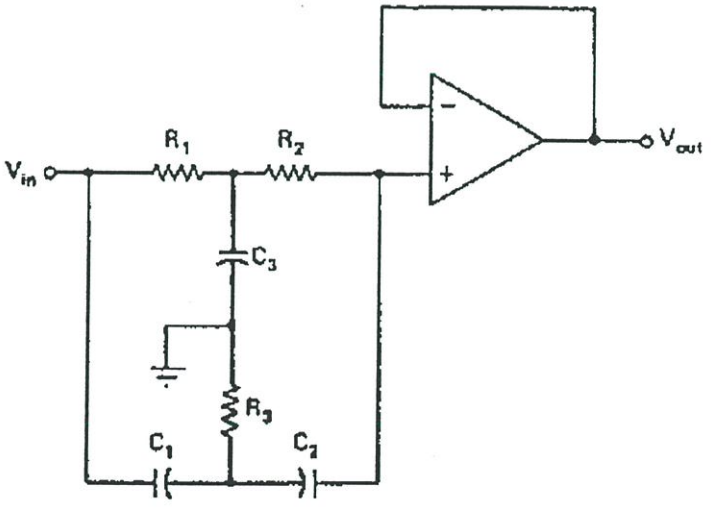
และหาค่า f_L จากสมการ

$$f_L = f_r - \frac{BW}{2}$$

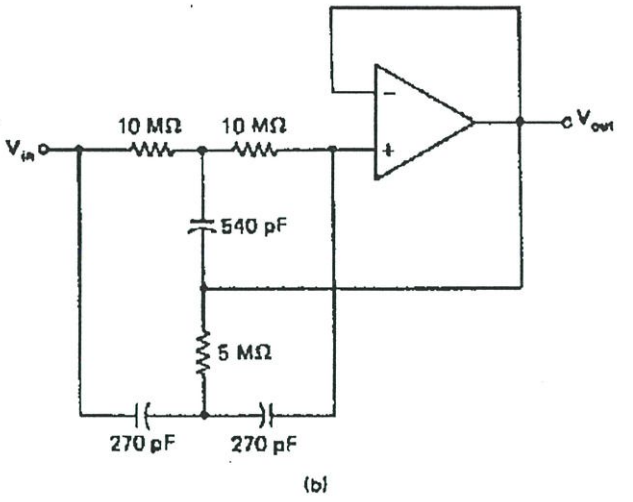
การทำงานของวงจรในรูปที่ ข 14 สามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงดันอินพุท V_{in} จะถูกแบ่งตามอัตราส่วนระหว่าง R_2 และ R_3 ซึ่งแรงดันนี้จะถูกป้อนให้แก่ขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์ ที่ความถี่ต่ำกว่า f_r ค่าอิมพีแดนซ์ X_C ของตัวเก็บประจุจะสูงมาก ดังนั้นจึงไม่มีการป้อนสัญญาณกลับเป็นผลให้ V_{out} มีค่าประมาณ $(\frac{R_3}{R_2+R_3})V_{in}$ ซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับ V_{in} มาก (เมื่อใช้ $R_3 = 50\ R_{in}$) แต่เมื่อความถี่ของอินพุทเข้าใกล้ f_r รีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุจะทำงานร่วมกับตัวต้านทานในการป้อนสัญญาณเอาท์พุทกลับสู่อินพุท เป็นผลทำให้แรงดันเอาท์พุทลดลง และเกิดการเลื่อนเฟสด้วย เมื่อความถี่ของอินพุทมีค่าสูงกว่า f_r อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะลดลง และเป็นผลให้ขั้วเอาท์พุทเสมือนถูกลัดวงจรกับขั้วอินพุทลบ นั่นคือ อัตราขยายมีค่าเป็น 1 กลายเป็นวงจรตามแรงดัน (ในการพิจารณาวงจรนี้ เมื่อกล่าวถึงกรณีที่อิมพีแดนซ์ของ C มีค่าสูงๆ ให้คิดว่า C ถูกเปิดวงจร และเมื่ออิมพีแดนซ์ของ C มีค่าลดลงให้คิดเสมือน (C ถูกลัดวงจร)

รูปที่ ข15 แสดงวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด 'T' – คู่ ซึ่ง 'T' – คู่ นี้หมายถึง การนำอุปกรณ์พาสซีฟมาต่อในลักษณะของตัวอักษร T 2 ตัวกลับหัวกัน โดยมีออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์วงจรนี้มักให้ Q ค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 1) ส่วนวงจรในรูปที่ ข15 b แสดงการนำวงจร 3 a มาดัดแปลงเล็กน้อย โดยนำจุดต่อระหว่าง R_3 และ C_3 ไปป้อนที่เอาท์พุทของออปแอมป์ เป็นผลให้ค่า Q มีค่าสูงถึง 50 ซึ่งทำให้เกิดความชันมีค่าสูงมาก (ดังนั้น เอาท์พุทที่ได้จึงมีลักษณะแหลมมาก) โดยสมการในการคำนวณ f_r ยังคงเหมือนกับในรูปที่ ข15a

$$f_r \approx \frac{1}{2\pi R_1 C_2} \quad \text{เมื่อ } R_1 = R_2 = \frac{R_3}{2} \text{ และ } C_1 = C_2 = \frac{C_3}{2}$$



(a)



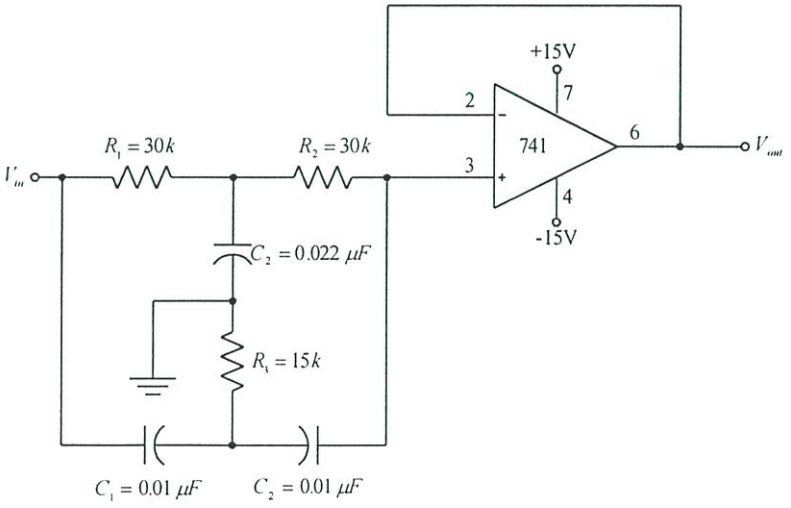
รูปที่ ข15 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด 'T' – คู่

เครื่องมืออุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ 1 ชุด
2. ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM 741 1 ตัว
3. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
4. ใบปฏิบัติงานที่ 4

ลำดับขั้นปฏิบัติ

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร Band-Stop Filter



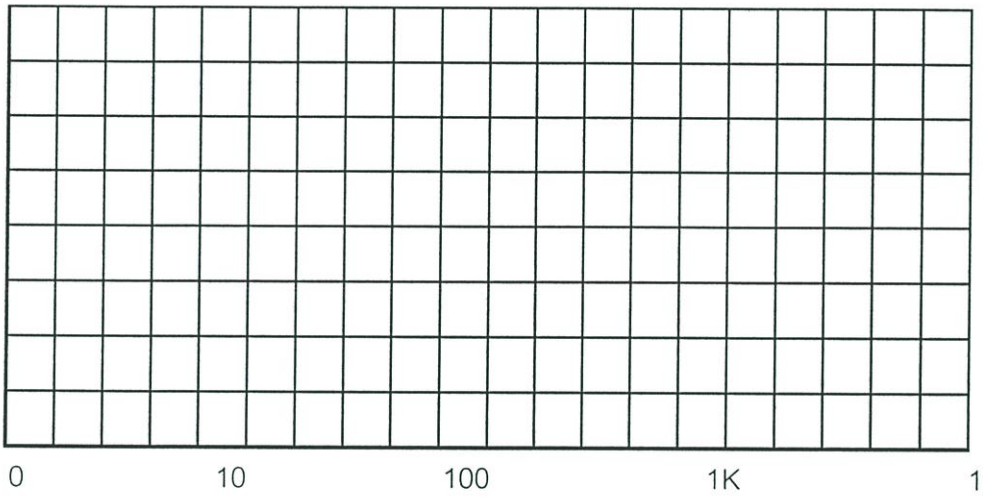
รูปที่ ข16

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

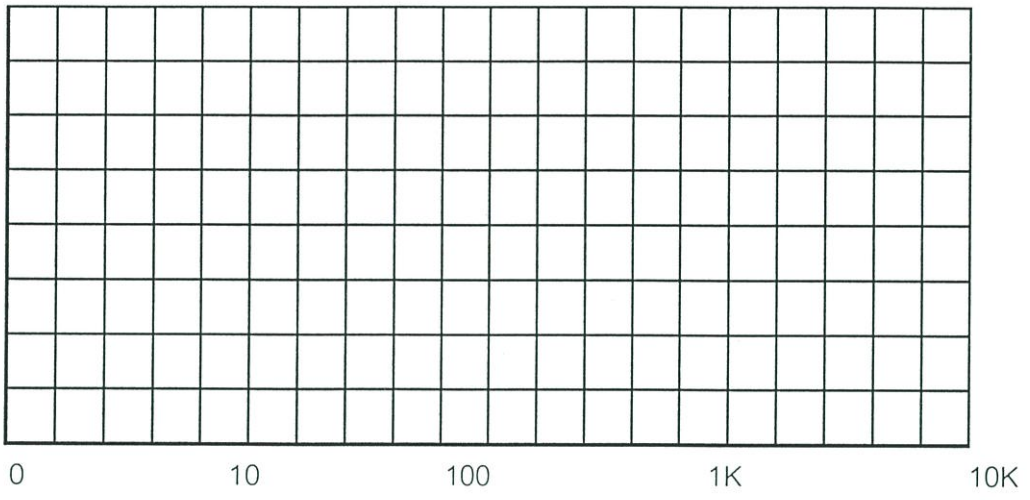
3. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.02 μF และ 0.007 μF

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	10K	Hz
$C_1=C_2=0.02$	V_{01}													V
$C_1=C_2=0.007$	V_{02}													V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



ตารางที่ 4

5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร .....

.....

.....

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงหยุดไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

8. สรุปผลการทดลอง .....

.....

.....

.....

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานขั้นสุดท้าย

เรื่อง	**การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่**
หัวข้อ	**วงจรกรองความถี่** (Filter)

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจการออกแบบวงจรกรองความถี่
2. เข้าใจการวิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่
3. เข้าใจการประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบ
4. เข้าใจการวัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ออกแบบวงจรกรองความถี่ได้
2. วิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองความถี่ได้
3. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบได้
4. วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ได้

เนื้อเรื่อง

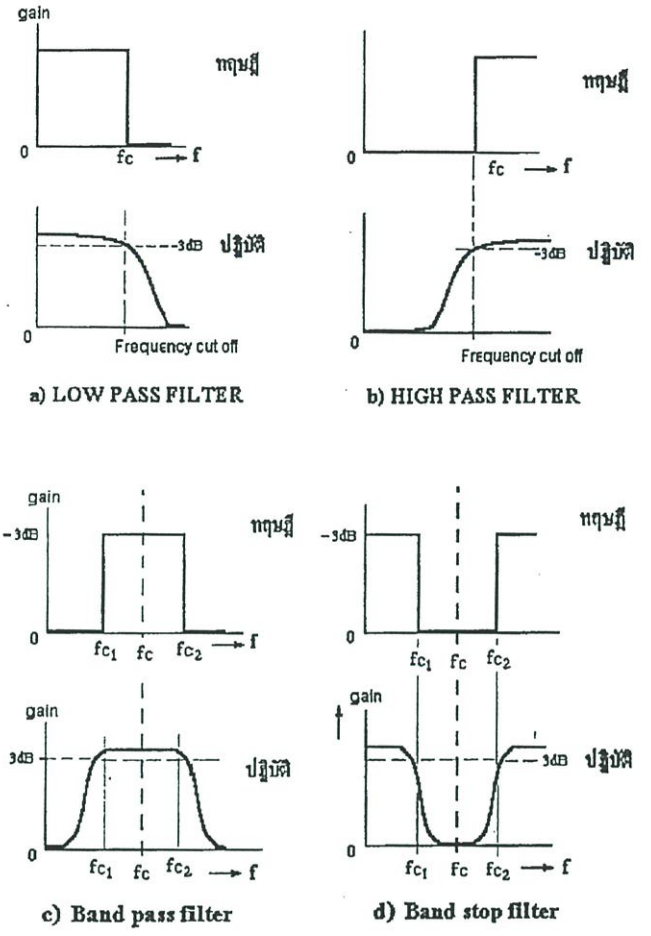
วงจรกรองความถี่ เป็นหัวข้อเรื่องที่พื้นฐานสำคัญในการศึกษาด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร เช่น โครงข่ายการสื่อสัญญาณในระบบแอนาล็อกและดิจิตอล ซึ่งวงจรกรองความถี่แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) , วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter) , กรองความถี่แบบช่วงผ่าน (Band Pass Filter) และวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (Band Stop Filter) (กลุ่ม CNS. 2535 : 42-53)

วงจรกรองความถี่ต่ำ จะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านเท่านั้น

วงจรกรองความถี่สูง จะยอมให้ความถี่สูงผ่านเท่านั้น

วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน จะยอมให้ความถี่บางช่วงผ่านเท่านั้น

วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด จะยอมให้ความถี่บางช่วงหยุดเท่านั้น



รูปที่ ข17 กราฟในอุดมคติและกราฟในทางปฏิบัติที่ใช้ในวงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ที่ใช้งานมี 2 ลักษณะ คือ Passive Filter และ Active Filter (พร้อม แย้มมณฑา. 2545 : 289-329)

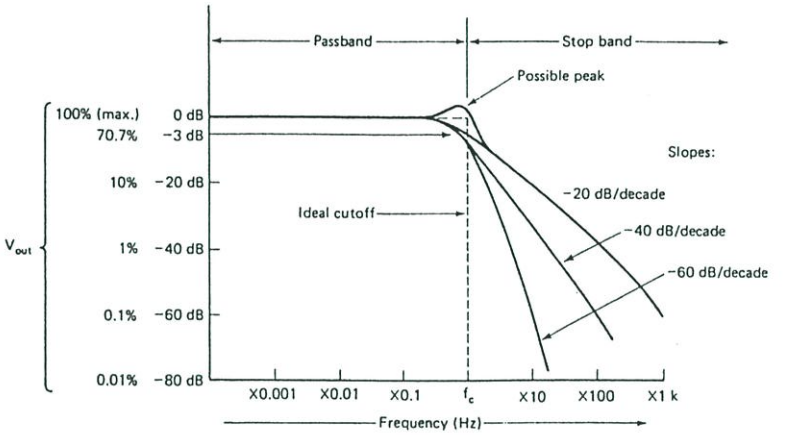
Passive Filter ประกอบด้วยอุปกรณ์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ มีลักษณะการทำงานที่ลดทอนพลังงาน หรือเก็บการสูญเสียพลังงานในวงจรจำนวนมาก

