ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

AN INSTRUCTIONAL DEMONSTRATION SET ON THE SMALL SIGNAL AMPLIFIER CIRCUITS WITH NI MYDAQ AND LABVIEW

ธิชานนท์ ร่มสายหยุด
THICHANON ROMSAIYUD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562
KMITL-2019-ED-M-232-065

ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

AN INSTRUCTIONAL DEMONSTRATION SET ON THE SMALL SIGNAL AMPLIFIER CIRCUITS WITH NI MYDAQ AND LABVIEW

ธิชานนท์ ร่มสายหยุด

THICHANON ROMSAIYUD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-ED-M-232-065

AN INSTRUCTIONAL DEMONSTRATION SET ON THE SMALL SIGNAL AMPLIFIER CIRCUITS WITH NI MYDAQ AND LABVIEW

THICHANON ROMSAIYUD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION

IN ELECTRONICS

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-ED-M-232-065

COPYRIGHT 2019
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว
นักศึกษา	นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด
รหัสประจำตัว	57603107
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กิติพงค์ มะโน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวที่มีคุณภาพ และประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ประกอบด่วย สื่อชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว และใบเนื้อหาการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก จำนวน 5 เรื่อง ซึ่งการกำหนดใบเนื้อหาสำหรับการสอนได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวิเคราะห์เนื้อหาที่สำคัญในการจัดลำดับการเรียนรู้ เพื่อนำมากำหนดสร้างเครื่องมือการวิจัย โดยผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ประกอบด้วยบุคลากรทางการศึกษา 3 ท่าน และบุคลากรจากภาคเอกชน จำนวน 2 ท่าน ผลการวิจัยปรากฏว่า ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ดี ผู้สอนสามารถใช้งานได้ง่าย และเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน โดยมีคุณภาพด้านสื่อ ในเกณฑ์ระดับดี ($\overline{X}$ = 4.49, S.D. = 0.57) และมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.63, S.D. = 0.46)

Thesis Title	An Instructional Demonstration Set On The Small Signal Amplifier Circuits with NI myDAQ and LabVIEW
Student	Mr. Thichanon Romsaiyud
Student ID.	57603107
Degree	Master of Science in Industrial Education
Program	Electronics
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kitipong Mano
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Piya Supawarasuwat

ABSTRACT

The purposes of this research were to develop an instructional demonstration set on the small signal amplifier circuits with NI myDAQ and LabVIEW as well as to find out students' satisfaction. The tools used for data collection were an instructional demonstration set on the small signal amplifier circuits with NI myDAQ and LabVIEW and five teaching content guides which were obtained by reviewing related documents and research. The content was analyzed and validated by five qualified experts of whom three were educational personel and two were from the private sector area.

The results showed that the quality of developed demonstration set was at the good level ($\overline{X}$ = 4.49, S.D. = 0.57). It was also very straightforward for the teachers to use and beneficial for the students. Students' satisfaction was at the most level ($\overline{X}$ = 4.63, S.D. = 0.46)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.กิติพงค์ มะโน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำช่วยเหลือ และช่วยตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง พร้อมทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในขั้นตอนสุดท้าย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ และผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผศ.ดร. พิชญ์สินี มะโน และ ผศ.พงศ์พัทธ์ มังคละคีรี ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิเคราะห์และออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อาจารย์วัชรินทร์ คงพิบูลย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและผลิตสื่อสำหรับการสอน คุณกิจไพบูลย์ ชีวะพันธุศรี และคุณจุมพล จวนอาจ ผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกแบบระบบอัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์แลบวิว (LabVIEW) ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้เพื่อปรับปรุงให้มีคุณภาพและความเหมาะสมต่อการวิจัย และขอขอบคุณ ครูจิรวัฒน์ แสงคุณธรรม ครูผู้ช่วยแผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ ผู้ที่คอยกระตุ้นให้ผู้วิจัยได้เร่งดำเนินการทำวิจัยจนสำเร็จ และขอขอบคุณบริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด ที่ได้มอบอุปกรณ์สำหรับใช้สร้างเครื่องมือในการทำวิจัย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา และ ผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธิชานนท์ ร่มสายหยุด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....4

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 4

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....4

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 5

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการทำวิจัย.....6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสถานศึกษาและสังเขปรายวิชา 8

2.2 เนื้อหาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์เรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก 9

2.3 โปรแกรมแลบวิว 29

2.4 เอ็นไอมายด์แด็ค (NI myDAQ) 43

2.5 การสอนแบบสาธิตและประเภทของการสอนแบบสาธิต 55

2.6 หลักการออกแบบและการพัฒนาชุดสาธิต..... 58

2.7 การหาคุณภาพของชุดสาธิต 60

2.8 การหาความพึงพอใจของชุดสาธิต 61

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 67

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 67

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 68

3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 68

3.4 การดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล 74

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 74

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 75

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 76

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิตการสอน
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 76

4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอน
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 78

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 80

5.1 สรุปผลการวิจัย 80

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 83

5.3 ข้อเสนอแนะ 84

บรรณานุกรม 86

ภาคผนวก 88

ภาคผนวก ก หนังสือจากงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 89

ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 95

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวง
จรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว.....98
ภาคผนวก ง ภาพแสดงชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับ
เอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 102
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับ
เอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 109
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างใบเนื้อหาการสอน.....117

ประวัติผู้เขียน.....127

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 เปรียบเทียบคำศัพท์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมแลบวิวและโปรแกรมพื้นฐาน..... 39

2.2 รายละเอียดของเอ็นไอมายแด็ค..... 44

2.3 รายละเอียดต่างๆ ของพอร์ตเทอร์มินัล..... 45

2.4 รายละเอียดของจุดต่างๆ ในการใช้งานของการวัดสัญญาณ..... 49

4.1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว.....76

4.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความพึงพอใจ ของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว.....78

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ NPN 10

2.2 การจ่ายไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ NPN 10

2.3 การต่อวงจรโดยใช้จุดร่วม 11

2.4 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ 12

2.5 แสดงการปลดโหลดจากวงจร 13

2.6 วงจรสมมูลเทวินิน 14

2.7 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ 15

2.8 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ 15

2.9 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต 16

2.10 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ 17

2.11 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ 18

2.12 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ 18

2.13 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต 19

2.14 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส 20

2.15 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส 21

2.16 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณเบสร่วมไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส 21

2.17 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต 22

2.18 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส 23

2.19 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส 24

2.20 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กวงจรเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส 24

2.21 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต 25

2.22 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม 26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.23 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม 27
2.24 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม 27
2.25 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต..... 28
2.26 ตัวอย่างเครื่องมือวัดเสมือนที่สร้างจาก LabVIEW..... 29
2.27 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW 2017 30
2.28 หน้าจอการเขียนโปรแกรมและแผงหน้าปัด 31
2.29 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมแลบวิว..... 33
2.30 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม..... 33
2.31 แผงหน้าปัดของโปรแกรมแลบวิว 34
2.32 Object ที่อยู่บนแผงหน้าปัดของโปรแกรมแลบวิว..... 35
2.33 Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบแผงหน้าปัด 35
2.34 Tools Palette ที่ใช้ในการออกแบบแผงหน้าปัด 36
2.35 ตัวอย่าง Block Diagram..... 36
2.36 ตัวอย่าง Block Diagram Node..... 37
2.37 เครื่องมือสำหรับ DAQmx – Data Acquisition..... 38
2.38 เครื่องมือ Tools Palette 38
2.39 ลักษณะทั่วไปของไอคอน และคอนเนคเตอร์ 39
2.40 ข้อมูลประเภท Numeric..... 40
2.41 ข้อมูลประเภท Boolean..... 41
2.42 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมแปลงหน่วยอุณหภูมิด้วยโปรแกรมแลบวิว..... 42
2.43 เอ็นไอมายแด็ค..... 43
2.44 รายละเอียดของเอ็นไอมายแด็ค..... 44
2.45 พอร์ตเทอร์มินัลของเอ็นไอมายแด็ค..... 45
2.46 บล็อกไดอะแกรมฮาร์ดแวร์ของเอ็นไอมายแด็ค..... 46
2.47 ไอคอนต่าง ๆ ของเครื่องมือในซอฟต์แวร์ NI ELVISmx Instrument Launcher..... 47
2.48 แผงเมนูดิจิตอลมัลติมิเตอร์..... 48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.49 จุดต่อเพื่อวัดสัญญาณขณะที่เลือกใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 49
2.50 หน้าต่างของออสซิลโลสโคป 50
2.51 หน้าต่างขอฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ 51
2.52 หน้าต่างของ Bode Analyzer 52
2.53 หน้าต่างของ Dynamic Signal Analyzer 53
2.54 หน้าต่างของ Arbitrary Waveform Generator 54
2.55 หน้าต่างของ Digital Reader 54
2.56 หน้าต่างของ Digital Write 55
3.1 ผังขั้นตอนการพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับ
เอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 69
3.2 ผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 72
3.3 ผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอน
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว 73
ง.1 ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว.... 103
ง.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง 103
ง.3 เอ็นไอมายแด็ค 104
ง.4 สายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเอ็นไอมายแด็ค 104
ง.5 แผงทดลองวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กที่สร้างขึ้น 105
ง.6 ชุดสายวัดมัลติมิเตอร์ 105
ง.7 กล้องที่ติดตั้งภายในชุดสาธิต 106
ง.8 สายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับกล้อง 106
ง.9 สายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับแผงทดลอง 107
ง.10 ใบเนื้อหาการสอน เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก 108