Active Filter ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำกัดสัญญาณรบกวน ขยายสัญญาณความถี่ที่ต้องการมากกว่าสัญญาณอินพุท ให้การตอบสนองย่านความที่คงเส้นคงวา เลือกการออกแบบที่ดีที่ใช้มากในย่านความถี่ต่ำ ใช้หลักการแปลงสัญญาณแอนะล็อก เช่นวงจรกรองความถี่ต่ำ 60 Hz ซึ่งหมายถึงกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำ 0-60 Hz ให้เกิดเอาท์พุทถ้าสูงกว่าสัญญาณความถี่ 60 Hz จะถูกลดทอน เพราะไม่ต้องการสัญญาณความถี่นั้น

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงวงจร Active Filter เนื่องจากมีคุณสมบัติดีกว่า Passive Filter และเป็นที่นิยมใช้งาน (กลุ่ม CNS. 2535 : 42-53)

1. **วงจรกรองความถี่ต่ำ** (Low-Pass Filter)

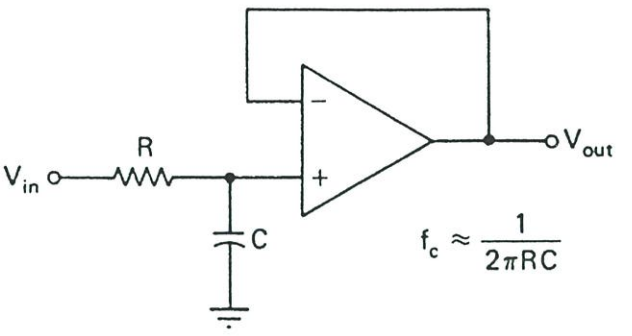
ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราอาจต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้ามาเท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนี้จะถูกกำจัดออกไป และนี้คือประโยชน์ของวงจรกรองความถี่ชนิดนั้นๆ โดยเริ่มศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นชนิดแรก



รูปที่ ข18 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

ในอุดมคติ วงจรกรองความถี่ต่ำจะกันไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟ (f_C) ผ่านเข้ามาในวงจรเลยหากสัญญาณมีความถี่สูงกว่า f_C เพียงเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติลักษณะของความถี่ที่ถูกกันออกไปนั้นจะไม่เป็นเช่นนั้น แต่จะค่อยๆ ถูกลดอัตราขยายลดลงไปเรื่อยๆ จุดที่ความถี่มีค่าเท่ากับ f_C ถูกเรียกได้หลายชื่อ เช่น ความถี่ 0.707 (ขนาดของ V_{out}ลดลงเหลือเพียง 70.7 % เทียบกับ V_{in} สูงสุด) ความถี่ -3 dB (อัตราขยายแรงดันเอาท์พุทลดลง 3 dB) หรือความถี่หักมุม เป็นต้นกล่าวโดยสรุปแล้ว วงจรนี้จะลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า f_C และเรียกช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า f_C ว่า ช่วงที่ผ่านได้ (PASS BAND) และช่วงที่มีความถี่สูงกว่า f_C ว่าช่วงที่ถูกกั้น (STOP BAND)

จากกราฟ แสดงการตอบสนองต่อความถี่ในรูป 2 จะพบว่า เมื่อสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟแล้ว สัญญาณบางเส้นอาจถูกลดทอนด้วยอัตราที่น้อยกว่าสัญญาณเส้นอื่น เช่น สัญญาณที่มีความชัน – 20 dB/decade (อัตราขยายลดลง 20 dB ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) จะมีความชันน้อยกว่าสัญญาณที่มีค่า – 60 dB/decade คุณสมบัตินี้เกิดขึ้นจากออกแบบวงจรกรองความถี่และเป็นที่แน่นอนว่า ยิ่งค่าความชันนี้มีขนาดลบมาเท่าใด วงจรก็จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจรในอุดมคติมากยิ่งขึ้น



รูปที่ ข19 ตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน มีความชันประมาณ -20 dB/decade

รูปที่ ข19 แสดงตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน ซึ่งใช้ออปแอมป์ที่ถูกต่อในลักษณะของวงจรตามแรงดัน และใช้หลักการแบ่งแรงดันธรรมดา ณ ขั้วอินพุทบวก โดยใช้คุณสมบัติที่ว่าความถี่ของสัญญาณอินพุทจะมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุดังสมการ

$$X_C = \frac{1}{w_C} \qquad (w = 2\pi f)$$

โดยที่ f คือ ความถี่ของสัญญาณอินพุท ดังนั้น เมื่อสัญญาณอินพุทมีความถี่ต่ำ X_C จะมีค่าสูง ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดจากอินพุทตกคร่อมตัวเก็บประจุ และเป็นผลให้แรงดันเอาท์พุท V_O จะมีค่าประมาณ V_{in} ด้วย ในขณะที่สัญญาณซึ่งมีค่าความถี่สูงจะทำให้ X_C มีค่าต่ำเป็นผลทำให้ตัวเก็บประจุเสมือนลัดวงจร ดังนั้น V_{out} จึงมีค่าต่ำด้วย สรุปได้ว่า ช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำจะผ่านไปปรากฏที่เอาท์พุทได้ โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่สูงจะถูกกั้นเอาไว้ และเราสามารถหาความถี่ f_C ที่แบ่งช่วงสัญญาณออกเป็นสองส่วนได้ดังสมการ

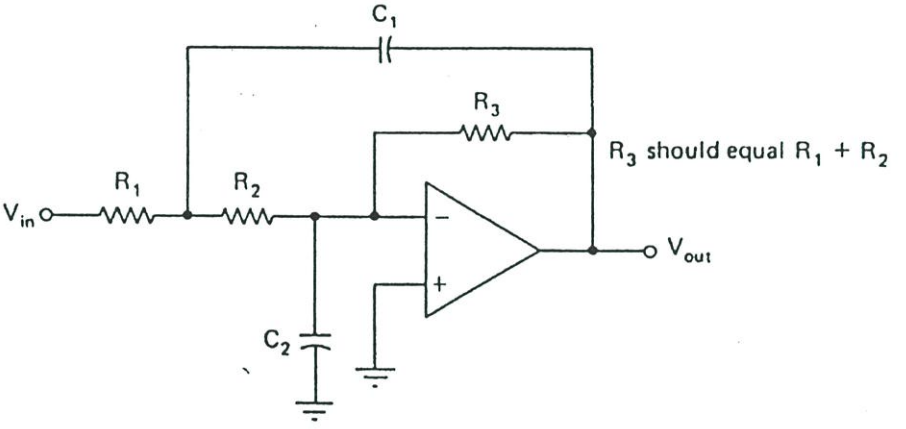
$$f_C \approx \frac{1}{2\pi RC}$$

วงจรกรองความถี่ต่ำในรูปที่ 3 นี้จะมีความชันประมาณ -20 dB/decade และจากการใช้อุปกรณ์เช่นตัวเก็บประจุในวงจรสัญญาณที่วัดได้จากเอาท์พุท จะมีเฟสไม่ตรงกับอินพุทเลยทีเดียวคือ จะมีการเลื่อนเฟสออกไป 45° (ถึงแม้จะป้อนอินพุท ณ ขั้วอินพุทบวกก็ตาม) ซึ่งหากความชันมีค่าเป็นลบสูงเท่าใด เฟสก็จะถูกเลื่อนไปเรื่อยๆ โดยทั่วไปเฟสของสัญญาณเอาท์พุทจะเลื่อนไป

45° สำหรับทุกๆ ความชันที่ลดลง -20 dB/decade ตัวอย่างเช่น สำหรับสัญญาณที่มีความชัน -40 dB/decade เฟสของเอาท์พุทจะถูกเลื่อนออกไป -90° เทียบกับสัญญาณอินพุท

รูปที่ ข20 แสดงวงจรที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน -40 dB/decade โดยมีตัวเก็บประจุทำหน้าที่เช่นเดิม แต่เพิ่มตัวเก็บประจุ C_1 ในการป้อนสัญญาณกลับมาหักล้างกับสัญญาณอินพุทที่มีความถี่สูง (เนื่องจาก X_{C1} จะมีค่าลดลง) และเราสามารถหาความถี่คัทออฟจากสมการได้ดังนี้

$$f_C \approx \frac{0.707}{2\pi RC}$$ พิจารณาที่ความถี่ -3 dB (อัตราขยายแรงดันเอาท์พุทลดลง 3 dB)



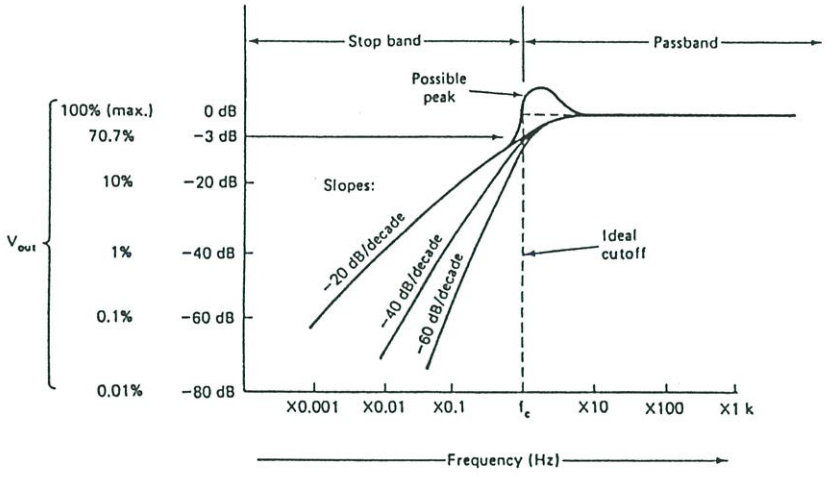
รูปที่ ข20 วงจรกรองความถี่ต่ำที่ถูกปรับปรุงให้มีความชัน -40 dB/decade

สมการนี้จะแม่นยำมากถ้าความต้านทาน R_1 และ R_2 ที่ใช้มีขนาดเท่ากัน และตัวเก็บประจุ C_1 มีคาปาซิแตนซ์สูงกว่า C_2 R_3 ควรมีค่าเท่ากับ $R_1 + R_2$ เพื่อสัญญาณเอาท์พุทจะได้มีลักษณะใกล้เคียงกับอินพุทที่สุด และยังช่วยในการปรับออฟเซ็ทให้เกิดสมดุลอีกด้วย

2. **วงจรกรองความถี่สูง** (HIGH PASS FILTER)

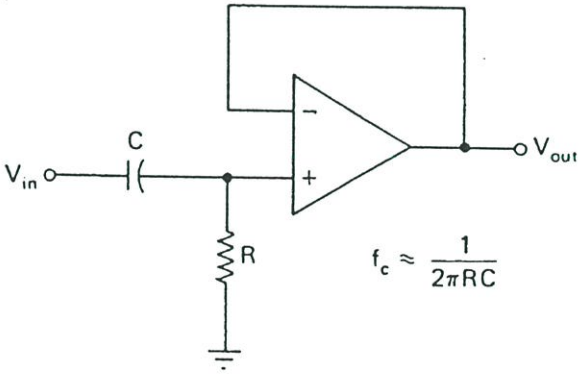
หลังจากที่ได้ศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำแล้ว เราสามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถนำสมการต่างๆ ของวงจรกรองความถี่ต่ำ มาใช้กับวงจรกรองความถี่สูงได้อีกด้วย

จากชื่อของวงจรชนิดนี้ เราสามารถบอกได้ทันทีว่าวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านเข้าไปสู่ภาคเอาท์พุทได้ แต่จะกันไม่ให้สัญญาณความถี่ต่ำเล็ดลอดออกไป แต่จากคุณสมบัติที่มีไม่เหมือนในอุดมคติ วงจรนี้จึงมีลักษณะเช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำ นั่นคือ เกิดความถี่คัทออฟ f_C ขึ้น และอัตราขยายจะค่อยๆ ลดลง คือไม่ตกลงในแนวดิ่งเลยที่เดียวดังรูปที่ ข21

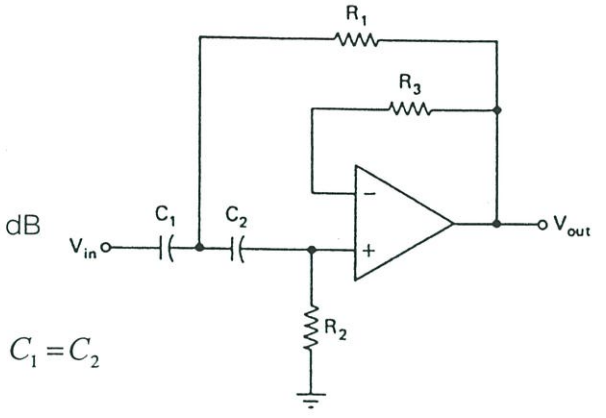


รูปที่ ข21 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง

เราสามารถสร้างวงจรนี้โดยการสลับตำแหน่งของตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุของวงจรกรองความถี่ดังรูปที่ ข22 และสามารถอธิบายจากคุณสมบัติที่ว่า ที่ความสูง อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าต่ำกว่า f_c อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าสูง ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดตกคร่อมตัวเก็บประจุเอง และเป็นผลให้แรงดันคร่อมตัวต้านทานและแรงดันเอาท์พุทมีค่าต่ำมาก โดยที่วงจรในรูปที่ ข22 นี้มีความชันประมาณ -20 dB/decade และมีค่าความถี่คัทออฟซึ่งหาค่าได้จาก สมการเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำ



รูปที่ ข22 วงจรกรองความถี่สูง มีความชันประมาณ -20 dB/decade



$f_C = \frac{1.414}{2\pi RC}$ พิจารณาที่ความถี่ -3

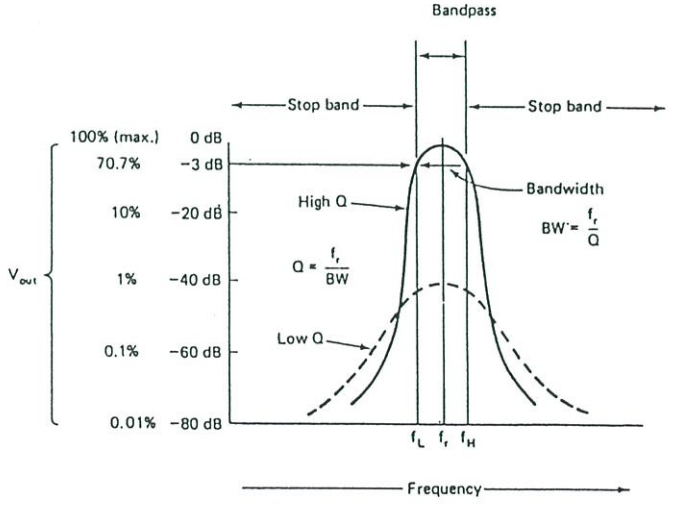
เมื่อ $R_1 = R_2$, $R_3 = R_1 + R_2$ และ

รูปที่ ข23 วงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง -40 dB/decade

รูปที่ ข23 แสดงวงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง -40 dB/decade และเพื่อการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด C_1 ควรมีค่าเท่ากับ C_2 R_3 ควรมีค่าเท่ากับ R_2 โดยมี R_2 เป็นตัวป้อนสัญญาณกลับเพื่อการกรองสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง

3. วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน (BAND PASS FILTER)

วงจรกรองความถี่เป็นช่วงหรือแบนด์พาสฟิลเตอร์ คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณบางความถี่ผ่านได้เท่านั้น รูปที่ ข24 แสดงคุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน



รูปที่ ข24 คุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

จากรูปที่ ข24 จะพบว่าความถี่ที่เอาท์พุทมีขนาดสูงสุด เราเรียกว่า ความถี่รีโซแนนท์ (Resonant Frequency) และความถี่ซึ่งมีแรงดันเอาท์พุทลดลง เหลือ 70.7% ทั้งทางด้านที่มีความถี่สูงขึ้น และที่ความถี่ลดลง เรียกว่า ความถี่ f_H และ f_L ตามลำดับ โดยที่ผลต่างของความถี่ทั้งสองนี้ (f_C- f_L) จะแสดงแบนด์วิดธ์ (BW) ของวงจร ถ้า BW มีความถี่ต่ำกว่า 10% ของความถี่รีโซแนนท์ (f_r) จะเรียกวงจรนี้ว่า วงจรฟิลเตอร์ช่วงแคบ แต่จะเรียกว่าเป็นวงจรฟิลเตอร์ช่วงกว้างหากแบนด์วิดธ์ มีค่าสูงกว่า 10% ของ f_r นอกจากนี้ยังให้นิยามสำหรับค่า Q (quality factor) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่รีโซแนนท์และแบนด์วิดธ์ ดังสมการ

$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

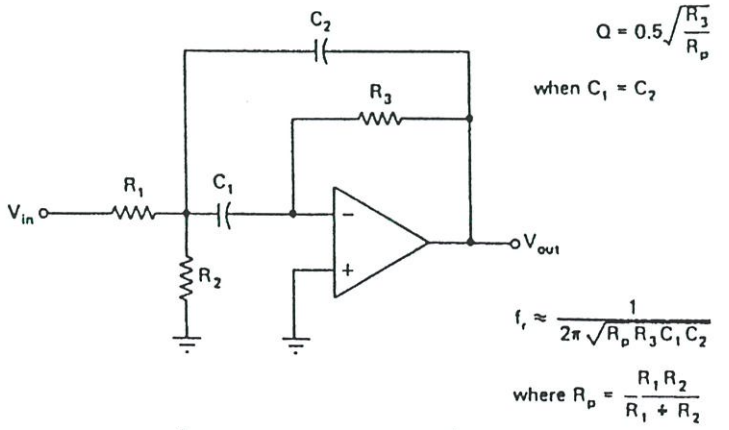
วงจรที่มีค่า Q สูงมากเท่าใด แบนด์วิดธ์ก็จะยิ่งแคบเท่านั้น (เข้าใกล้วงจรในอุดมคติซึ่งต้องการเลือกความถี่ที่ผ่านวงจรกรองได้เพียงค่าเดียว) และเอาท์พุทก็จะมีขนาดสูงขึ้นด้วยเส้นประในรูปที่ ข24 แสดงวงจรกรองแบนด์พาสที่มีค่า Q ค่อนข้างต่ำ

วงจรในรูปที่ ข25 แสดงวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน ซึ่งใช้การรวมความถี่สูงและวงจรความถี่ต่ำเข้าด้วยกัน (โดยที่วงจรใดจะมาก่อนกันก็ได้) R_1 และ C_2 คืออุปกรณ์ในการกรองความถี่ต่ำ ส่วน C_1 และ R_2 ใช้กรองความถี่สูง และสามารถหาความถี่รีโซแนนซ์ f_r จากสมการ

$$f_r \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{R_P R_3 C_1 C_2}}$$

โดยที่ $R_P = R_1 // R_2$

$$R_P \equiv \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



รูปที่ ข25 วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

หาค่า Q จากสมการ

$$Q = 0.5\sqrt{\frac{R_3}{R_P}}$$ เมื่อ $C_1 = C_2$

หาค่า f_H จากสมการ

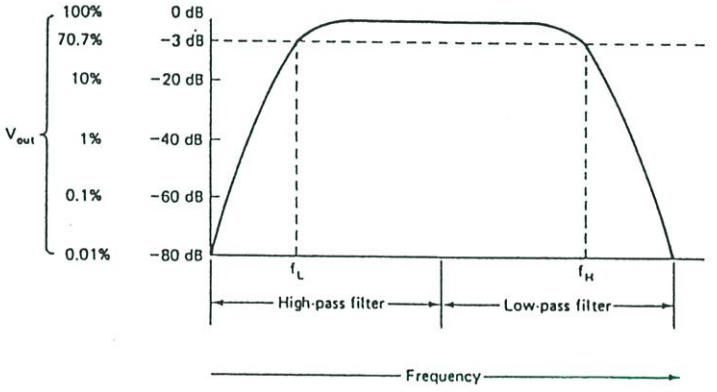
$$f_H = f_r + \frac{BW}{2}$$

และหาค่า f_L จากสมการ

$$f_L = f_r - \frac{BW}{2}$$

จากสมการในการคำนวณหา f_r และ Q จะพบว่าความต้านทาน R_3 จะมีบทบาทสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เมื่อตัวต้านทาน R_3 นี้มีค่าต่ำ f_r จะมีค่าสูง Q จะมีค่าต่ำ เป็นต้น

ดังนั้น จะสรุปได้ว่า ตัวต้านทาน R_3 จะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเลือกความถี่ของสัญญาณที่ต้องการให้ผ่านเข้ามา และความกว้างของช่วงความถี่นั้นๆ



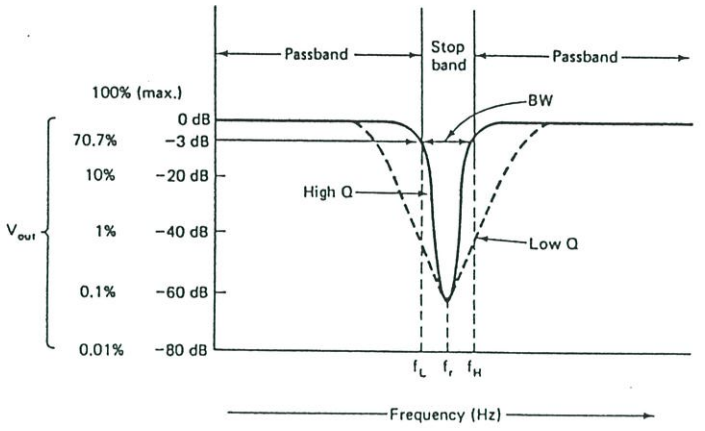
รูปที่ ข26 กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

ในกรณีที่ต้องการวงจรกรองความถี่เป็นช่วงๆ ซึ่งมีช่วงกว้างมากๆ เราสามารถนำวงจรกรองความถี่ต่ำ และวงจรกรองความถี่สูงมาต่อรวมกันได้เลย โดยใช้ f_C ของวงจรกรองความถี่ต่ำเป็น f_H และใช้ f_C ของวงจรกรองความถี่สูงเป็น f_L ซึ่งจะได้กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ดังรูปที่ ข26

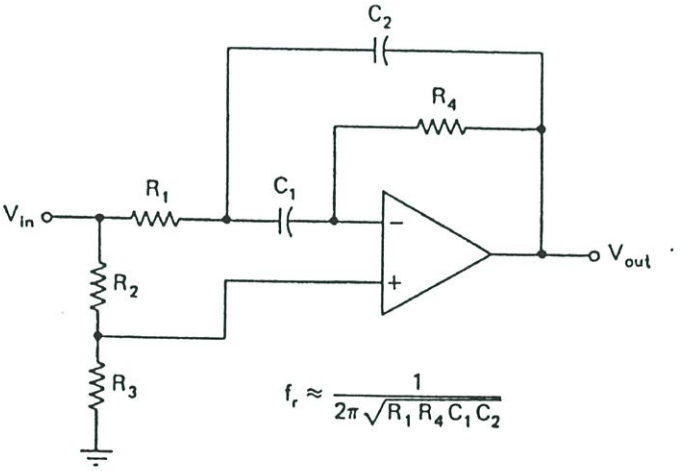
4. วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (Band Stop Filter)

วงจรนี้จะทำงานตรงข้ามกับวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน หรือ เรียกว่า วงจรนอท์ชฟิลเตอร์ (NOTCH FILTER) โดยที่วงจรนี้จะยอมให้ความถี่ทุกๆ ค่าผ่าน ยกเว้นความถี่ช่วงหนึ่งซึ่ง

ได้กำหนดไว้ โดยทั่วไปวงจรชนิดนี้มักถูกใช้เพื่อกันสัญญาณรบกวนที่เราทราบค่าความถี่แล้ว รูปที่ ข27 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด



รูปที่ ข27 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด



รูปที่ ข28 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน

รูปที่ ข28 แสดงวงจรวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดพื้นฐาน โดยสามารถคำนวณ f_r จากสมการ

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_4 C_1 C_2}}$$

และคำนวณค่า Q ของวงจรเมื่อ $C_1 = C_2$ จากสมการ

$$Q = 0.5\sqrt{\frac{R_4}{R_1}}$$

นอกจากนี้ยังสามารถนำค่า Q นี้มาคำนวณหาความชันได้อีกด้วย โดยที่

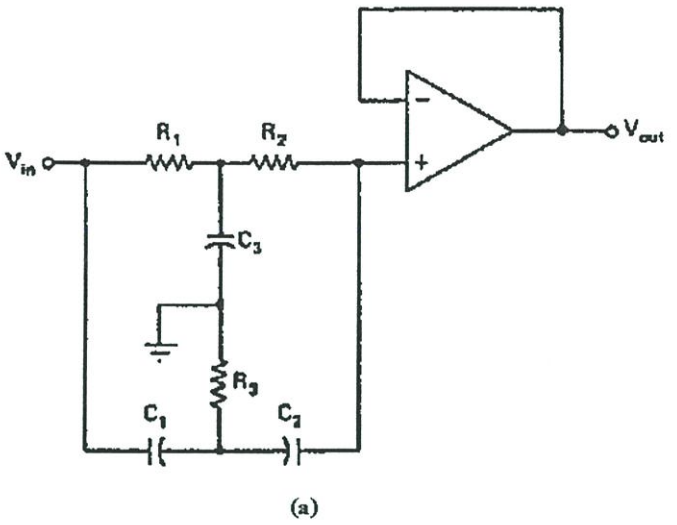
$$\text{(ความชัน) N} = \frac{\frac{1}{Q} - \frac{1-R_P}{R_P}(2Q)}{\frac{1}{Q}} \qquad R_P = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

ซึ่งโดยปกติแล้ว R_3 ที่ใช้งานจะมีค่าสูงกว่า R_2 ประมาณ 50 เท่า

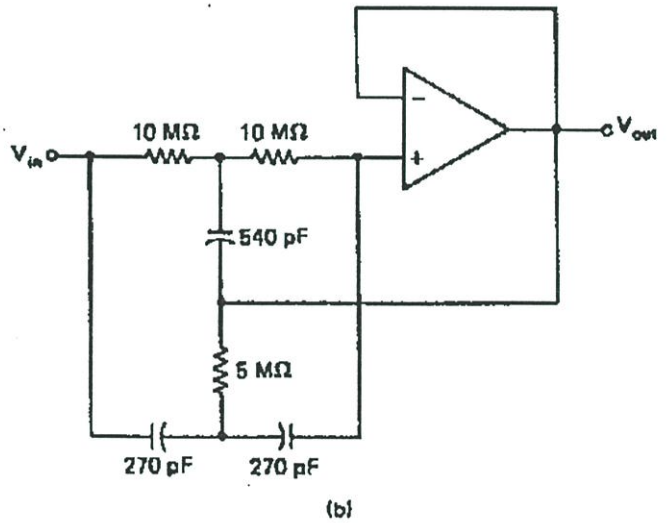
การทำงานของวงจรในรูปที่ ข28 สามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงดันอินพุท V_{in} จะถูกแบ่งตามอัตราส่วนระหว่าง R_2 และ R_3 ซึ่งแรงดันนี้จะถูกป้อนให้แก่ขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์ ที่ความถี่ต่ำกว่า f_r ค่าอิมพีแดนซ์ X_C ของตัวเก็บประจุจะสูงมาก ดังนั้นจึงไม่มีการป้อนสัญญาณกลับ เป็นผลให้ V_{out} มีค่าประมาณ $(\frac{R_3}{R_2 + R_3})V_{in}$ ซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับ V_{in} มาก (เมื่อใช้ $R_3 = 50\ R_{in}$) แต่เมื่อความถี่ของอินพุทเข้าใกล้ f_r รีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุจะทำงานร่วมกับตัวต้านทานในการป้อนสัญญาณเอาท์พุทกลับสู่อินพุท เป็นผลทำให้แรงดันเอาท์พุทลดลง และเกิดการเลื่อนเฟสด้วย เมื่อความถี่ของอินพุทมีค่าสูงกว่า f_r อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะลดลง และเป็นผลให้ขั้วเอาท์พุทเสมือนถูกลัดวงจรกับขั้วอินพุทลบ นั่นคือ อัตราขยายมีค่าเป็น 1 กลายเป็นวงจรตามแรงดัน (ในการพิจารณาวงจรนี้ เมื่อกล่าวถึงกรณีที่อิมพีแดนซ์ของ C มีค่าสูงๆ ให้คิดว่า C ถูกเปิดวงจร และเมื่ออิมพีแดนซ์ของ C มีค่าลดลงให้คิดเสมือน (C ถูกลัดวงจร)