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

จ.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของชุดสาธิต 110
จ.2 องค์ประกอบของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI) 111
จ.3 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 112
จ.4 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 112
จ.5 ส่วนแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง 112
จ.6 ส่วนแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้ากระสลับ.... 113
จ.7 ส่วนแสดงผลค่าความต้านทาน 113
จ.8 การเชื่อมต่อชุดสาธิตเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ 114
จ.9 วิธีการกำหนด Signal Route.... 114
จ.10 วิธีการเลือก CH0 Enable และ CH1 Enable 115
จ.11 วิธีการเลือก Trigger Type 115
จ.12 Measurement Categories 116
ฉ.1 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์....118
ฉ.2 วงจรไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุ
ที่ขาอิมิตเตอร์.... 119
ฉ.3 การวัดค่าแรงดันไบแอส 120
ฉ.4 การวัดค่ากระแสไบแอสและผลการวัด 120
ฉ.5 การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์และผลการวัด 121
ฉ.6 การวัดค่ากระแสอิมิตเตอร์และผลการวัด 121
ฉ.7 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์.... 122
ฉ.8 วิธีการต่อสายสัญญาณ.... 122
ฉ.9 การกำหนดค่าฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์.... 123
ฉ.10 การกำหนดค่าออสซิลโลสโคป 123
ฉ.11 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตเพื่อนำไปหาอัตราขยายแรงดัน 124
ฉ.12 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 124
ฉ.13 การวัดความต้านทานอินพุตของวงจร 125

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ฉ.14 การวัดความต้านทานเอาต์พุตของวงจร 126

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสอนเนื้อหาด้านอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับปริมาณของกระแสและแรงดันสัญญาณ การทำงานของอุปกรณ์และวงจร จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัด เพื่อแสดงปริมาณและรูปร่างสัญญาณ เพื่อให้เข้าใจการทำงานของอุปกรณ์และวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้สอนจำเป็นต้องมีสื่อการสอนที่เหมาะสม ดังที่ เชษฐา เจริญสุข (2546) ได้กล่าวไว้ว่า “สาเหตุประการสำคัญที่ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี เนื่องมาจากประสิทธิภาพของสื่อการเรียนการสอน และความขาดแคลนของชุดทดลองในภาคปฏิบัติ อันเป็นสื่อกลางที่สำคัญหลังจากการเรียนภาคทฤษฎี และนำไปขยายผลความรู้ในภาคปฏิบัติ” โดย บุญเหลือ ทองเอี่ยม และสุวรรณาภู (2541) ได้กล่าวไว้ว่า “สื่อ (Media) หมายถึงตัวกลางหรือพาหะที่จะนำข้อมูลข่าวสารหรือความรู้จากผู้ส่งสารไปยังผู้รับสาร ดังนั้น คำว่าสื่อการสอน (Instructional Media) จึงหมายถึง วัสดุอุปกรณ์ วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสื่อกลางระหว่างผู้สอนและผู้เรียน ในการถ่ายทอดความรู้เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ”

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสอนภาคทฤษฎี มีบางหัวข้อที่ขณะทำการสอนจำเป็นต้องใช้วิธีการสอนแบบสาธิต หรือใช้อุปกรณ์เข้ามาเพื่อช่วยพิสูจน์ผลในทางปฏิบัติกับทฤษฎีให้ผู้เรียนได้เห็นว่า มีความแตกต่างหรือสอดคล้องกันอย่างไร ยกตัวอย่างเนื้อหาเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก เมื่อผู้สอนต้องการแสดงให้ผู้เรียนได้เห็นลักษณะของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งเป็นสัญญาณจริงที่ถูกป้อนเข้าไปในแต่ละวงจร ต้องใช้เครื่องมือซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณ ออสซิลโลสโคป พาวเวอร์ซัพพลาย ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ซึ่งต่ออยู่บนโพรโตบอร์ด โพรบที่ใช้ในการวัดสัญญาณ และอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณต่าง ๆ เพื่อแสดงให้ผู้เรียนได้เห็นขั้นตอนการวัด

เมื่อพิจารณาการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่า เป็นหลักสูตรที่มุ่งเน้นการพัฒนาครูอาชีวศึกษา ให้สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดให้ผู้เรียนมีสมรรถนะตรงกับความต้องการของสถานประกอบการ ดังนั้น นักศึกษาครูจึงต้องมีความรู้และ ความเข้าใจในเนื้อหาที่จะต้องนำไปใช้สอนอย่างดี ซึ่งจากสภาพการสอนในรายวิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Engineering) รหัสวิชา 03376702 เป็นวิชาที่ต้องศึกษาทฤษฎีในหัวข้อ สารกึ่งตัวนำ รอยต่อพีเอ็น สมการไดโอด และคุณสมบัติต่าง ๆ ของไดโอด โครงสร้างทางกายภาพ คุณสมบัติของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า(เฟท) การไบแอสและการวิเคราะห์วงจรที่ใช้อุปกรณ์ตัวเดียว วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก วงจรขยายหลายภาค และวงจรขยายผลต่าง วงจรผลตอบสนองความถี่ภาคเดียว วงจรขยายที่มีการป้อนกลับ เสถียรภาพและการชดเชยความถี่ ออปแอมป์และการใช้งาน วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรขยายกำลัง และการระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และแหล่งจ่ายกำลังไฟตรง โดยการเรียนการสอนวิชาดังกล่าว เป็นการมุ่งเน้นพัฒนาเพื่อให้ผู้เรียน มีทักษะพื้นฐานทางด้านอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเปิดสอนให้กับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ดังนั้นกระบวนการเรียนการสอนในรายวิชานี้ จะต้องอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจถึงคุณสมบัติการทำงานพื้นฐานของวงจรจริง โดยเฉพาะ หัวข้อวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการรวมสัญญาณทั้งดีซีและเอซี จึงจำเป็นต้องมีการสาธิตการทำงานของวงจรเพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะสัญญาณต่างๆ ของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กในรูปแบบต่างๆ รวมถึงวิธีการใช้เครื่องมือทดลองหรือการนำอุปกรณ์ไปประยุกต์ใช้งาน และยังรวมถึงการทดลองที่ทำให้ผู้เรียนได้เห็นการทำงานจริงและอุปกรณ์จริงของแต่ละวงจร

จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการเรียนการสอน สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเด็นหลัก ได้แก่ ปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้สอน และปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้เรียน ด้านปัญหาที่เกิดกับผู้สอนคือ ต้องใช้เวลาค่อนข้างมากในการเตรียมอุปกรณ์ดังกล่าวสำหรับใช้ประกอบการสอนในแต่ละครั้ง ประกอบกับต้องเคลื่อนย้ายเครื่องมือหลายชิ้น ทำให้ผู้สอนเกิดความไม่สะดวกทั้งก่อนปฏิบัติการสอน ขณะปฏิบัติการสอน และหลังปฏิบัติการสอน ประเด็นต่อมาด้านปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวผู้เรียน คือ ไม่สามารถมองเห็นกระบวนการทำงานของวงจรว่ามีลักษณะการทำงานอย่างไร ตลอดจนวิธีในการวัดสัญญาณที่ถูกต้อง ส่งผลให้ผู้เรียนขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่า ควรจะมีสื่อสำหรับนำมาใช้บูรณาการร่วมกับการเรียนการสอนเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

ผลจากการทบทวนเอกสารเพิ่มเติมทำให้ทราบว่า มีผู้ที่นำโปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้เป็นสื่อสำหรับการเรียนการสอนด้วย ดังเช่น งานวิจัยของ สมาน กาญจนพฤกษ์ (2545) พบว่าได้ใช้โปรแกรม Pspice ร่วมกับการเรียนการสอนวิชาวงจรไฟฟ้า ซึ่งมีข้อดีคือผู้เรียนได้เห็นภาพรวมของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าตลอดย่านวัด โดยการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม Pspice แต่ประเด็นที่ผู้วิจัยมองว่ายังเป็นปัญหาอยู่คือ ข้อมูลที่ปรากฏในโปรแกรมเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในทางอุดมคติ ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบสัญญาณ หรือปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าในทางปฏิบัติ กับทางทฤษฎี

ให้แสดงผลร่วมกัน ไม่สามารถทำได้ อีกประการหนึ่งโปรแกรม Pspice ไม่มีเครื่องมือวัดเสมือนที่สามารถเชื่อมโยงกับวงจร เพื่อนำสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง มาแสดงผลในที่เวลาจริง (Real Time) ได้ และผู้เรียนไม่สามารถเห็นอุปกรณ์จริง รวมทั้งไม่เห็นการวัดสัญญาณที่ขาต่างๆ ของอุปกรณ์จริงด้วย

สำหรับแนวทางการแก้ปัญหา ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเฉพาะที่มีเครื่องมือวัดเสมือนที่สามารถเชื่อมโยงกับวงจรจริง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาระบบการเรียนการสอนที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้สอนและช่วยให้ผู้เรียนเห็นอุปกรณ์จริงได้ โดยผู้วิจัย ได้นำโปรแกรมแลบวิวมาพัฒนาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการเรียนการสอน เพื่อมุ่งแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น ซึ่ง อดิศักดิ์ ร่มพุฒตาล (2557) ได้อธิบายถึงโปรแกรมแลบวิวว่า “LabVIEW หรือ Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench หมายถึงเครื่องมือวัดเสมือนจริงสำหรับห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์ที่สร้างและพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัทเนชั่นแนลอินสทรูเม้นทส์ (National Instruments) เพื่อใช้พัฒนาแอปพลิเคชันทางด้านการวัด ทดสอบ และควบคุมสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม” และกิจไพบูลย์ ชีวะพันธุศรี (2554) ได้กล่าวว่า “โปรแกรม LabVIEW มีข้อแตกต่างจาก โปรแกรมอื่น ๆ คือ ไม่จำเป็นต้องเขียน Code หรือคำสั่งใด ๆ ช่วยลดความยุ่งยากในการเขียน โปรแกรมด้วยภาษา C หรือ Assembly เพราะภาษาที่ใช้เขียนในโปรแกรมนี้ เรียกว่า ภาษารูปภาพ (Graphic Language) ทำให้มีความเหมาะสมมากสำหรับการเรียนรู้ทฤษฎีทางวิศวกรรมแทบทุกสาขา รวมถึงงานจำลองระบบจริงบนคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่าการจำลองระบบ (Simulation)”

จากแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาสื่อสาธิตการสอน โดยการนำเทคโนโลยีดาต้าแอกควิซิชั่น (Data Acquisition) โปรแกรมแลบวิว และเว็บแคม (Webcam) มาประยุกต์ใช้ สร้างชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ที่มีความสามารถในการตรวจจับสัญญาณของวงจร ในที่เวลาจริง พร้อมทั้งแสดงผลร่วมกับเครื่องมือวัดแบบเสมือน โดยสามารถแสดงผลของสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงเปรียบเทียบกับสัญญาณในทางอุดมคติได้ และใช้กล้องเว็บแคมจับภาพเคลื่อนไหวขณะวัดสัญญาณ โดยออกแบบให้รวมเป็นชุดเดียวกัน ซึ่ง นอกจากช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้ายแล้ว ยังช่วยให้เกิดความสะดวกในการสาธิตการสอนอีกด้วย กล่าวคือสามารถแสดงจุดวัดและสัญญาณที่วัดได้ผ่านเครื่องโปรเจ็คเตอร์ ทำให้ผู้เรียนเห็นขั้นตอนการวัดและสัญญาณต่าง ๆ อย่างชัดเจน มีความเข้าใจในเนื้อหาได้ดีขึ้น และช่วยสร้างแรงจูงใจในการเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวที่มีคุณภาพ

1.2.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณ ขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ที่สร้างขึ้น มีคุณภาพในระดับดีขึ้นไป ($\overline{X} \geq 3.50$)

1.3.2 ความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ที่สร้างขึ้น จัดอยู่ในระดับมากขึ้นไป ($\overline{X} \geq 3.50$)

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้กรอบแนวคิด การสอนแบบปฏิบัติการ (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530 : 25 – 45) ซึ่งเป็นการศึกษาหาความรู้ด้วยวิธิการทดลองในสาขาต่างๆ โดยเฉพาะคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือและวัสดุ มาใช้ในการวิเคราะห์หาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง โดยได้นำแนวทางนี้มาดัดแปลงประยุกต์เป็นกรอบแนวคิดเพื่อใช้ในการวิจัยเพื่อหาคุณภาพและความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1.4.1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดสาธิตไปใช้ในการสอน

1.4.2 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์

1.4.3 สร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์

1.4.4 เขียนแบบและสร้างชุดสาธิต

1.4.5 เตรียมใบเนื้อหาการสอนหรือคู่มือการใช้งานชุดสาธิต

1.4.6 วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติ

1.4.7 การทดลองใช้

1.4.8 ปรับปรุงข้อมูล

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 13 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง

1.5.3 ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

ตัวแปรต้น คือ ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว และใบเนื้อหาการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

ตัวแปรตาม คือ คุณภาพ และความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

1.5.4 ขอบเขตของเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการศึกษาเป็นเนื้อหาที่เลือกจากปัญหาการเรียนการสอนในรายวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Engineering) รหัสวิชา 03376702 เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการทำวิจัย

เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงกำหนดความหมายต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

1.6.1 ชุดสาธิต หมายถึงชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว และการใช้งานเบื้องต้น ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพื่อใช้ในกระบวนการเรียนการสอนในรายวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Engineering) รหัสวิชา 03376702 ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยชุดสาธิตประกอบด้วย แผงทดลอง ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเอ็นไอมายแด็คที่ใช้งานร่วมกับโปรแกรมแลบวิว ใบเนื้อหาการสอนสำหรับใช้ร่วมกับการสาธิต และคู่มือการใช้งาน

1.6.2 แผงทดลอง หมายถึง ส่วนที่ใช้ในการสาธิตการทำงานของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

1.6.3 โปรแกรมแลบวิว หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ในเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

1.6.4 เอ็นไอมายแด็ค (NI myDAQ) หมายถึง ชุดอินเตอร์เฟสที่ใช้งานร่วมกับโปรแกรมแลบวิว ในการวัดสัญญาณบนชุดสาธิต โดยเอ็นไอมายแด็ค เปรียบเสมือนสื่อกลางในการติดต่อ รับ-ส่งข้อมูล จากชุดสาธิตไปยังโปรแกรมแลบวิว

1.6.5 คู่มือการใช้งาน หมายถึง คู่มือการใช้งานชุดสาธิตร่วมกับใบเนื้อหาการสอน

1.6.6 ใบเนื้อหาการสอน หมายถึง รายละเอียดเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กในรายวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Engineering) รหัสวิชา 03376702 ซึ่งออกแบบให้มีเนื้อหาโดยสรุปที่อธิบายสาระสำคัญเชื่อมโยงกับการทำงานและการวัดปริมาณสัญญาณต่างๆของวงจรทั้งด้านดีซีและเอซี จำนวน 5 เรื่องประกอบด้วย

1. ใบเนื้อหาการสอนที่ 1 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์
2. ใบเนื้อหาการสอนที่ 2 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

3. ใบเนื้อหาการสอนที่ 3 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

4. ใบเนื้อหาการสอนที่ 4 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

5. ใบเนื้อหาการสอนที่ 5 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

1.6.7 คุณภาพของชุดสาธิต หมายถึง ผลที่ได้จากการประเมินการพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

1.6.8 ผู้ทรงคุณวุฒิ หมายถึง ผู้ที่มีวุฒิการศึกษาด้านไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ ไม่ต่ำกว่าปริญญาตรี และมีประสบการณ์การทำงานด้านการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือการออกแบบระบบด้วยโปรแกรมแลบวิวไม่ต่ำกว่า 5 ปี

1.6.9 ความพึงพอใจ หมายถึง ความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว มี 4 ด้าน คือ ด้านการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต ด้านความรู้ความเข้าใจ ด้านการนำไปใช้ และด้านการนำเสนอและแสดงผล

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสถานศึกษาและสังเขปรายวิชา

2.2 เนื้อหาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์เรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

2.3 โปรแกรมแลบวิว

2.4 เอ็นไอมายแด็ค (NI myDAQ)

2.5 การสอนแบบสาธิตและประเภทของการสอนแบบสาธิต

2.6 หลักการออกแบบและการพัฒนาชุดสาธิต

2.7 การหาคุณภาพของชุดสาธิต

2.8 การหาความพึงพอใจของชุดสาธิต

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสถานศึกษาและสังเขปรายวิชา

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้เปิดทำการสอนทั้งหมด 3 ระดับ ประกอบด้วย ระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต และ ระดับปริญญาเอก หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต สำหรับการวิจัยนี้ จะเน้นในระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม 5 ปี สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2559) ในรายวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Engineering) รหัสวิชา 03376702 ซึ่งกำหนดให้ผู้เรียนต้องมีความรู้ ตามสังเขปรายวิชา มีรายละเอียดดังนี้

ผู้เรียนจะต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ สารกึ่งตัวนำ รอยต่อพีเอ็น สมการไดโอด และคุณสมบัติต่าง ๆ ของ ไดโอด โครงสร้างทางกายภาพ คุณสมบัติของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ และทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า (เฟท) การไบแอสและการวิเคราะห์วงจรที่ใช้อุปกรณ์ตัวเดียว วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก วงจรขยายหลายภาคและวงจรขยายผลต่าง วงจรผลตอบสนองความถี่ภาคเดียว วงจรขยายที่มีการป้อนกลับ เสถียรภาพและการชดเชยความถี่ ออปแอมป์และการใช้งาน

วงจรออสซิลเลเตอร์วงจรขยายกำลังและการระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และ แหล่งจ่ายกำลังไฟตรง (Theory in semi-conductor, p-n junction, diode equation, characteristics of diodes, physical structure, Bipolar Junction Transistor and FET characteristics, bias and an analysis of single stage bias, small signal amplifiers, multi-stage and differential amplifiers, single stage frequency response circuits, feedback amplifiers, stability and frequency compensation, operational amplifiers and applications, oscillator circuits, power amplifiers and temperature transfer and DC supplier.)

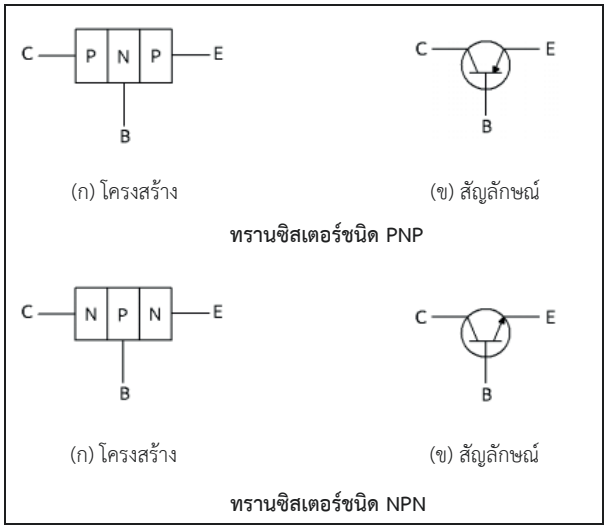
โดยผู้วิจัย ได้นำเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กมาทำการวิจัย ซึ่งเนื้อหาเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเป็นส่วนหนึ่งของวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Engineering) รหัสวิชา 03376702 ซึ่งใช้เวลาในการเรียนไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์ โดยแบ่งเป็นการเรียนแบบบรรยาย 3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และศึกษาด้วยตนเอง 6 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ รวมเป็น 9 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

2.2 เนื้อหาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์เรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ประเภทไบโพลาร์ (Bipolar) กล่าวคือ ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ทั้งประจุบวก (Hole) และประจุลบ (Electron) จึงใช้คำว่า Bi ซึ่งแปลว่า 2 และ Polar ซึ่งย่อมาจากคำว่า Polarity แปลว่าขั้ว การแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์ตามวัสดุที่ใช้สร้างสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ เยอรมาเนียมทรานซิสเตอร์ และซิลิกอนทรานซิสเตอร์