รูปที่ ข29 แสดงวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด 'T' – คู่ ซึ่ง 'T' – คู่ นี้หมายถึง การนำอุปกรณ์พาสซีฟมาต่อในลักษณะของตัวอักษร T 2 ตัวกลับหัวกัน โดยมีออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์วงจรนี้มักให้ Q ค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 1) ส่วนวงจรในรูป 13 b) แสดงการนำวงจร 13 a) มาดัดแปลงเล็กน้อย โดยนำจุดต่อระหว่าง R_3 และ C_3 ไปป้อนที่เอาท์พุทของออปแอมป์ เป็นผลให้ค่า Q มีค่าสูงถึง 50 ซึ่งทำให้เกิดความชันมีค่าสูงมาก (ดังนั้น เอาท์พุทที่ได้จึงมีลักษณะแหลมมาก) โดยสมการในการคำนวณ f_r ยังคงเหมือนกับในรูป 13 a)

$$f_r \approx \frac{1}{2\pi R_1 C_2} \quad \text{เมื่อ } R_1 = R_2 = \frac{R_3}{2} \text{ และ } C_1 = C_2 = \frac{C_3}{2}$$



(a)



(b)

รูปที่ ข29 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดชนิด 'T' – คู่

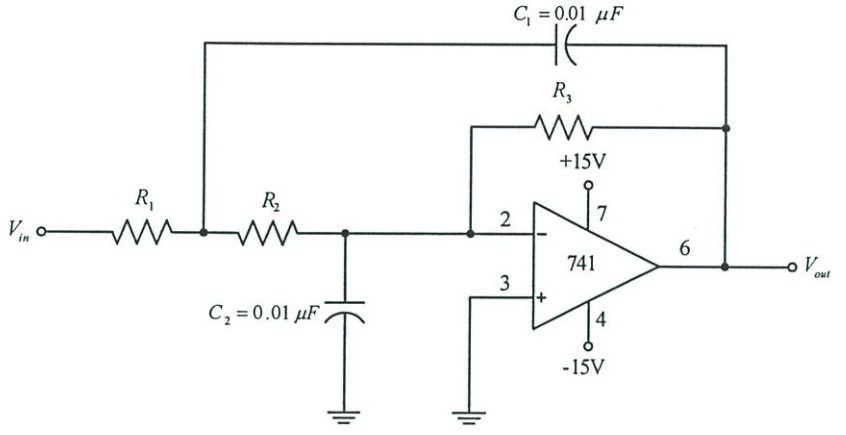
เครื่องมืออุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่	1	ชุด
2. ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM 741	1	ตัว
3. ออสซิลโลสโคป	1	เครื่อง
4. ใบปฏิบัติงานขั้นสุดท้าย		

ลำดับขั้นปฏิบัติ

หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

1. จงออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ ที่ f_C = 600 Hz



รูปที่ 1

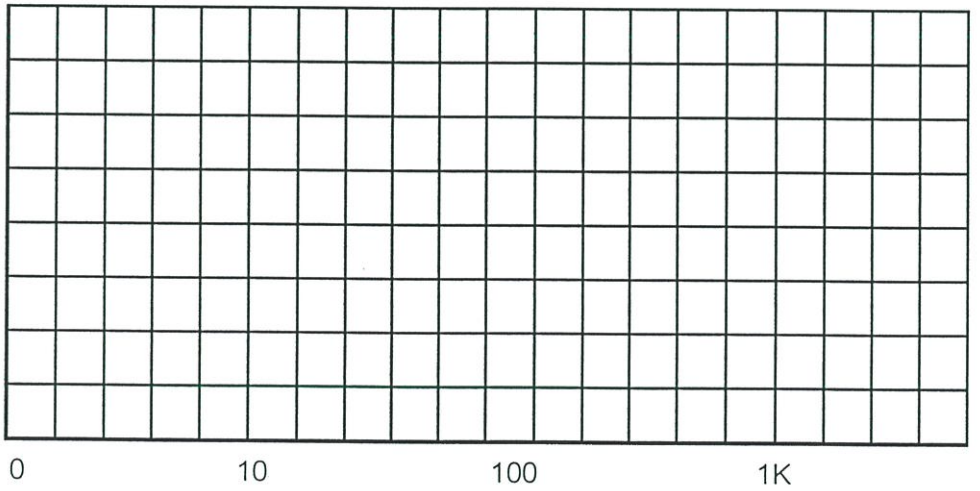
2. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 1

3. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 2



ตารางที่ 2

4. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่อย่างไร

.....

.....

.....

5. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ต่ำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

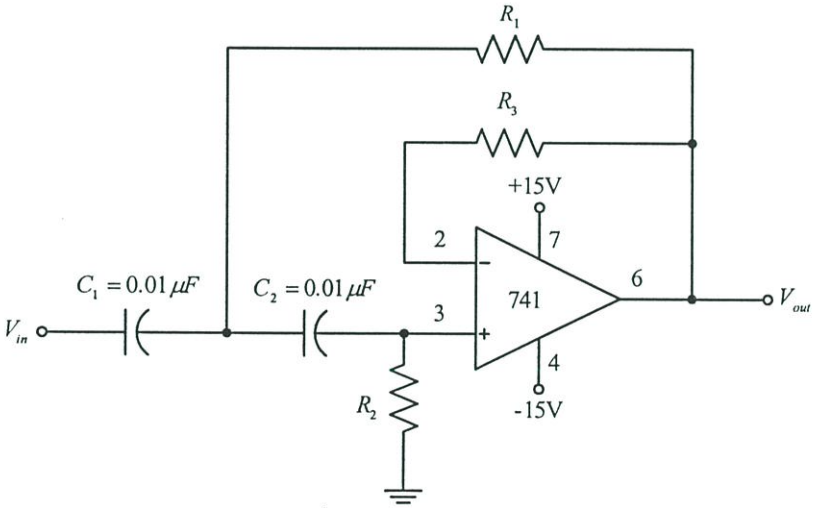
.....

.....

.....

<u>หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)</u>

6. จงออกแบบวงจรกรองความถี่สูง ที่ f_C = 600 Hz



รูปที่ 2

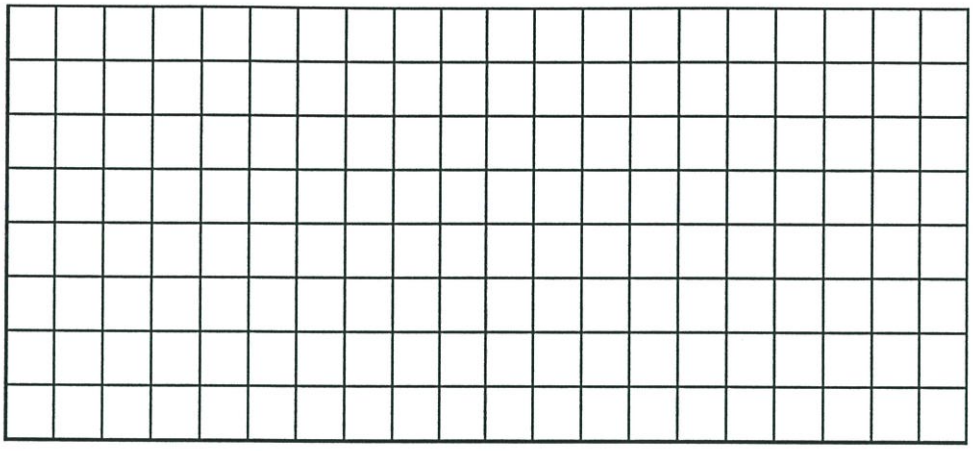
7. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 3

8. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 7



ตารางที่ 4

9. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่สูงไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

.....

.....

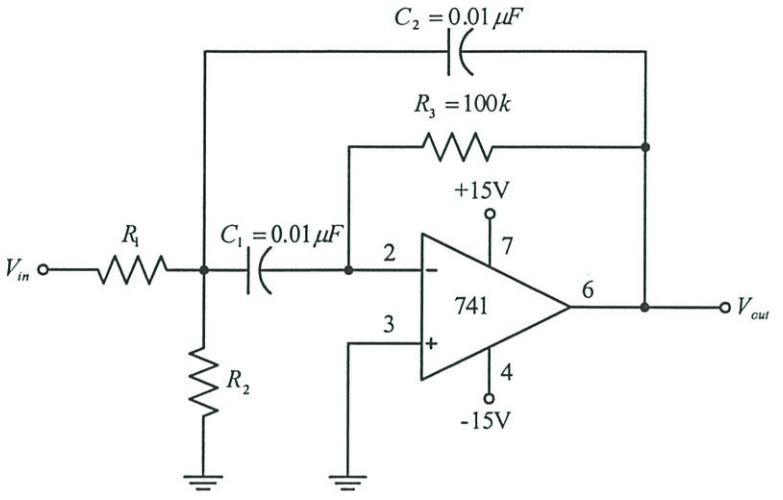
.....

.....

.....

<u>หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน (Band Pass Filter)</u>

11. จงออกแบบวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน ที่ f_r = 600 Hz



รูปที่ 3

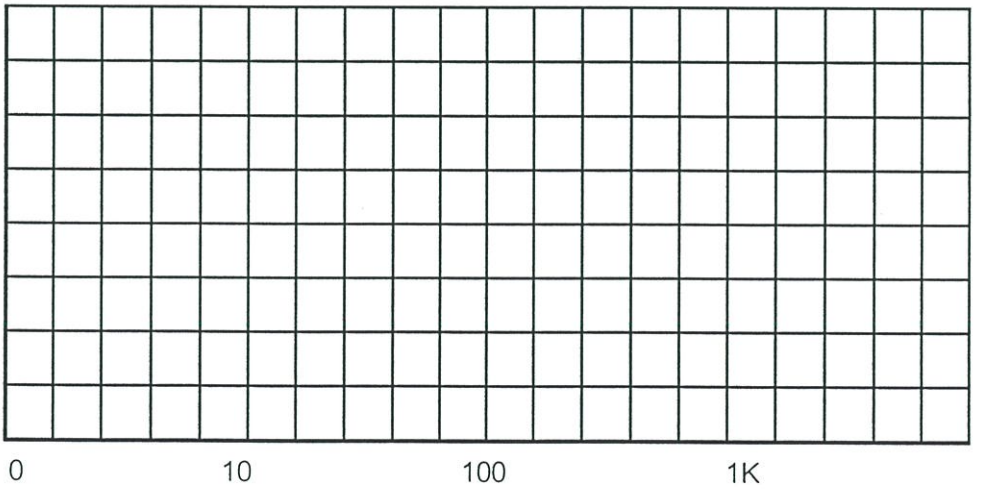
12. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p\text{-}p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 5

13. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 12



ตารางที่ 6

14. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

15. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

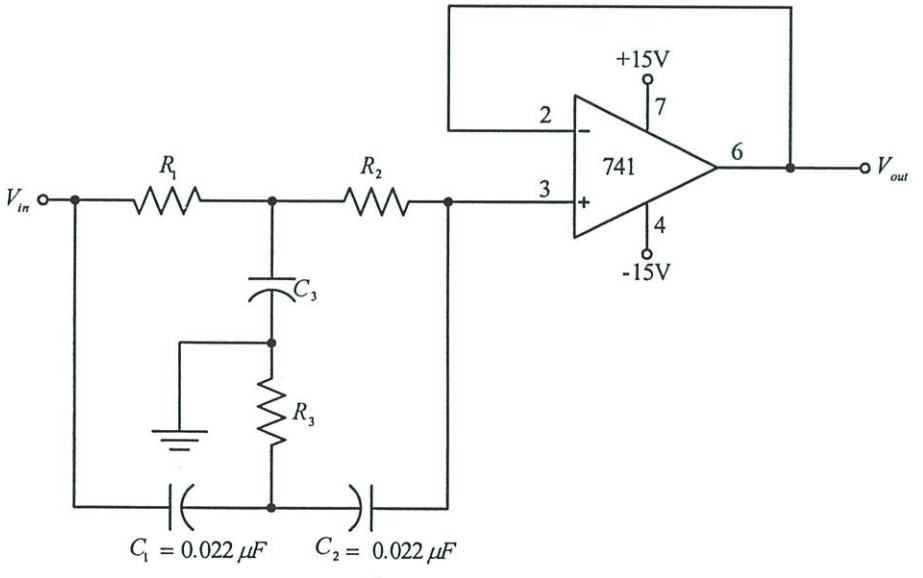
.....

.....

.....

<u>หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (Band Stop Filter)</u>

16. จงออกแบบวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด ที่ f_r = 600 Hz



รูปที่ 4

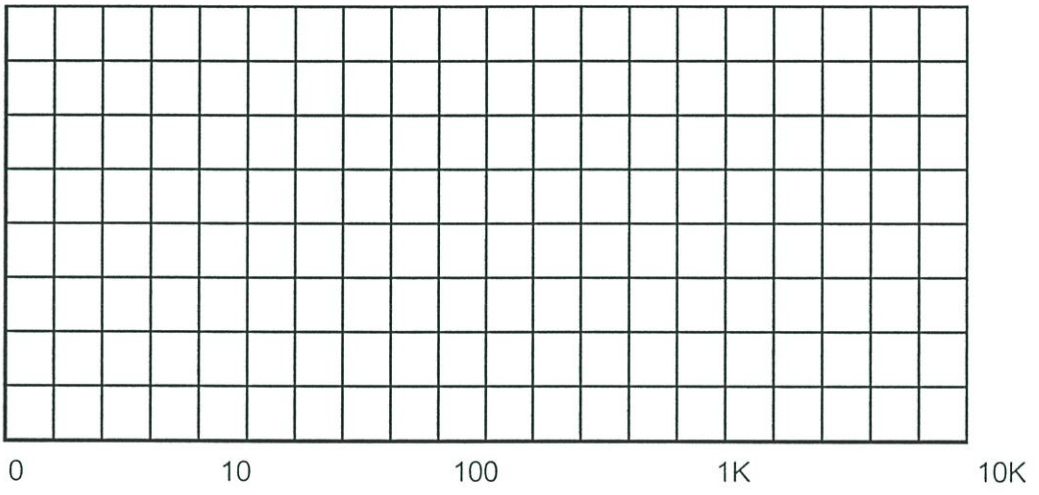
17. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout														V

ตารางที่ 7

18. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 17



ตารางที่ 8

19. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

20. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงหยุดไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

21. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ใบปฏิบัติงานที่ 1 วงจรกรองความถี่ต่ำ

ชื่อผู้ถูกประเมิน .....

รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการ ทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำและความถูกต้อง (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำและ ความถูกต้อง	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(2) การประกอบวงจรกรองความถี่ต่ำตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน (10 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(3) การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่ต่ำตามกำหนด (10 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องในการต่อวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(4) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่ต่ำ (10 คะแนน)					
4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(5) เวลาในการปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่ต่ำ (10 คะแนน)					
5.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					10
5.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				8	
5.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			6		
5.4 เสร็จช้าไม่กิน 30 นาที		4			
5.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	2				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **ปี** .....

( )

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

1. 1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำ และความถูกต้อง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1. **การใช้ออสซิลโลสโคป** 1.1 มีการปรับแต่งก่อนการใช้งาน 1.2 มีการเลือกใช้สายโพรบได้อย่างเหมาะสม 1.3 มีการกำหนดลักษณะอินพุท 1.4 มีการตั้งย่านวัดของ TIME/DIV และ VOLT/DIV ได้อย่างเหมาะสม		
2. **การใช้วงจรจ่ายไฟ** 2.1 มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2.2 มีการตรวจสอบวงจรก่อนจ่ายไฟ		
3. **การใช้วงจรกำเนิดสัญญาณ** 3.1 มีการเลือกรูปแบบสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.2 มีการกำหนดขนาดของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.3 มีการกำหนดความถี่ของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน		
4. **ความปลอดภัยการใช้เครื่องมือ** 4.1 มีความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือ		
รวมคะแนน		

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

2. การประกอบวงจรกรองความถี่ต่ำตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน (10 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.1.2 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน
3. การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่ต่ำ ตามกำหนด (10 คะแนน)

3.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.1.1 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.1.2 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.1.3 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.1.4 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.1.5 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ มากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

4. ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่ต่ำ (10 คะแนน)

4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.1.1. การสรุปผลการทดลอง	
4.1.1.1 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.1.2 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.1.3 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
4.1.2. การนำไปใช้งาน	
4.1.2.1 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.2.2 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.2.3 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
รวมคะแนน	

แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ใบปฏิบัติงานที่ 2 วงจรกรองความถี่สูง

ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว**.....

หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงและความถูกต้อง (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงและ ความถูกต้อง	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(2) การประกอบวงจรกรองความถี่สูงตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน (10 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(3) การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่สูงตามกำหนด (10 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องในการต่อวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(4) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่สูง (10 คะแนน)					
4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(5) เวลาในการปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่สูง (10 คะแนน)					
5.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					10
5.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				8	
5.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			6		
5.4 เสร็จช้าไม่กิน 30 นาที		4			
5.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	2				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **ปี** .....

( )

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

1. 1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่สูง และความถูกต้อง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1. การใช้ออสซิลโลสโคป 1.1 มีการปรับแต่งก่อนการใช้งาน 1.2 มีการเลือกใช้สายโพรบได้อย่างเหมาะสม 1.3 มีการกำหนดลักษณะอินพุท 1.4 มีการตั้งย่านวัดของ TIME/DIV และ VOLT/DIV ได้อย่างเหมาะสม		
2. การใช้วงจรจ่ายไฟ 2.1 มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2.2 มีการตรวจสอบวงจรก่อนจ่ายไฟ		
3. การใช้วงจรกำเนิดสัญญาณ 3.1 มีการเลือกรูปแบบสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.2 มีการกำหนดขนาดของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.3 มีการกำหนดความถี่ของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน		
4. ความปลอดภัยการใช้เครื่องมือ 4.1 มีความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือ		
รวมคะแนน		

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

2. การประกอบวงจรกรองความถี่สูงตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน (10 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.1.2 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

3. การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่สูงตามกำหนด (10 คะแนน)

3.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.1.1 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.1.2 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.1.3 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.1.4 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.1.5 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน
4. ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่สูง (10 คะแนน)

4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.1.1. การสรุปผลการทดลอง	
4.1.1.1 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.1.2 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.1.3 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
4.1.2. การนำไปใช้งาน	
4.1.2.1 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.2.2 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.2.3 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
รวมคะแนน	

แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ใบปฏิบัติงานที่ 3 วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน

ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน และ ความถูกต้อง (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่านและความถูกต้อง	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(2) การประกอบวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่านตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน (10 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(3) การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่แบบช่วงผ่านตามกำหนด (10 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องในการต่อวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(4) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน (10 คะแนน)					
4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(5) เวลาในการปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน (10 คะแนน)					
5.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					10
5.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				8	
5.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			6		
5.4 เสร็จช้าไม่กิน 30 นาที		4			
5.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	2				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน ..... วันที่ ..... เดือน ..... ปี .....

( )

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

1. 1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่านและความถูกต้อง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1. การใช้ออสซิลโลสโคป 1.1 มีการปรับแต่งก่อนการใช้งาน 1.2 มีการเลือกใช้สายโพรบได้อย่างเหมาะสม 1.3 มีการกำหนดลักษณะอินพุท 1.4 มีการตั้งย่านวัดของ TIME/DIV และ VOLT/DIV ได้อย่างเหมาะสม		
2. การใช้วงจรจ่ายไฟ 2.1 มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2.2 มีการตรวจสอบวงจรก่อนจ่ายไฟ		
3. การใช้วงจรกำเนิดสัญญาณ 3.1 มีการเลือกรูปแบบสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.2 มีการกำหนดขนาดของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.3 มีการกำหนดความถี่ของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน		
4. ความปลอดภัยการใช้เครื่องมือ 4.1 มีความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือ		
รวมคะแนน		

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน
2. การประกอบวงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่านตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน
(10 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.1.2 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

3. การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่แบบช่วงผ่านตามกำหนด (10 คะแนน)

3.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.1.1 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.1.2 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.1.3 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.1.4 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.1.5 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

4. ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน (10คะแนน)

4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.1.1. การสรุปผลการทดลอง	
4.1.1.1 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.1.2 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.1.3 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
4.1.2. การนำไปใช้งาน	
4.1.2.1 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.2.2 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.2.3 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
รวมคะแนน	

แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ใบปฏิบัติงานที่ 4 วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด
ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด และ ความถูกต้อง (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดและความถูกต้อง	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(2) การประกอบวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน (10 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(3) การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่แบบช่วงหยุดตามกำหนด (10 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องในการต่อวงจรตามกำหนด	1	2	3	4	5
3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	1	2	3	4	5
(4) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (10 คะแนน)					
4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(5) เวลาในการปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (10 คะแนน)					
5.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					10
5.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				8	
5.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			6		
5.4 เสร็จช้าไม่กิน 30 นาที		4			
5.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	2				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **ปี** .....

( )

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

1. 1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดและความถูกต้อง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1. การใช้ออสซิลโลสโคป 1.1 มีการปรับแต่งก่อนการใช้งาน 1.2 มีการเลือกใช้สายโพรบได้อย่างเหมาะสม 1.3 มีการกำหนดลักษณะอินพุท 1.4 มีการตั้งย่านวัดของ TIME/DIV และ VOLT/DIV ได้อย่างเหมาะสม		
2. การใช้วงจรจ่ายไฟ 2.1 มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2.2 มีการตรวจสอบวงจรก่อนจ่ายไฟ		
3. การใช้วงจรกำเนิดสัญญาณ 3.1 มีการเลือกรูปแบบสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.2 มีการกำหนดขนาดของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.3 มีการกำหนดความถี่ของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน		
4. ความปลอดภัยการใช้เครื่องมือ 4.1 มีความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือ		
รวมคะแนน		

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

2. การประกอบวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดตามกำหนดและวิเคราะห์การทำงาน

(10 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.1.2 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
2.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

3. การเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจร กรองความถี่แบบช่วงหยุดตามกำหนด (10 คะแนน)

3.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.1.1 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.1.2 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.1.3 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.1.4 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.1.5 มีการประกอบวงจรโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ มากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

3.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.2.1 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยไม่ต้องแนะนำ	5
3.2.2 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
3.2.3 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
3.2.4 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
3.2.5 มีการเขียนกราฟแรงดันเอาท์พุทเทียบกับความถี่จากผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

4. ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด (10 คะแนน)

4.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.1.1. การสรุปผลการทดลอง	
4.1.1.1 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.1.2 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.1.3 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
4.1.2. การนำไปใช้งาน	
4.1.2.1 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
4.1.2.2 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
4.1.2.3 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
4.1.2.4 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
4.1.2.5 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
รวมคะแนน	

แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ใบปฏิบัติงานขั้นสุดท้าย

ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว**.....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด และ ความถูกต้อง (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุดและความถูกต้อง	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
(2) การออกแบบวงจรกรองความถี่และการต่อวงจรตามที่ออกแบบ (20 คะแนน)					
2.1 ออกแบบวงจรกรองความถี่ได้	2	4	6	8	10
2.2 การต่อวงจรตามที่ออกแบบไว้	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่ (10 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	2	4	6	8	10
(4) เวลาในการปฏิบัติงานวงจรกรองความถี่ (10 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					10
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				8	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			6		
4.4 เสร็จช้าไม่กิน 30 นาที		4			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	2				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **ปี** .....

( )

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

1. 1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบการทำงานของวงจรกรองความถี่และความถูกต้อง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1. การใช้ออสซิลโลสโคป 1.1 มีการปรับแต่งก่อนการใช้งาน 1.2 มีการเลือกใช้สายโพรบได้อย่างเหมาะสม 1.3 มีการกำหนดลักษณะอินพุท 1.4 มีการตั้งย่านวัดของ TIME/DIV และ VOLT/DIV ได้อย่างเหมาะสม		
2. การใช้วงจรจ่ายไฟ 2.1 มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2.2 มีการตรวจสอบวงจรก่อนจ่ายไฟ		
3. การใช้วงจรกำเนิดสัญญาณ 3.1 มีการเลือกรูปแบบสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.2 มีการกำหนดขนาดของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน 3.3 มีการกำหนดความถี่ของสัญญาณให้ตรงกับการใช้งาน		
4. ความปลอดภัยการใช้เครื่องมือ 4.1 มีความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือ		
รวมคะแนน		

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

2. การออกแบบวงจรกรองความถี่และการต่อวงจรตามที่ออกแบบ (20 คะแนน)

2.1 การออกแบบวงจรกรองความถี่ได้

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 มีการออกแบบวงจรได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	10
2.1.2 มีการออกแบบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	8
2.1.3 มีการออกแบบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	6
2.1.4 มีการออกแบบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	4
2.1.5 มีการออกแบบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2
รวมคะแนน	

2.2 การต่อวงจรตามที่ออกแบบไว้

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยไม่ต้องแนะนำ	10
2.1.2 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 จุด	8
2.1.3 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 จุด	6
2.1.4 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 3 จุด	4
2.1.5 มีการประกอบวงจรได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2
รวมคะแนน	

แบบแสดงรายละเอียดการประเมิน

3. ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่ (10 คะแนน)

3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.1.1. การสรุปผลการทดลอง	
3.1.1.1 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
3.1.1.2 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
3.1.1.3 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
3.1.2.4 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
3.1.2.5 มีการสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
3.1.2. การนำไปใช้งาน	
3.1.2.1 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยละเอียด	5
3.1.2.2 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องพอเข้าใจ	4
3.1.2.3 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 1 ครั้ง	3
3.1.2.4 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำ 2 ครั้ง	2
3.1.2.5 มีการบอกการนำไปใช้งานได้ถูกต้องโดยได้รับการแนะนำมากกว่า 2 ครั้ง	1
รวมคะแนน	

ภาคผนวก ค

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเนื้อหาและใบงาน

คำชี้แจง

ใบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็น เกี่ยวกับเนื้อหาและใบงานที่สร้างขึ้น

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อยที่สุด

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ลงนามชื่อ .....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเนื้อหาและใบงานที่สร้างขึ้น

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
	<u>เนื้อหาวิชา</u>					
1	ใบงานครอบคลุมวัตถุประสงค์.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	ความถูกต้องของเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	การเรียงลำดับเนื้อหาวิชาก่อนหลัง.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความยากง่ายของเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	ความเหมาะสมของลำดับขั้นความรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	เหมาะสมกับผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
	<u>ใบงาน</u>					
7	ความเหมาะสมกับลำดับขั้นความรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้น	.....	.....	.....	.....	.....
9	คำอธิบายลำดับขั้นการปฏิบัติเข้าใจง่าย.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	รูปวงจร ตารางกราฟ ถูกต้อง.....	.....	.....	.....	.....	.....
11	เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
12	ความสะดวกในการบันทึกค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับเนื้อหาวิชา

.....

.....

.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับใบงาน

.....

.....

.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะโดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดฝึก

<u>คำชี้แจง</u>

ใบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

<u>ตอนที่ 1</u> ถามความคิดเห็น เกี่ยวกับชุดฝึก

<u>ตอนที่ 2</u> ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

<u>การประเมิน</u>

<u>ตอนที่ 1</u> กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อยที่สุด

<u>ตอนที่ 2</u> โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ลงนามชื่อ .....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดฝึก

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
	<u>ชุดฝึก</u>					
1	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	มีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	อุปกรณ์การสอนทำให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	อุปกรณ์การสอนให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้อุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	มีความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน...	.....	.....	.....	.....	.....
8	มีความสะดวกในการดำเนินการสอน.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	ความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
11	รูปร่าง ขนาดมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
12	มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน.....	.....	.....	.....	.....	.....
13	ความสะดวกในการบำรุงรักษา.....	.....	.....	.....	.....	.....
14	มีความคงทนแข็งแรง.....	.....	.....	.....	.....	.....
15	ต้นทุนการผลิตคุ้มกับประโยชน์ที่ได้รับ.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับเนื้อหาวิชา

.....

.....

.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับชุดฝึก

.....

.....