2.2.1 โครงสร้างและชนิดของทรานซิสเตอร์

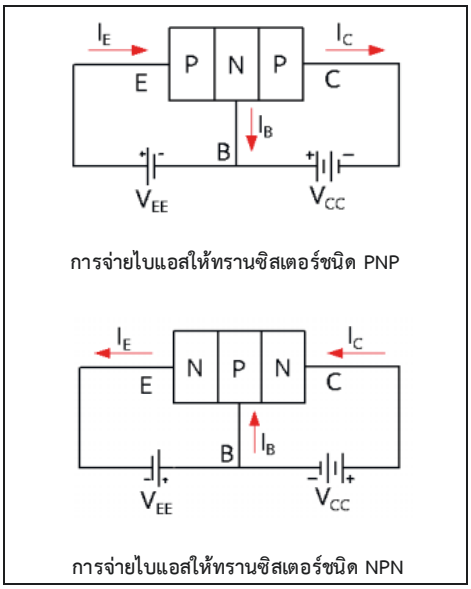
โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N เรียงติดกัน 3 ชั้น โดยชั้นกลางจะเป็นเนื้อสารต่างชนิดกับที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ทำให้สามารถบ่างทรานซิสเตอร์ตามโครงสร้างออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิด NPN และชนิด PNP โดยมีขาต่อใช้งาน 3 ขาคือ ขาอิมิตเตอร์ (Emitter : E) ขาเบส (Base : B) และขาคอลเลกเตอร์ (Collector : C) โดยทรานซิสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งาน มักถูกเรียกว่าทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ (Bipolar Junction Transistor : BJT) ซึ่งมีโครงสร้างและลักษณะดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ NPN

2.2.2 การจ่ายไบแอสให้ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์จะสามารถทำงานได้ขึ้นอยู่กับการจ่ายไบแอสเป็นสำคัญ โดยการจ่ายไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ มีวิธีการคือ จ่ายแรงดันไบแอสตรง (Forward Bias) ให้ขาอิมิตเตอร์ (E) และขาเบส (B) และจ่ายแรงดันไบแอสกลับ (Reverse Bias) ให้กับขาคอลเล็กเตอร์ (C) เทียบกับขาเบส (B) เมื่อต้องการให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน จะต้องจ่ายไบแอสพร้อมกันทั้งไบแอสตรงและไบแอสกลับ โดยแสดงวิธีการไบแอสดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การจ่ายไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ NPN

จากการจ่ายแรงดันไบแอสดังกล่าว ค่าแรงดันที่จ่ายไบแอสตรงให้ขา E และขา B คือแรงดัน V_{EE} และแรงดันที่จ่ายไบแอสกลับให้กับขา B และ C คือแรงดัน V_{CC} ซึ่งจะมีค่ามากกว่าแรงดัน V_{EE} ($V_{EE} > V_{CC}$) ส่งผลให้เกิดกระแสไหลในตัวทรานซิสเตอร์ดังนี้

กระแสที่ไหลที่ขา E คือ I_E เป็นกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์

กระแสที่ไหลที่ขา C คือ I_C มีค่าประมาณ 95 – 98 % ของกระแส I_E

กระแสที่ไหลที่ขา B คือ I_B มีค่าประมาณ 2 – 5 % ของกระแส I_E

ดังนั้น เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของกระแสได้ว่า $I_E = I_B + I_C$

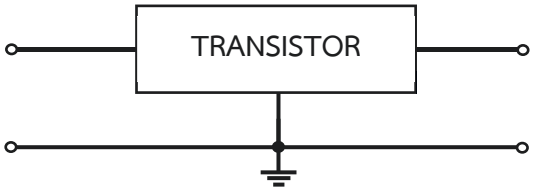
แรงดันระหว่างขา B และขา E คือ V_{BE} แรงดันระหว่างขา B และขา C คือ V_{BC} แรงดันระหว่างขา C และขา E คือ V_{CE} (เป็นแรงดันที่ตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ทั้งหมด) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันทั้ง 3 ของทรานซิสเตอร์เป็น $V_{CE} = V_{BC} + V_{BE}$

โดยที่แรงดัน V_{BE} เป็นแรงดันตกคร่อมระหว่างขา B และขา E โดยมีค่าประมาณ 0.6 – 0.7 V เมื่อเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดซิลิกอน และมีค่าประมาณ 0.2 – 0.3 V เมื่อเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดเยอรมันเนียม

2.2.3 การจัดวงจรพื้นฐานของทรานซิสเตอร์

เมื่อนำทรานซิสเตอร์มาใช้งาน จะต้องจ่ายไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์อย่างถูกวิธี เพื่อให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านทรานซิสเตอร์ได้ โดยด้านอินพุตของทรานซิสเตอร์จะต้องจ่ายไบแอสตรง ส่งผลทำให้ความต้านทานบริเวณรอยต่อของสาร P และ N มีค่าน้อยลง เมื่อจ่ายไบแอสเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล และเมื่อปรับเปลี่ยนระดับแรงดันอินพุตเพียงเล็กน้อย ก็ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนทางด้านเอาต์พุต จะจ่ายไบแอสกลับ ส่งผลให้ค่าความต้านทานระหว่างสาร P กับสาร N มีค่าเพิ่มมากขึ้น จึงต้องจ่ายไบแอสกลับให้มีค่าสูง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เนื่องจากค่าแรงดันไบแอสกลับทางด้านเอาต์พุตมีค่ามาก จึงเกิดแรงดัน ตกคร่อมที่โหลดมาก นั่นคือสัญญาณถูกขยายออกทางเอาต์พุต

การจัดวงจรใช้งานของทรานซิสเตอร์ จะต้องมีอินพุต 2 ขั้ว และเอาต์พุต 2 ขั้ว ทำให้ต้องจัดขาของทรานซิสเตอร์ขาใดขาหนึ่งเป็นจุดร่วม (Common) ดังภาพที่ 2.3

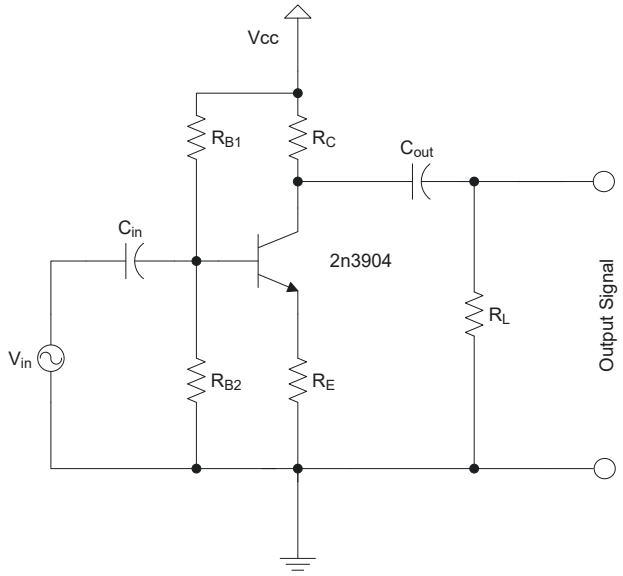


ภาพที่ 2.3 การต่อวงจรโดยใช้จุดร่วม

การต่อจุดร่วม (Common) สามารถจัดได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

1. วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter)
2. วงจรเบสร่วม (Common Base)
3. วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common Collector)

2.2.4 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ เป็นวงจรที่มีขาอิมิตเตอร์ (E) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาเบส (B) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรอิมิตเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

วงจรอิมิตเตอร์ร่วมเป็นวงจรที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะให้อัตราขยายสัญญาณดี ทั้งขยายแรงดันและขยายกระแส นิยมนำไปใช้งานเป็นวงจรขยายเสียง วงจรขยายความถี่วิทยุ วงจรขยายความถี่ปานกลาง วงจรขยายภาคแรก และวงจรขยายกำลัง เป็นต้น

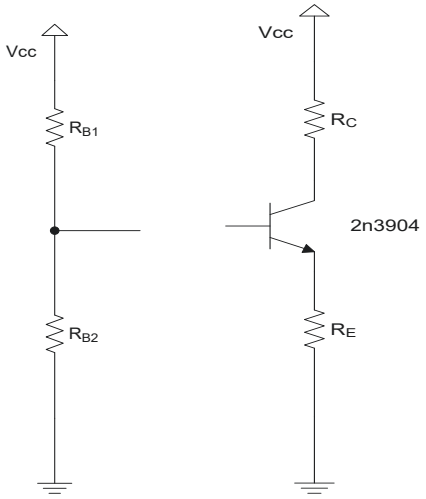
สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวงจรนั้น จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ทางด้านดีซี และการวิเคราะห์ทางด้านเอซี มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ทางด้านดีซี

    1.1 ปลดแหล่งจ่ายสัญญาณเอซี

    1.2 เปิดตัวเก็บประจุทุกตัว เนื่องจากความต้านทานเชิงความจุ (X_C) มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2\pi fC}$ ส่งผลให้มีค่าความต้านทานเชิงความจุมาก เสมือนว่าถูกเปิดวงจร

1.3 วิเคราะห์วงจรเพื่อหาจุดทำงานของทรานซิสเตอร์โดยใช้ทฤษฎีของเทวินิน ช่วยในการวิเคราะห์วงจรหา V_{th} และ R_{th} ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงการปลดโหลดจากวงจร

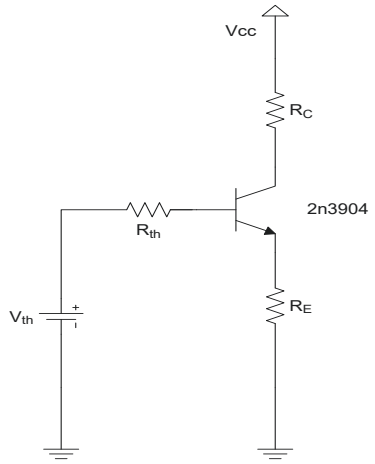
1.3.1 หา V_{th} จาก V_{RB2}

$$V_{th} = V_{RB2} = \frac{V_{CC} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad (2.1)$$