.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะโดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

คำชี้แจง

ใบประเมินชุดนี้ แบ่งออกเป็น 1 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็น เกี่ยวกับหัวข้อให้คะแนนและระดับคะแนนในแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต

การประเมิน

ตอนที่ 1 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ลงนามชื่อ .....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต

คำชี้แจง :- โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

1. ความคิดเห็นเกี่ยวกับหัวข้อให้คะแนนในแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการสังเกต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นเกี่ยวกับ ระดับคะแนนในแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง

ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

ตารางที่ ง1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านชุดฝึกเพื่อหาคุณภาพ

หัวข้อที่	ระดับคะแนนผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวมคะแนน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
	1	2	3				
1	4	5	5	14	4.67	0.57	ดีมาก
2	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
3	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
4	4	5	4	13	4.33	0.57	ดีมาก
5	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
6	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
7	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
8	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
9	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
10	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
11	4	5	4	13	4.33	0.57	ดี
12	5	4	5	14	4.67	0.57	ดีมาก
13	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
14	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
15	4	5	5	14	4.67	0.57	ดีมาก
รวม					4.84	0.19	ดีมาก

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\bar{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2}{N(N-1)}}$$

ตารางที่ ง2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านเนื้อหาและใบงาน เพื่อหาคุณภาพ

หัวข้อที่	ระดับคะแนนผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวมคะแนน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
	1	2	3				
1	5	5	5	15	5.00	0.00	ดีมาก
2	5	5	5	15	5.00	0.00	ดีมาก
3	5	5	5	15	5.00	0.00	ดีมาก
4	5	4	4	13	4.33	0.57	ดี
5	4	5	5	14	4.66	0.57	ดีมาก
6	4	5	5	14	4.66	0.57	ดีมาก
7	5	5	5	15	5.00	0.00	ดีมาก
8	5	5	5	15	5.00	0.00	ดีมาก
9	4	5	5	14	4.66	0.57	ดีมาก
10	4	5	5	14	4.66	0.57	ดีมาก
11	5	5	5	15	5.00	0.00	ดีมาก
12	4	5	5	14	4.66	0.57	ดีมาก
รวม					4.80	0.28	ดีมาก

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\bar{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2}{N(N-1)}}$$

ตารางที่ ง3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต เพื่อหาคุณภาพ

หัวข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่		
	1	2	3
1	หัวข้อประเมินมีความครบถ้วน ความตรงและเชื่อถือได้	หัวข้อในแบบประเมิน มีความชัดเจนและเหมาะสมที่จะใช้วัดความสามารถในการปฏิบัติงาน ของผู้เรียนและมีความเชื่อถือได้	หัวข้อในแบบประเมินมีความชัดเจน และเหมาะสม ที่จะใช้วัความสามารถในการปฏิบัติงานของผู้เรียนและมีความเชื่อถือได้
2	ระดับคะแนนในแบบประเมินมีความตรงและเชื่อถือได้เป็นมาตรฐาน	ระดับคะแนน มีความเหมาะสม และเป็นมาตรฐาน มีความตรงและเชื่อถือได้	ระดับ คะแนน มีความเหมาะสม และมีความเป็นมาตรฐาน มีความตรงและเชื่อถือได้

ตารางที่ ง4 รายละเอียดคะแนนของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน ใช้กับนักศึกษา 20 คน

คนที่	ใบปฏิบัติงานหัวข้อเรื่อง (คะแนน)				รวม
	LPF (50)	HPF (50)	BPF (50)	BSF (50)	(200 คะแนน)
1	43	44	41	42	170
2	42	44	40	43	168
3	44	44	40	43	171
4	42	43	39	41	165
5	41	42	41	40	164
6	43	44	42	41	170
7	44	44	42	42	172
8	42	43	41	41	167
9	44	42	43	43	172
10	41	41	39	41	162
11	45	45	43	43	176
12	43	42	41	42	168
13	46	45	43	42	176
14	42	43	42	41	168
15	44	43	42	42	171
16	44	44	42	42	172
17	45	44	42	42	173
18	41	41	40	42	164
19	44	43	41	41	169
20	45	45	43	43	176

ตารางที่ ง5 คะแนนของแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน และคะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย ของนักศึกษา ใช้กับนักศึกษา 20 คน

คนที่	คะแนนแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลอง แต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงานของนักศึกษา (เต็ม 200 คะแนน)	คะแนนแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย ของนักศึกษา (เต็ม 50 คะแนน)
1	170	41
2	168	43
3	171	42
4	165	41
5	164	41
6	170	42
7	172	43
8	167	41
9	172	44
10	162	41
11	176	46
12	168	41
13	176	45
14	168	44
15	171	41
16	172	44
17	173	46
18	164	41
19	169	44
20	176	45
รวม	$\sum X = 3394$	$\sum y = 856$

ประสิทธิภาพที่ได้จากคะแนนจากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงานของนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ

$$E_1 = \frac{\left(\frac{3394}{20}\right)}{200} \times 100$$

$$= 84.85\ \%$$

ประสิทธิภาพที่ได้จากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกต การปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้าย ของนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ

$$E_2 = \frac{\left(\frac{856}{20}\right)}{50} \times 100$$

$$= 85.60\ \%$$

ภาคผนวก จ
คู่มือนักศึกษาและคู่มือครู

คู่มือนักศึกษา

การใช้งานชุดฝึก

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

   เลือกย่านวัดตามการใช้งาน

2. DC VOLT METER

   เลือกใช้งานตามแรงดันไฟดีซี ที่ต้องการ ปรับได้ตั้งแต่แรงดันไฟดีซี 0 – 30 V

   สามารถเลือกใช้ได้ทั้งคอนเนคเตอร์ เล็กหรือใหญ่

3. FIXED SUPPLY

   เป็นแหล่งจ่ายไฟดีซีแบบคงที่ ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟ

   +15V - 0V - -15V , +12V - 0V - -12V , +9V - 0V - -9V

   เลือกใช้งานตามแหล่งจ่ายไฟดีซี ที่ต้องการและสามารถเลือกใช้ได้ทั้งคอนเนคเตอร์เล็กหรือใหญ่

4. FUNCTION GENERATER

   เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ เลือกความถี่ใช้งานตามต้องการ

   มีรูปคลื่น ไซน์ สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม

   มีย่านความถี่ ×10 , ×100 , ×1K , ×10K ปรับความถี่ได้ ตั้งแต่ 1Hz – 100KHz

   สามารถเลือกใช้ได้ทั้งคอนเนคเตอร์ เล็กหรือใหญ่

5. BASE BOARD

   เป็นแผงเสียบต่อวงจร

6 SWITCH BOARD

   เป็นสวิทช์กดติด - กดดับ

   สามารถเลือกใช้ได้ทั้งคอนเนคเตอร์ เล็กหรือใหญ่

7. VARIABLE RESISTOR

   เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 – 100 KΩ

8. การใช้งาน DIFF RESITOR ของชุดฝึก

ตำแหน่ง SW_1 คือ R = 10 KΩ

ตำแหน่ง SW_2 คือ R = 18 KΩ

ตำแหน่ง SW_3 คือ R = 22 KΩ

ตำแหน่ง SW_4 คือ R = 30 KΩ

ตำแหน่ง SW_5 คือ R = 47 KΩ

ตำแหน่ง SW_6 คือ R = 68 KΩ

ตำแหน่ง SW_7 คือ R = 100 KΩ

ตำแหน่ง SW_8 คือ R = 1 MΩ

9. การใช้งาน VARIABLE CAPACITOR ของชุดฝึก

ตำแหน่งที่ 1 คือ C = 47 PF

ตำแหน่งที่ 2 คือ C = 56 PF

ตำแหน่งที่ 3 คือ C = 0.0047 μF

ตำแหน่งที่ 4 คือ C = 0.007 μF

ตำแหน่งที่ 5 คือ C = 0.01 μF

ตำแหน่งที่ 6 คือ C = 0.022 μF

ตำแหน่งที่ 7 คือ C = 0.033 μF

ตำแหน่งที่ 8 คือ C = 0.047 μF

ตำแหน่งที่ 9 คือ C = 0.1 μF

ตำแหน่งที่ 10 คือ C = 1 μF

10. TEST OPAMP ของชุดฝึก

เสียบออปแอมป์ ชนิด 8 ขา ลงที่ SOCKET จากนั้นล็อกแล้วเปิดสวิทช์ ถ้าออปแอมป์ใช้ได้จะมีเสียง

การปฏิบัติการทดลอง

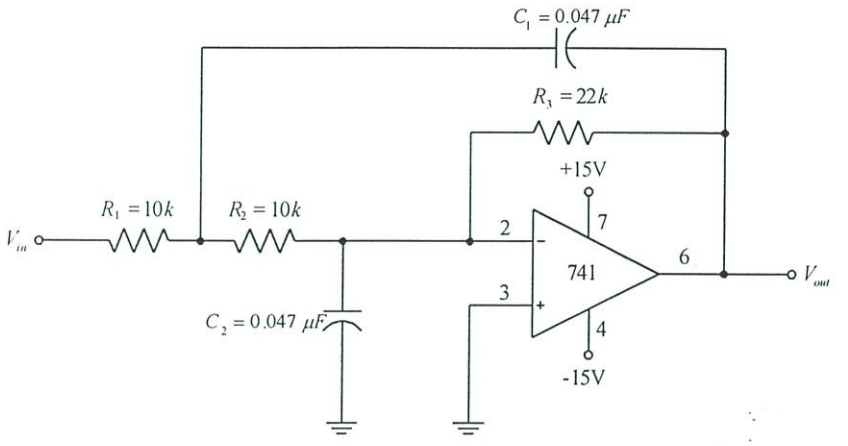
เมื่อนักศึกษาทำเสร็จแต่ละหัวข้อให้ครูผู้สอนประเมินทุกหัวข้อ ปฏิบัติงานเป็นขั้นตอน

คู่มือครู

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 1

เรื่อง	การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่
หัวข้อ	วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter)

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร Low Pass Filter



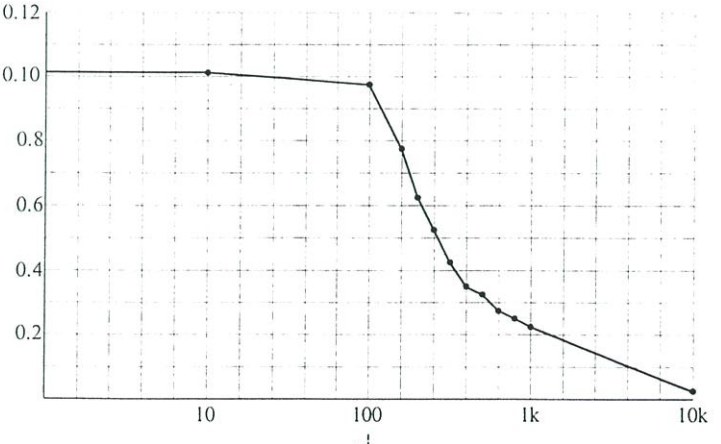
รูปที่ 4

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	1.098	0.981	0.795	0.634	0.513	0.43	0.36	0.32	0.28	0.25	0.22	0.04	0.02	V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

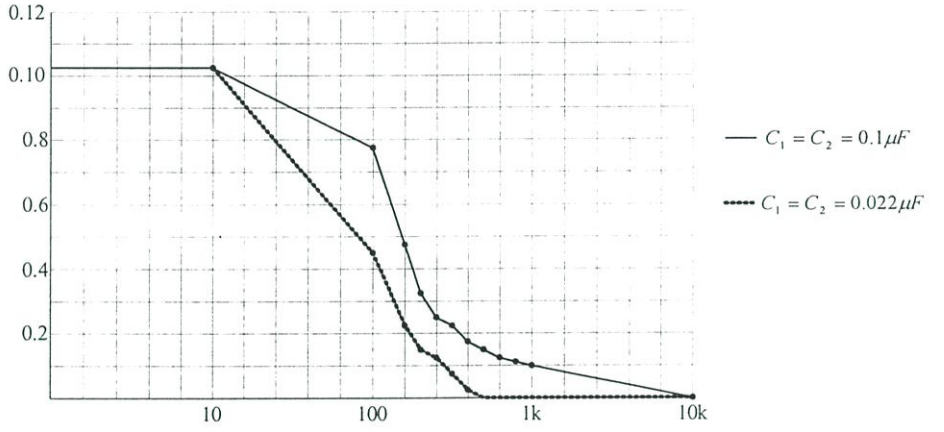
3. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF และ 0.022 μF

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	10K	Hz
$C_1=C_2=0.1$	V_{01}	1.094	0.77	0.48	0.34	0.26	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12	0.1	0	V
$C_1=C_2=0.022$	V_{02}	1.07	0.45	0.24	0.16	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0	V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิด จุดคัทออฟเปลี่ยนไปจากเดิม

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ต่ำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ต่ำ สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่ต่ำกว่าผ่านได้ ถ้าความสูงกว่าผ่านไม่ได้ วงจรกรองความถี่ต่ำมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

8. สรุปผลการทดลอง

<u>แนวการตอบ</u> ในการทดลองข้อที่ 1 คำนวณตามทฤษฎีได้ f_C = 239 Hz ตามผลการทดลอง f_C = 252 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

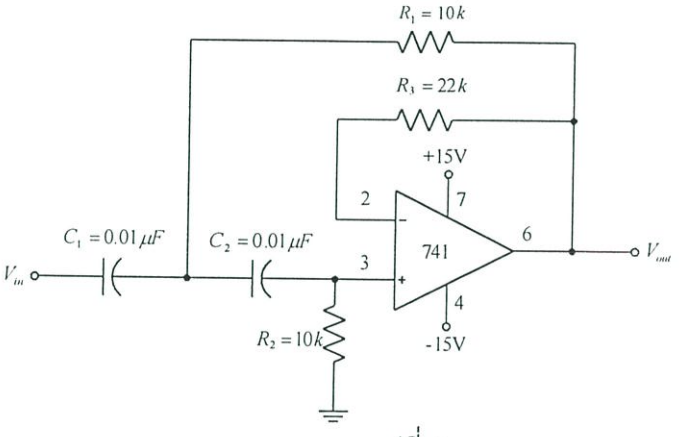
ในการทดลองข้อที่ 3 เมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_C = 112 Hz ตามผลการทดลอง f_C = 118 Hz และเมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.022 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_C = 511 Hz ตามผลการทดลอง f_C = 538 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

จากการทดลองสรุปได้ว่า วงจรกรองความถี่ต่ำนี้จะยอมให้ความถี่ต่ำกว่าความถี่คัทออฟ (f_C) ผ่านได้เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลอง เมื่อเพิ่มความถี่ที่อินพุทของวงจรมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ แรงดันที่เอาท์พุทของวงจรก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับ ผลการทดลองใกล้เคียงกับอุดมคติ อาจจะมีการคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าของอุปกรณ์ เช่น R และ C มีค่าผิดพลาด เพราะฉะนั้นในการออกแบบวงจรควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณออกแบบไว้ให้มากที่สุด และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะหาได้

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 2

เรื่อง	การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่
หัวข้อ	วงจรกรองความถี่สูง (High-Pass Filter)

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร High Pass Filter



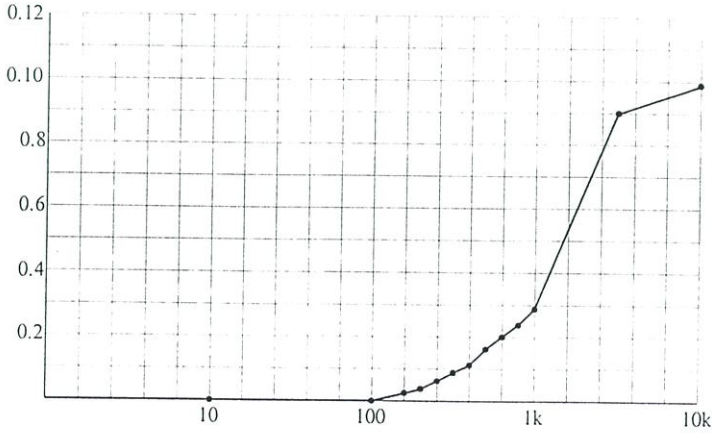
รูปที่ 4

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	0	0	0.01	0.02	0.03	0.09	0.12	0.16	0.2	0.24	0.28	0.9	0.97	V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

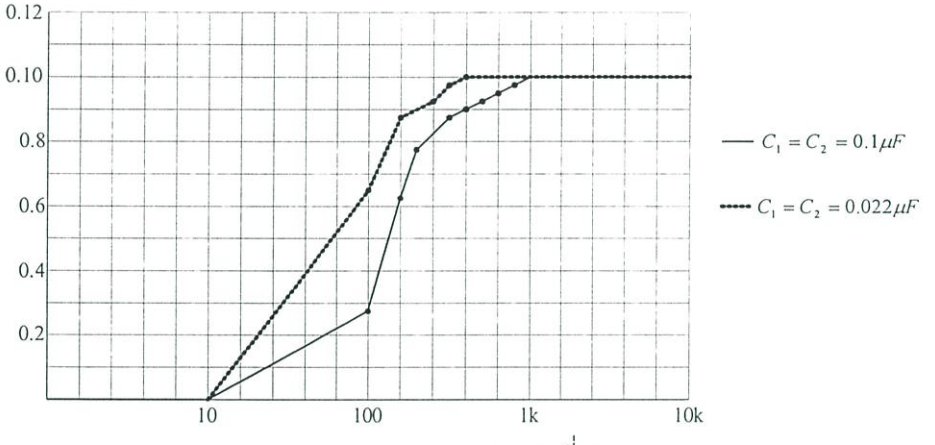
3. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF และ 0.022 μF

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	10K	Hz
C_1=C_2=0.1	V_{01}	0	0.27	0.61	0.78	0.86	0.9	0.93	0.95	0.96	0.96	0.97	1	V
C_1=C_2=0.022	V_{02}	0.01	0.65	0.88	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	1	1	V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



ตารางที่ 4

5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิด จุดคัทออฟเปลี่ยนไปจากเดิม

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่สูงไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ต่ำ สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่สูงกว่าผ่านได้ ถ้าความต่ำกว่าผ่านไม่ได้ วงจรกรองความถี่สูงมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

8. สรุปผลการทดลอง

<u>แนวการตอบ</u> ในการทดลองข้อที่ 1 คำนวณตามทฤษฎีได้ f_C = 1.12 KHz ตามผลการทดลอง f_C = 2.47 KHz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

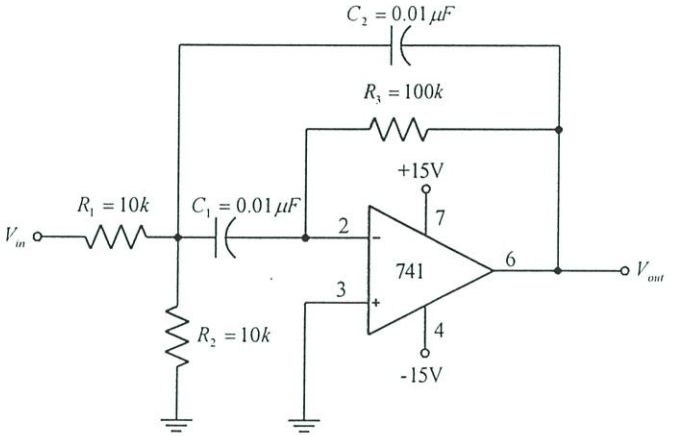
ในการทดลองข้อที่ 3 เมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_C = 225 Hz ตามผลการทดลอง f_C = 247 Hz และเมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.022 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_C = 1.022 KHz ตามผลการทดลอง f_C = 1.13 KHz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

จากการทดลองสรุปได้ว่า วงจรกรองความถี่สูงนี้จะยอมให้ความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟ (f_C) ผ่านได้เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลอง เมื่อเพิ่มความถี่ที่อินพุทของวงจรมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ แรงดันที่เอาท์พุทของวงจรก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ ผลการทดลองใกล้เคียงกับอุดมคติ อาจจะมีการคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าของอุปกรณ์ เช่น R และ C มีค่าผิดพลาด เพราะฉะนั้นในการออกแบบวงจรควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณออกแบบไว้ให้มากที่สุด และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะหาได้

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 3

เรื่อง	การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่
หัวข้อ	วงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน (Band-Pass Filter)

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร Band-Pass Filter



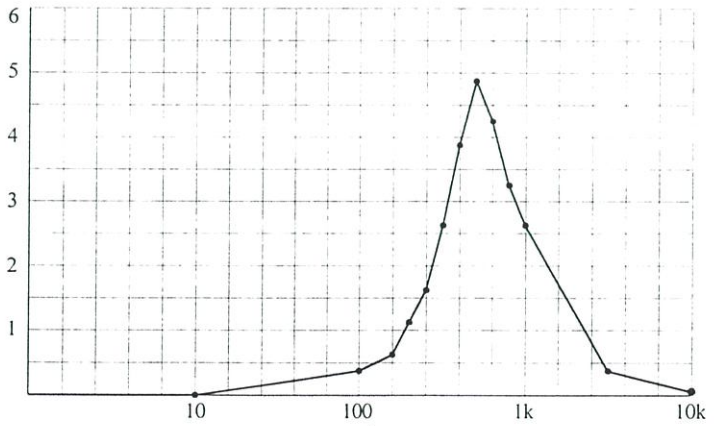
รูปที่ 4

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	0	0.32	0.68	1.12	1.72	2.61	3.94	4.98	4.39	3.39	2.69	0.32	0.16	V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

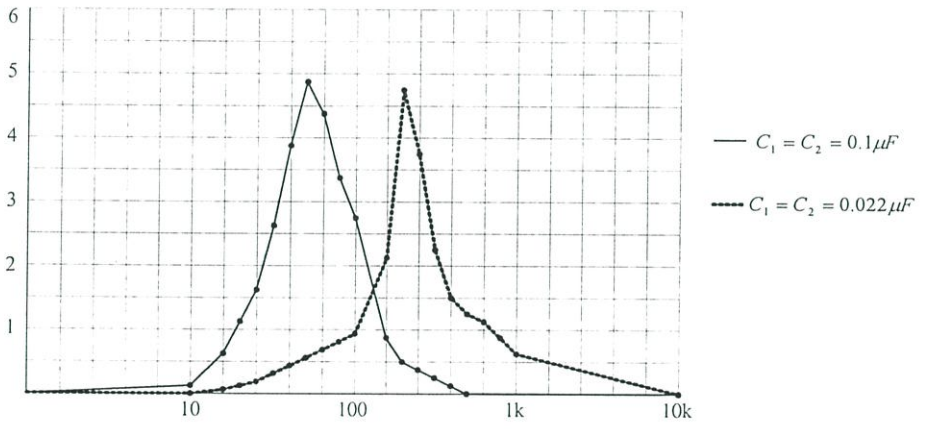
3. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF และ 0.022 μF

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	Hz
$C_1=C_2=0.1$	V_{01}	0.32	0.67	1.12	1.6	2.6	3.81	4.96	4.40	3.47	2.7	0.89	0.56	V
V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	400	500	600	700	800	900	1K	10K					Hz
$C_1=C_2=0.1$	V_{01}	0.41	0.32	0.26	0.22	0.2	0.18	0.16	0					V
V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	Hz
$C_1=C_2=0.022$	V_{02}	0.06	0.13	0.2	0.27	0.35	0.42	0.5	0.58	0.66	0.74	2.01	4.6	V
V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	400	500	600	700	800	900	1K	10K					Hz
$C_1=C_2=0.022$	V_{02}	3.62	2.24	1.61	1.28	1.05	0.91	0.79	0					V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



ตารางที่ 4

5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิด จุดความถี่รีโซแนนท์ (f_r) เปลี่ยนไปจากเดิม

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่ช่วงผ่าน ถ้าความต่ำกว่าหรือสูงกว่าผ่านไม่ได้ วงจรกรองความถี่ช่วงผ่านมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

8. สรุปผลการทดลอง

<u>แนวการตอบ</u> ในการทดลองข้อที่ 1 คำนวณตามทฤษฎีได้ f_r = 711 Hz ตามผลการทดลอง f_r = 709 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

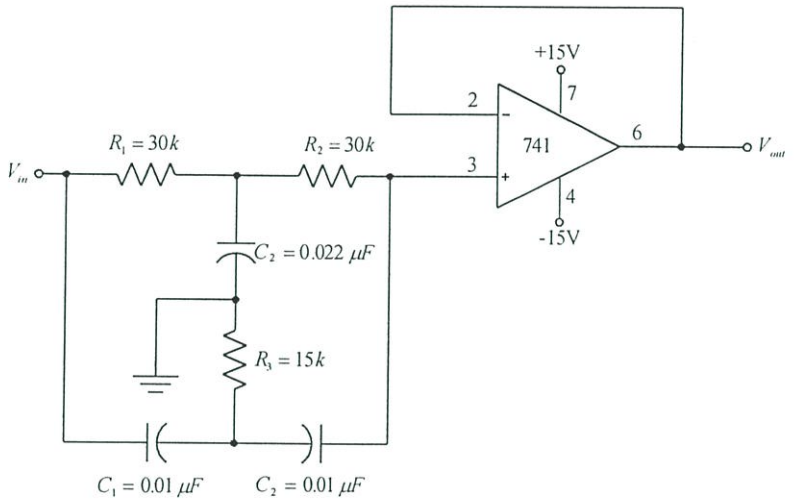
ในการทดลองข้อที่ 3 เมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.1 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_r = 71.1 ตามผลการทดลอง f_r = 70.96 Hz และเมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.022 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_r = 323 Hz ตามผลการทดลอง f_r = 319 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

จากการทดลองสรุปได้ว่า วงจรกรองความถี่ช่วงผ่านนี้จะยอมให้ความถี่ผ่านช่วงความถี่รีโซแนนท์ (f_r) ผ่านได้เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลอง เมื่อเพิ่มความถี่ที่อินพุทของวงจรมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ แรงดันที่เอาท์พุทของวงจรก็จะมีช่วงหนึ่งเพิ่มขึ้น ผลการทดลองใกล้เคียงกับอุดมคติ อาจจะมีการคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าของอุปกรณ์ เช่น R และ C มีค่าผิดพลาด เพราะฉะนั้นในการออกแบบวงจรควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณออกแบบไว้ให้มากที่สุด และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะหาได้

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานที่ 4

เรื่อง	การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่
หัวข้อ	วงจรกรองความถี่ช่วงหยุด (Band-Stop Filter)

1. ประกอบวงจรตามรูปวงจร Band-Stop Filter



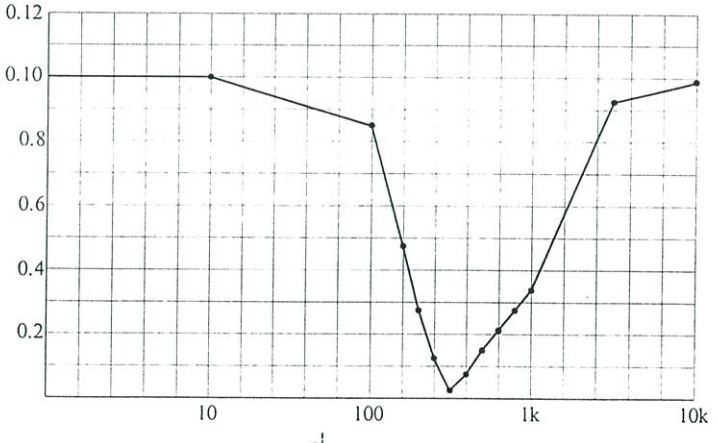
รูปที่ 4

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	1	0.77	0.47	0.27	0.12	0.02	0.07	0.15	0.21	0.27	0.32	0.91	0.97	V

ตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 1



ตารางที่ 2

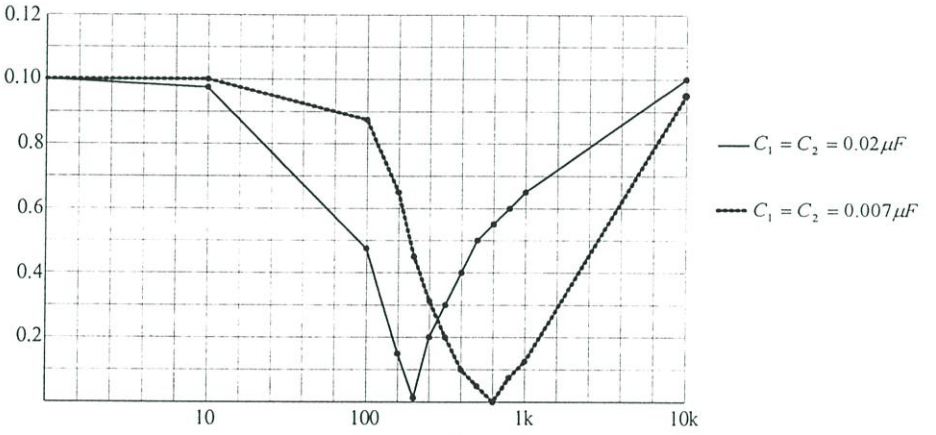
5. เปลี่ยนค่า C เป็น 0.02 μF และ 0.007 μF ขั้นตอนนี้ต้องเปลี่ยน C_3 เป็น 0.039 μF และ 0.015μF ตามลำดับค่า C ที่เปลี่ยน

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	f_{in}	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	10K	Hz
$C_1=C_2=0.02$	V_{01}	0.98	0.49	0.14	0.06	0.2	0.3	0.41	0.49	0.55	0.6	0.65	1	V
$C_1=C_2=0.007$	V_{02}	1	0.87	0.64	0.45	0.31	0.2	0.1	0.04	0.03	0.09	0.14	0.95	V

ตารางที่ 3

4. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 3



ตารางที่ 4

5. เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิดอะไรขึ้น อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> เมื่อเปลี่ยนค่า C แล้วเกิด จุดความถี่รีโซแนนท์ (f_r) เปลี่ยนไปจากเดิม

6. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

7. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงหยุดไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ช่วงหยุด สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่ช่วงหยุด ถ้าความต่ำกว่าหรือสูงกว่าผ่านได้ วงจรกรองความถี่ช่วงหยุดมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

8. สรุปผลการทดลอง

<u>แนวการตอบ</u> ในการทดลองข้อที่ 1 คำนวณตามทฤษฎีได้ f_r = 530 Hz ตามผลการทดลอง f_r = 528 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

ในการทดลองข้อที่ 3 เมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.02 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_r = 265 Hz ตามผลการทดลอง f_r = 266 Hz และเมื่อเปลี่ยนค่า C เป็น 0.007 μF คำนวณตามทฤษฎีได้ f_r = 757 Hz ตามผลการทดลอง f_r = 754 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