1.3.2 หา R_{th} โดยการลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง และหาความต้านทาน ณ ตำแหน่งที่ปลดโหลด

$$R_{th} = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad (2.2)$$

1.3.3 เขียนวงจรสมมูลเทวินิน และนำโหลดกลับเข้ามาต่อเพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของวงจร ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 วงจรสมมูลเทวินิน

1.3.4 ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์นั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนอินพุต และเอาต์พุต พิจารณาที่ลูปอินพุต (Input Loop) เพื่อหาค่า I_{BQ} และ ค่า I_{CQ}

จากทฤษฎี KVL

$$I_{BQ} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta)R_E} \tag{2.3}$$

และ

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \tag{2.4}$$

พิจารณาที่ลูปเอาต์พุต (Output Loop) เพื่อหาค่า V_{CEQ}

จากทฤษฎี KVL

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C - (I_{BQ} + I_{CQ})R_E \tag{2.5}$$

1.3.5 ตรวจสอบสถานะการทำงานของทรานซิสเตอร์ ได้โดยการเปรียบเทียบค่า V_{CEQ}

โดย $V_{CEQ} < 0.2$; Saturation

$V_{CEQ} > 0.2$; Active

2. การวิเคราะห์ทางด้านเอซี

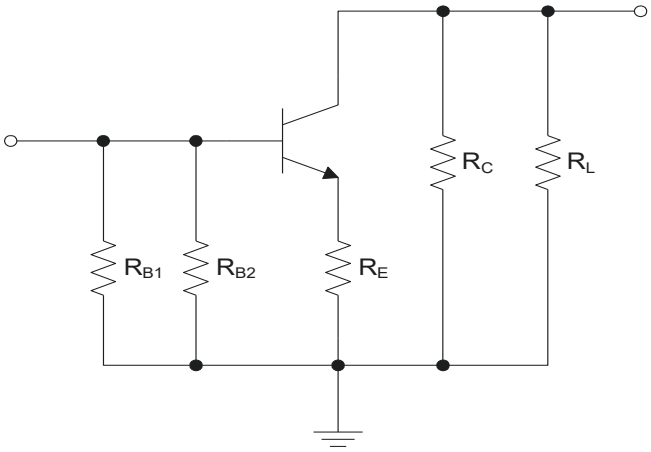
2.1 หาค่า r_π จาก (กำหนดให้ V_T มีค่าเท่ากับ 26 mV)

$$r_{\pi} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}} \tag{2.6}$$

2.2 ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซี

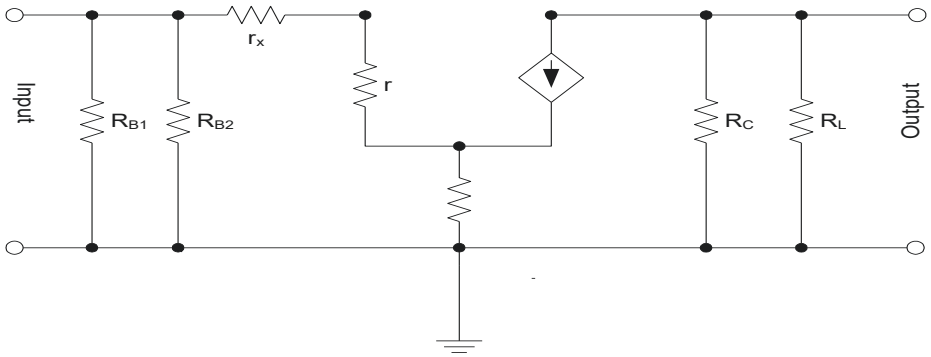
2.3 ลัดวงจรตัวเก็บประจุทุกตัว เนื่องจากความเหนี่ยวนำเชิงความจุ (X_C) มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2\pi fC}$ ถ้าพิจารณาที่สมการจะเห็นว่าที่ความถี่สูงค่า X_C จะมีค่าน้อยมาก ส่งผลให้สามารถพิจารณาเสมือนว่าตัวเก็บประจุลัดวงจรได้

2.4 เขียนวงจรเสมือนเอซีได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

2.5 เขียนวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

2.6 วิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวงจรนั่นคือ ความต้านทานอินพุต อัตราขยายแรงดัน อัตราขยายกระแส และความต้านทานเอาต์พุต (กำหนดให้ r_x มีค่าเท่ากับ 0)

2.6.1 หาความต้านทานอินพุต (R_i)

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [(r_x + r_\pi) + (\beta + 1)] \quad (2.7)$$

2.6.2 หาอัตราขยายแรงดัน (A_V)

$$A_v = \frac{-\beta(R_C // R_L)}{r_x + r_\pi + (\beta + 1)R_E} \quad (2.8)$$

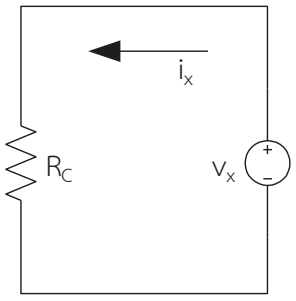
2.6.3 หาอัตราขยายกระแส (A_i)

$$A_i = A_v x \frac{R_i}{R_L} \quad (2.9)$$

2.6.4 หาความต้านทานเอาต์พุต (R_o) โดยมีขั้นตอนในการหาดังนี้

(1) ลัดวงจรแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุต

(2) ปลดโหลดแล้วแทนด้วย V_X พร้อมทั้งกำหนดทิศทางกระแส i_X แสดงได้ ดังภาพที่ 2.9



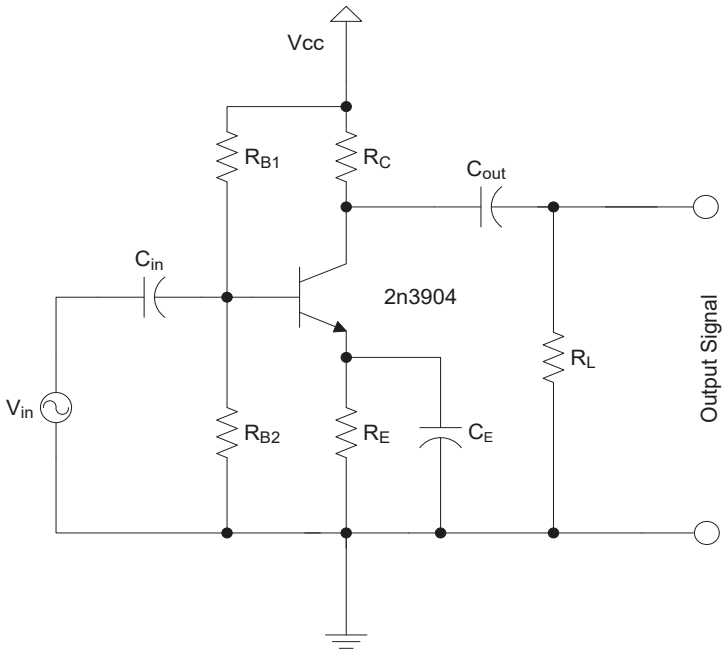
ภาพที่ 2.9 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต

(3) หา $R_o = \frac{V_x}{i_x}$ โดยกำหนดให้ $V_i = 0$

$$R_o = R_C \quad (2.10)$$

2.2.5 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ เป็นวงจรที่มีลักษณะคล้ายกับวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ แต่เพิ่ม C_E ขนานกับ R_E แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

1. การวิเคราะห์ทางด้านดีซีให้วิเคราะห์เหมือนกับวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

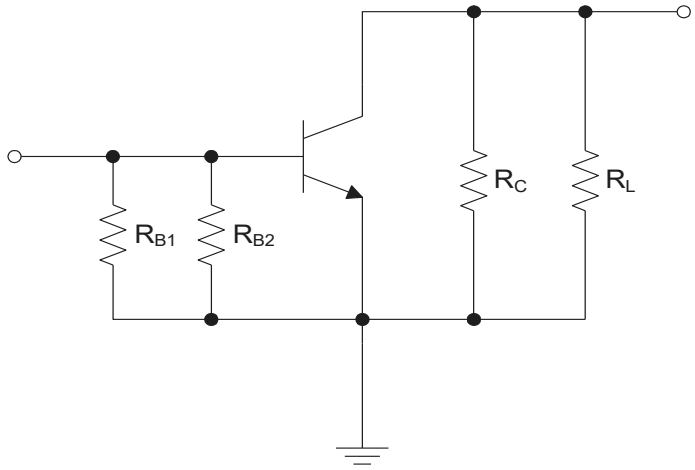
2. การวิเคราะห์ทางด้านเอซี

2.1 หาค่า r_π โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.6)

2.2 ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซี

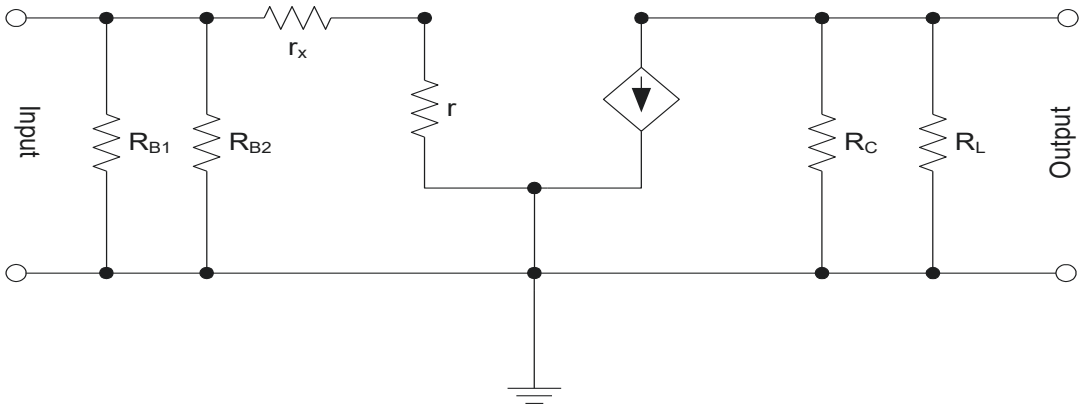
2.3 ลัดวงจรตัวเก็บประจุทุกตัว เนื่องจากความเหนี่ยวนำเชิงความจุ (X_C) มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2\pi fC}$ ถ้าพิจารณาที่สมการจะเห็นว่าที่ความถี่สูง ค่า X_C จะมีค่าน้อยมากส่งผลให้สามารถพิจารณาเสมือนว่าตัวเก็บประจุลัดวงจรได้

2.4 เขียนวงจรเสมือนเอซีดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

2.5 เขียนวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

2.6 วิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวงจรนั่นคือ ความต้านทานอินพุต อัตราขยายแรงดัน อัตราขยายกระแสและความต้านทานเอาต์พุต (กำหนดให้ rXมีค่าเท่ากับ 0)

2.6.1 หาความต้านทานอินพุต (R_i)

$$R_i = R_{B1} \,//\, R_{B2} \,//\, (r_x + r_\pi) \qquad (2.11)$$

2.6.2 หาอัตราขยายแรงดัน (A_V)

$$A_v = \frac{-\beta(R_C \,//\, R_L)}{r_x + r_\pi} \tag{2.12}$$

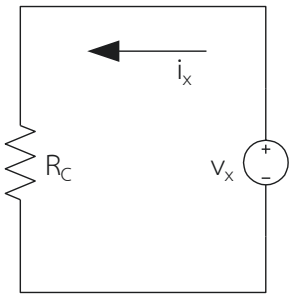
2.6.3 หาอัตราขยายกระแส (A_i)

$$A_i = A_v x \frac{R_i}{R_L} \tag{2.13}$$

2.6.4 หาความต้านทานเอาต์พุต (R_O) โดยมีขั้นตอนในการหาดังนี้

(1) ลัดวงจรแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุต

(2) ปลดโหลดแล้วแทนด้วย V_X พร้อมทั้งกำหนดทิศทางกระแส i_X แสดงได้ดังภาพที่ 2.13



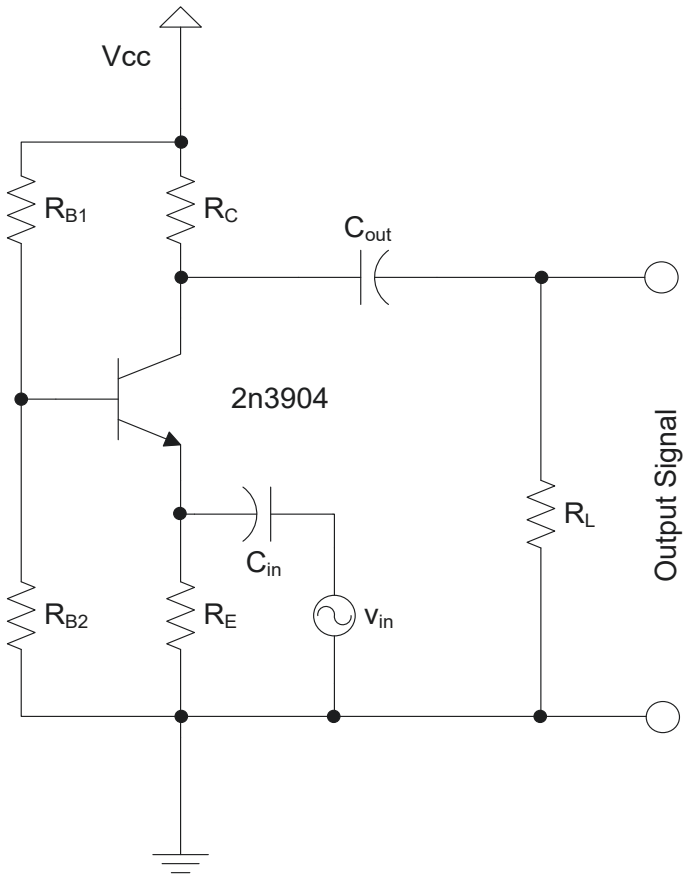
ภาพที่ 2.13 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต

(3) หา $R_o = \frac{V_x}{i_x}$ โดยกำหนดให้ $V_i = 0$

$$R_o = R_C \tag{2.14}$$

2.2.6 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส เป็นวงจรที่มีขาเบส (B) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาอิมิตเตอร์ (E) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรเบสร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

1. การวิเคราะห์ทางด้านดีซีให้วิเคราะห์เหมือนกับวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

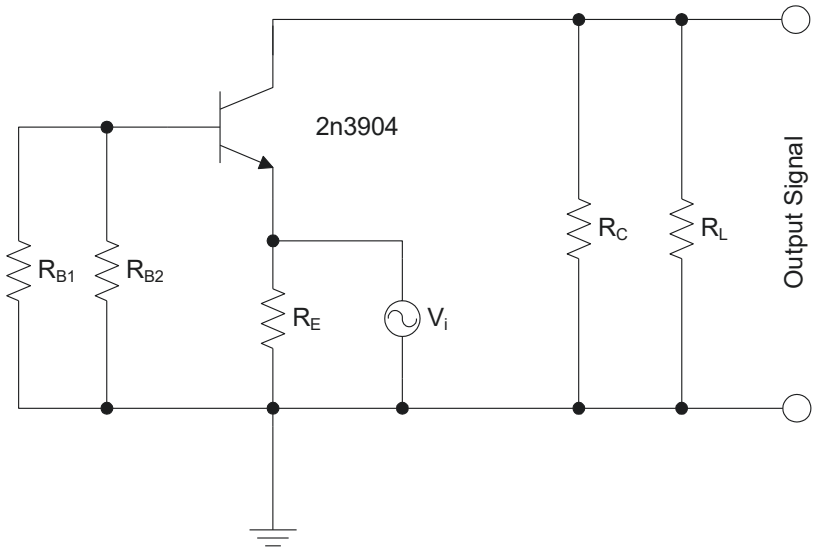
2. การวิเคราะห์ทางด้านเอซี

2.1 หาค่า r_π โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.6)

2.2 ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซี

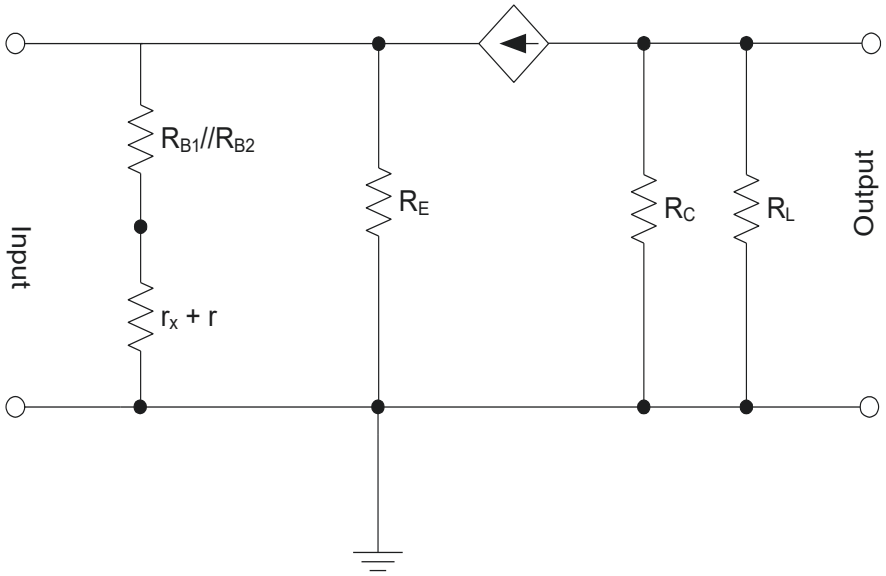
2.3 ลัดวงจรตัวเก็บประจุทุกตัว เนื่องจากความเหนี่ยวนำเชิงความจุ (X_C) มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2\pi fC}$ ถ้าพิจารณาที่สมการจะเห็นว่าที่ความถี่สูง ค่า X_C จะมีค่าน้อยมากส่งผลให้สามารถพิจารณาเสมือนว่าตัวเก็บประจุลัดวงจรได้

2.4 เขียนวงจรเสมือนเอซีดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

2.5 เขียนวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

2.6 วิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวงจรนั่นคือ ความต้านทานอินพุต อัตราขยายแรงดัน อัตราขยายกระแส และความต้านทานเอาต์พุต (กำหนดให้ r_Xมีค่าเท่ากับ 0)

2.6.1 หาความต้านทานอินพุต (R_i)

$$R_i = R_E \,//\left[\frac{\left(r_x + r_\pi\right)+\left(R_{B1}\,//\,R_{B2}\right)}{\left(\beta+1\right)}\right] \tag{2.15}$$

2.6.2 หาอัตราขยายแรงดัน (A_V)

$$A_v = \frac{-\beta\left(R_C\,//\,R_L\right)}{r_x + r_\pi + \left(R_{B1}\,//\,R_{B2}\right)} \tag{2.16}$$

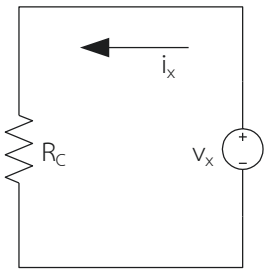
2.6.3 หาอัตราขยายกระแส (A_i)

$$A_i = A_v x \frac{R_i}{R_L} \tag{2.17}$$

2.6.4 หาความต้านทานเอาต์พุต (R_o) โดยมีขั้นตอนในการหาดังนี้

(1) ลัดวงจรแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุต

(2) ปลดโหลดแล้วแทนด้วย V_X พร้อมทั้งกำหนดทิศทางกระแส i_X แสดงได้ดังภาพที่ 2.17

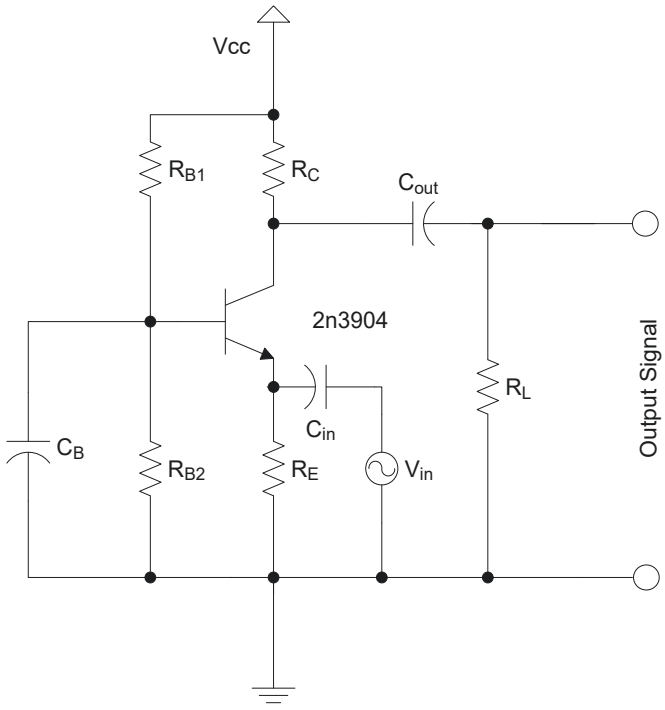


ภาพที่ 2.17 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต

(3) หา $R_o = \frac{V_x}{i_x}$ โดยกำหนดให้ $V_i = 0$

$$R_o = R_C \tag{2.18}$$

2.2.7 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส เป็นวงจรที่มีขาเบส (B) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาอิมิตเตอร์ (E) มีขาเอาต์พุตออกทางขา คอลเลคเตอร์ (C) วงจรเบสร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

1. การวิเคราะห์ทางด้านดีซีให้วิเคราะห์เหมือนกับวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

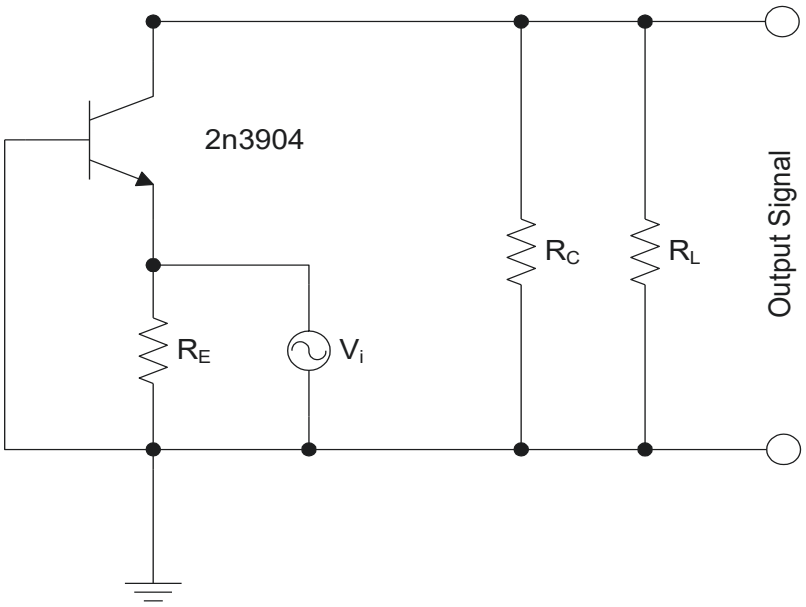
2. การวิเคราะห์ทางด้านเอซี

2.1 หาค่า r_π โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.6)

2.2 ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซี

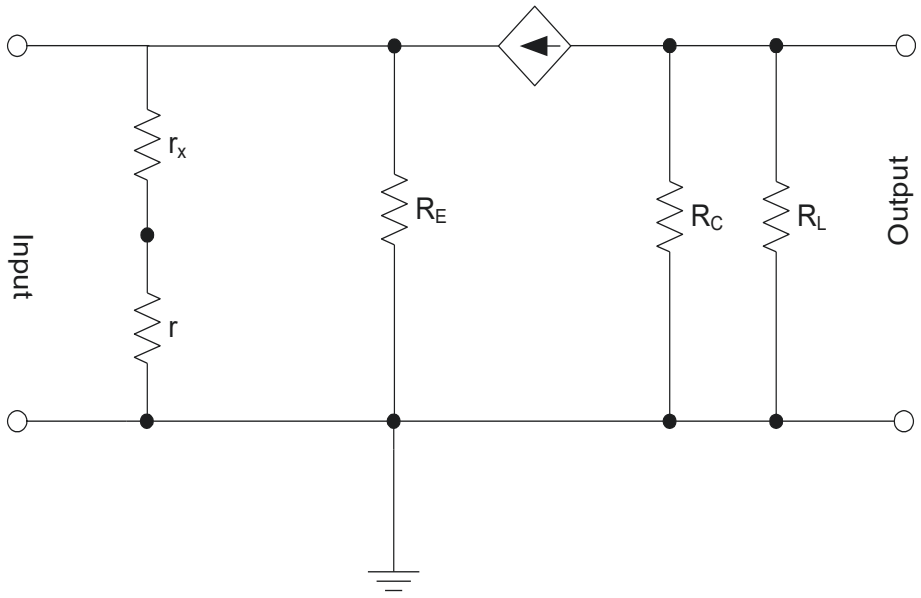
2.3 ลัดวงจรตัวเก็บประจุทุกตัว เนื่องจากความเหนี่ยวนำเชิงความจุ (X_C) มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2\pi fC}$ ถ้าพิจารณาที่สมการจะเห็นว่าที่ความถี่สูง ค่า X_C จะมีค่าน้อยมากส่งผลให้สามารถพิจารณาเสมือนว่าตัวเก็บประจุลัดวงจรได้

2.4 เขียนวงจรเสมือนเอซีดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

2.5 เขียนวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กวงจรเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

2.6 วิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวงจรนั่นคือ ความต้านทานอินพุต อัตราขยายแรงดัน อัตราขยายกระแส และความต้านทานเอาต์พุต (กำหนดให้ r_X มีค่าเท่ากับ 0)

2.6.1 หาความต้านทานอินพุต (R_i)

$$R_i = R_E \,//\left[\frac{(r_x + r_\pi)}{(\beta + 1)}\right] \tag{2.19}$$

2.6.2 หาอัตราขยายแรงดัน (A_V)

$$A_v = \frac{-\beta(R_C \,//\, R_L)}{r_x + r_\pi} \tag{2.20}$$

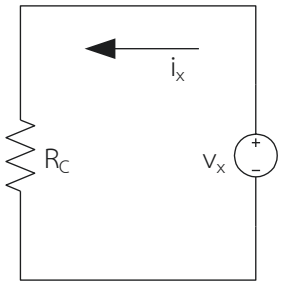
2.6.3 หาอัตราขยายกระแส (A_i)

$$A_i = A_v x \frac{R_i}{R_L} \tag{2.21}$$

2.6.4 หาความต้านทานเอาต์พุต (R_o) โดยมีขั้นตอนในการหาดังนี้

(1) ลัดวงจรแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุต

(2) ปลดโหลดแล้วแทนด้วย V_X พร้อมทั้งกำหนดทิศทางกระแส i_X แสดงได้ดังภาพที่ 2.21



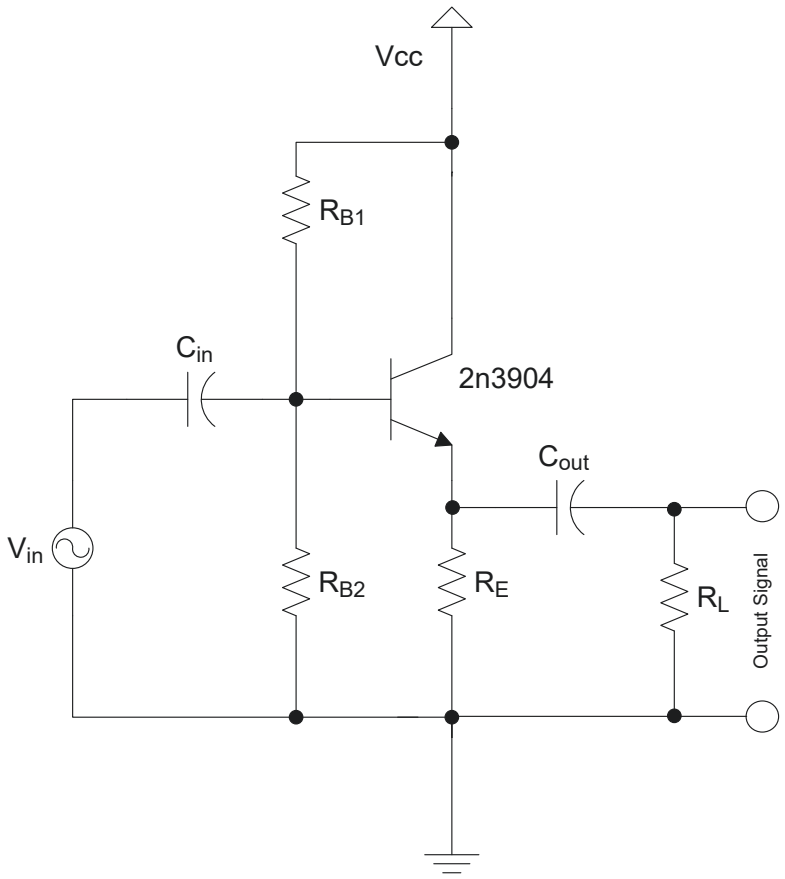
ภาพที่ 2.21 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต

(3) หา $R_o = \frac{V_x}{i_x}$ โดยกำหนดให้ $V_i = 0$

$$R_o = R_C \tag{2.22}$$

2.2.8 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม เป็นวงจรที่มีขาคอลเลคเตอร์ (C) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาเบส (B) มีขาเอาต์พุตออกทางขาอิมิตเตอร์ (E) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

1. การวิเคราะห์ทางด้านดีซีให้วิเคราะห์เหมือนกับวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

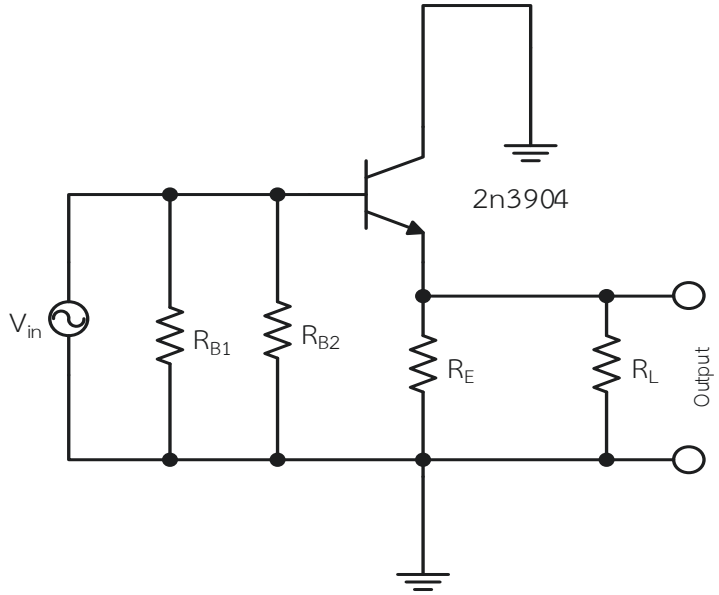
2. การวิเคราะห์ทางด้านเอซี

2.1 หาค่า r_π โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.6)

2.2 ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซี

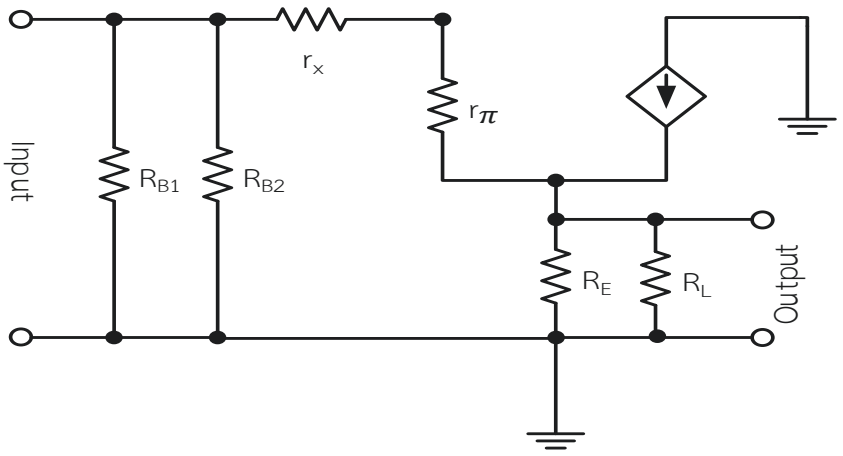
2.3 ลัดวงจรตัวเก็บประจุทุกตัว เนื่องจากความเหนี่ยวนำเชิงความจุ (X_C) มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2\pi fC}$ ถ้าพิจารณาที่สมการจะเห็นว่าที่ความถี่สูง ค่า X_C จะมีค่าน้อยมากส่งผลให้สามารถพิจารณาเสมือนว่าตัวเก็บประจุลัดวงจรได้

2.4 เขียนวงจรเสมือนเอซีดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 วงจรเสมือนเอซีของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

2.5 เขียนวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

2.6 วิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวงจรนั่นคือ ความต้านทานอินพุต อัตราขยายแรงดัน อัตราขยายกระแส และความต้านทานเอาต์พุต (กำหนดให้ r_X มีค่าเท่ากับ 0)

2.6.1 หาความต้านทานอินพุต (R_i)

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // \left[\left(r_x + r_\pi \right) + \left(\beta + 1 \right) \left(R_E // R_L \right) \right] \quad (2.23)$$

2.6.2 หาอัตราขยายแรงดัน (A_V)

$$A_v = \frac{i_b \left[\left(\beta + 1 \right) \left(R_E // R_L \right) \right]}{i_b \left[\left(r_x + r_\pi \right) + \left(\beta + 1 \right) \left(R_E // R_L \right) \right]} \quad (2.24)$$

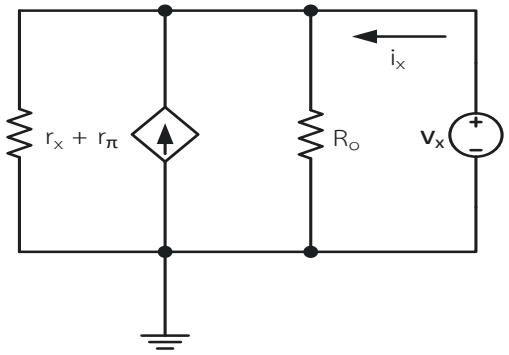
2.6.3 หาอัตราขยายกระแส (A_i)

$$A_i = A_v x \frac{R_i}{R_L} \quad (2.25)$$

2.6.4 หาความต้านทานเอาต์พุต (R_o) โดยมีขั้นตอนในการหาดังนี้

(1) ลัดวงจรแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุต

(2) ปลดโหลดแล้วแทนด้วย V_X พร้อมทั้งกำหนดทิศทางกระแส i_X ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.25 วงจรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานเอาต์พุต

(3) หา $R_o = \frac{V_x}{i_x}$ โดยกำหนดให้ $V_i = 0$

$$R_o = R_E // \left[\frac{\left(r_x + r_\pi \right)}{\left(\beta + 1 \right)} \right] \quad (2.26)$$

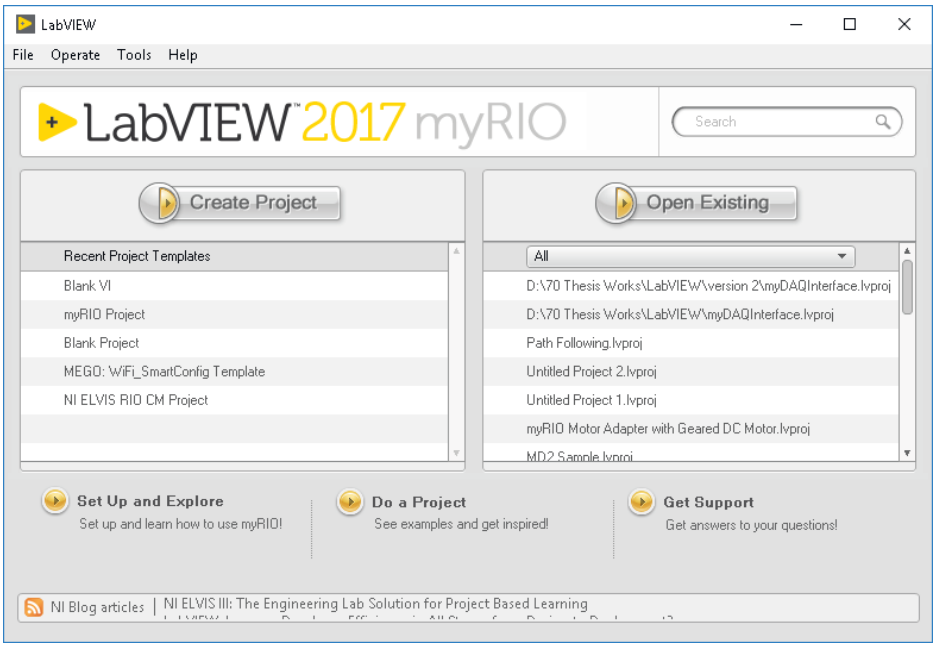
2.3 โปรแกรมแลบวิว

2.3.1 โปรแกรมแลบวิว (LabVIEW)

โปรแกรมแลบวิว (LabVIEW) ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมแลบวิว จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือ เรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังตัวอย่างจากภาพที่ 2.26 แสดงออสซิลโลสโคป ที่ได้สร้างขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมแลบวิว

ภาพที่ 2.26 ตัวอย่างเครื่องมือวัดเสมือนที่สร้างจาก LabVIEW

โปรแกรมแลบวิว มีจุดกำเนิดขึ้นในปี ค.ศ. 1983 โดยบริษัทเนชั่นแนลอินสทรูเม้นทส์ ได้ค้นคว้าและพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อหาวิธีลดเวลาในการเขียนโปรแกรม สำหรับนำไปใช้งานด้านระบบเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นจุดเริ่มของแนวความคิดการสร้าง โปรแกรมแลบวิว โดยบริษัทได้พัฒนาโปรแกรมให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ตามรูปแบบของระบบปฏิบัติการที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น โปรแกรมแลบวิวสำหรับระบบปฏิบัติการ Windows NT Windows 95 รวมถึงการพัฒนาโปรแกรมแลบวิวในเวอร์ชันใหม่อย่างต่อเนื่อง เพื่อจัดระบบและรูปแบบการเขียนโปรแกรมให้สะดวกมากขึ้น ตลอดจนสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย พร้อมทั้งสร้างฟังก์ชันต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้ยังสร้างโปรแกรมที่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการอื่นที่ไม่ได้เขียนบนระบบปฏิบัติการนั้นได้ สำหรับงานวิจัยจะใช้โปรแกรม LabVIEW 2017 แสดงหน้าต่างโปรแกรม LabVIEW 2017 ดังภาพที่ 2.27