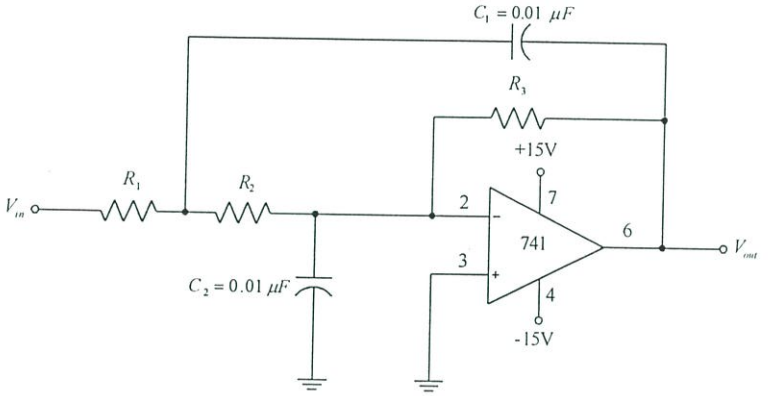
จากการทดลองสรุปได้ว่า วงจรกรองความถี่ช่วงหยุดนี้จะยอมให้ความถี่หยุดช่วงความถี่รีโซแนนท์ (f_r) เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลอง เมื่อเพิ่มความถี่ที่อินพุทของวงจรมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ แรงดันที่เอาท์พุทของวงจรก็จะมีค่าช่วงหนึ่งลดลง ผลการทดลองใกล้เคียงกับอุดมคติ อาจจะมีการคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าของอุปกรณ์ เช่น R และ C มีค่าผิดพลาด เพราะฉะนั้นในการออกแบบวงจรควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณออกแบบไว้ให้มากที่สุด และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะหาได้

ออปแอมป์และการใช้งาน
ใบปฏิบัติงานขั้นสุดท้าย

เรื่อง	การทดลองวงจรกรองสัญญาณความถี่
หัวข้อ	วงจรกรองความถี่ (Filter)

<u>หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)</u>

1. จงออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ ที่ f_C = 600 Hz



รูปที่ 1

คำนวณได้ R_1 , $R_2 = 18\,K\Omega$ และ $R_3 = 36\,K\Omega$

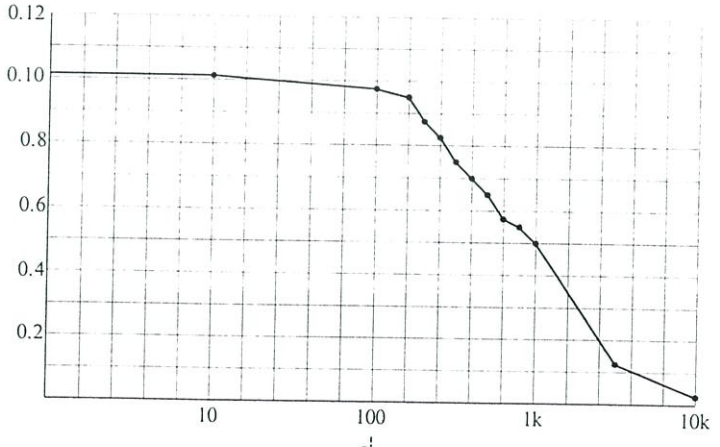
2. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p\text{-}p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	1	0.98	0.94	0.89	0.82	0.76	0.7	0.64	0.59	0.55	0.50	0.12	0.06	V

ตารางที่ 1

3. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 2



ตารางที่ 2

4. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

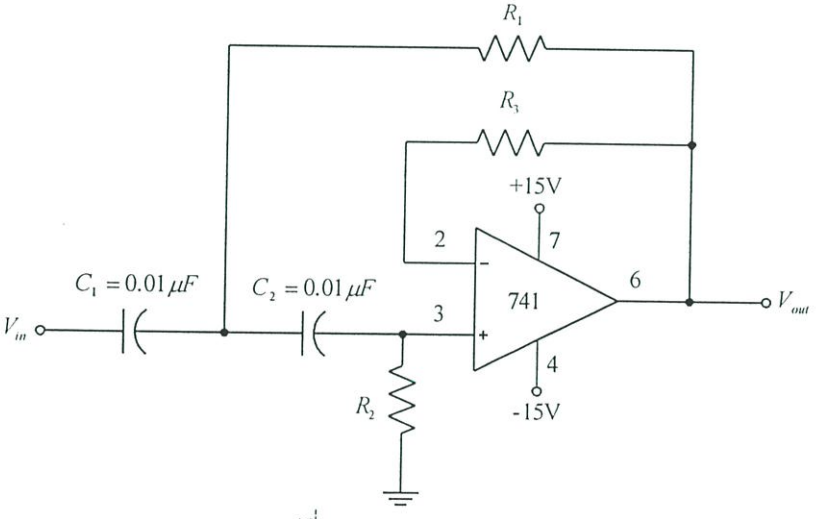
<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

5. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ต่ำ นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ต่ำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ต่ำ สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่ต่ำกว่าผ่านได้ ถ้าความสูงกว่าผ่านไม่ได้ วงจรกรองความถี่ต่ำมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

<u>หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)</u>

6. จงออกแบบวงจรกรองความถี่สูง ที่ f_C = 600 Hz



รูปที่ 2

คำนวณได้ R_2 , R_3 = $37\,K\Omega$ เลือกใช้ค่า R มาตรฐาน $39\,K\Omega$

R_1 = $18\,K\Omega$

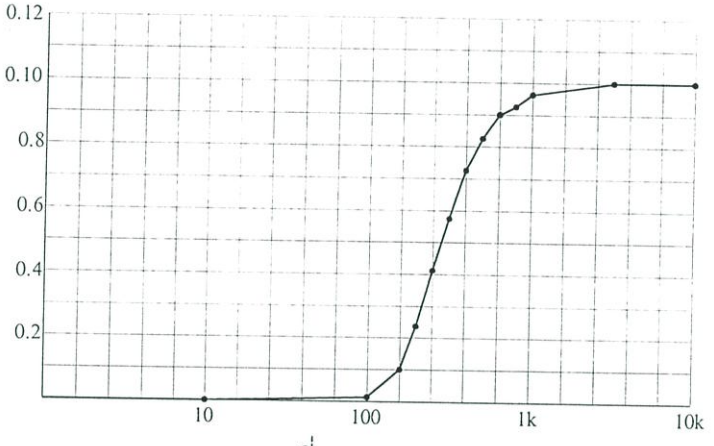
7. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	0	0.02	0.11	0.24	0.41	0.58	0.73	0.83	0.90	0.93	0.96	1	1	V

ตารางที่ 3

8. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 7



ตารางที่ 4

9. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่อย่างไร

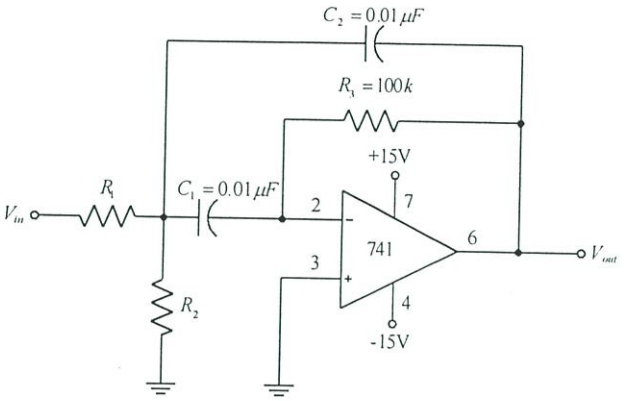
<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

10. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่สูง นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่สูงไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ต่ำ สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่สูงกว่าผ่านได้ ถ้าความต่ำกว่าผ่านไม่ได้ วงจรกรองความถี่สูงมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน (Band Pass Filter)

11. จงออกแบบวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน ที่ f_r = 600 Hz



รูปที่ 3

คำนวณได้ $R_1, R_2 = 15\,K\Omega$

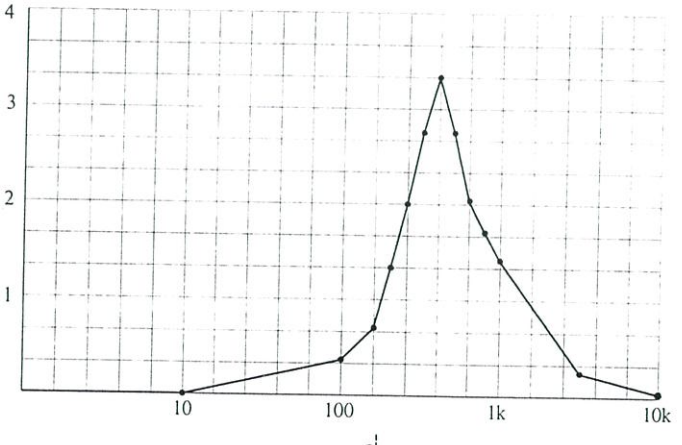
12. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	0	0.32	0.70	1.2	1.8	2.8	3.3	2.7	2.1	1.7	1.4	0.21	0.10	V

ตารางที่ 5

13. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 12



ตารางที่ 6

14. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

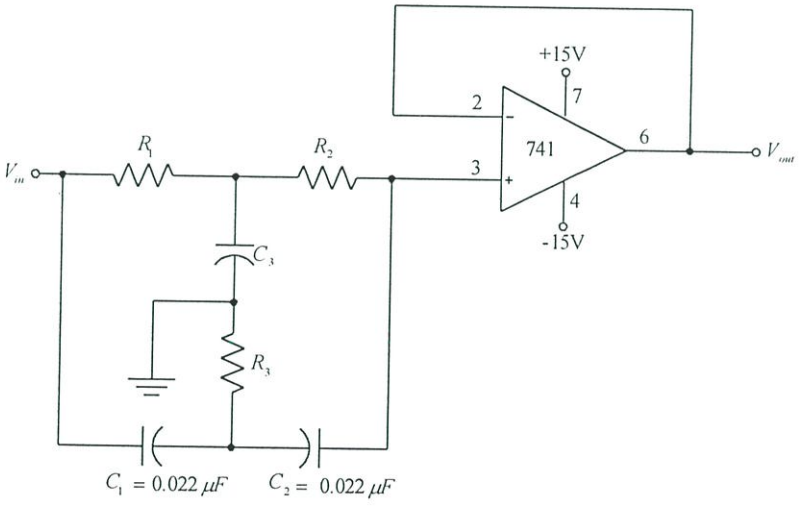
<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

15. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่ช่วงผ่าน ถ้าความต่ำกว่าหรือสูงกว่าผ่านไม่ได้ วงจรกรองความถี่ช่วงผ่านมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

<u>หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด</u> (Band Stop Filter)

16. จงออกแบบวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด ที่ f_r = 600 Hz



รูปที่ 4

คำนวณ $R_1, R_2 = 12\,K\Omega$ และ $R_3 = 6\,K\Omega$ เลือกใช้ค่า R มาตรฐาน $6.2\,K\Omega$

$C_3 = 0.044\,\mu F$ เลือกใช้ค่า C มาตรฐาน $0.047\,\mu F$

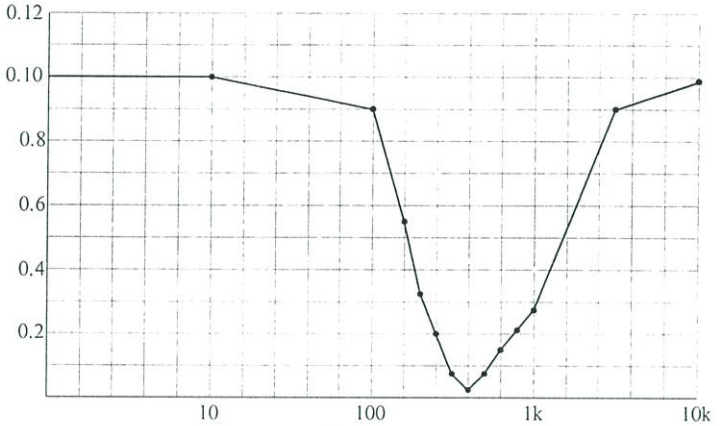
17. ประกอบวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้

ป้อนสัญญาณ 1 Vp- p เปลี่ยนความถี่ บันทึกค่าในตาราง

V_{in} $1V_{p-p}$	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K	5K	10K	Hz
Vout	1	0.81	0.54	0.33	0.19	0.08	0.05	0.08	0.15	0.21	0.26	0.9	0.97	V

ตารางที่ 7

18. เขียนกราฟ Vout เทียบกับความถี่ f จากผลการทดลองในข้อ 17



ตารางที่ 8

19. จากผลการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด ในทางปฏิบัติเป็นไปตามอุดมคติหรือไม่ อย่างไร

<u>แนวการตอบ</u> จากการทดลองใกล้เคียงตามอุดมคติและตามทฤษฎี อาจมีค่าคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

20. จากการทดลองเรื่องวงจรกรองความถี่ช่วงหยุด นักศึกษาคิดว่าจะนำวงจรกรองความถี่ช่วงหยุดไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

<u>แนวการตอบ</u> วงจรกรองความถี่ช่วงหยุด สามารถนำไปเป็นวงจรจำกัดความถี่ช่วงหยุด ถ้าความต่ำกว่าหรือสูงกว่าผ่านได้ วงจรกรองความถี่ช่วงหยุดมีประโยชน์อย่างยิ่งในวงจรต่างๆ ของงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมโทรคมนาคม เช่น พบเห็นทั่วไปในวงจรเครื่องขยายเสียง เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ เป็นต้น

21. สรุปผลการทดลอง

<u>แนวการตอบ</u> หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่ต่ำ ผลการทดลอง f_C = 590 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทลดลง 70.7 %

หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่สูง ผลการทดลอง f_C = 583 Hz พิจารณาที่ – 3 dB หรือแรงดันเอาท์พุทเพิ่มขึ้น 70.7 %

หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงผ่าน ผลการทดลอง f_C = 576 Hz พิจารณาที่ช่วงความถี่รีโซแนนท์ (f_r)

หัวข้อเรื่อง วงจรกรองความถี่แบบช่วงหยุด ผลการทดลอง f_C = 605 Hz พิจารณาที่ช่วงความถี่รีโซแนนท์ (f_r)

จากการทดลองสรุปได้ว่า ผลการทดลองใกล้เคียงกับอุดมคติ อาจจะมีการคาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากค่าของอุปกรณ์ เช่น R และ C มีค่าผิดพลาด เพราะฉะนั้นในการออกแบบวงจรควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณออกแบบไว้ให้มากที่สุด และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะหาได้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายยุทธพิชัย กล้าหาญ
วัน เดือน ปีเกิด	1 เมษายน 2515
สถานที่เกิด	300 หมู่ 4 ต.ระหาน กิ่งอำเภอบึงสามัคคี จ. กำแพงเพชร 62130
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	322/9 ถ.จิระ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000
สถานที่ทำงาน	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ถ.จิระ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000
ตำแหน่ง	อาจารย์ 1 ระดับ 5
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2533 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วุฒิ ปวช. วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร
	พ.ศ. 2535 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วุฒิ ปวส. วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร
	พ.ศ. 2537 ปริญญาตรี วุฒิ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	พ.ศ. 2547 ปริญญาโท วุฒิ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง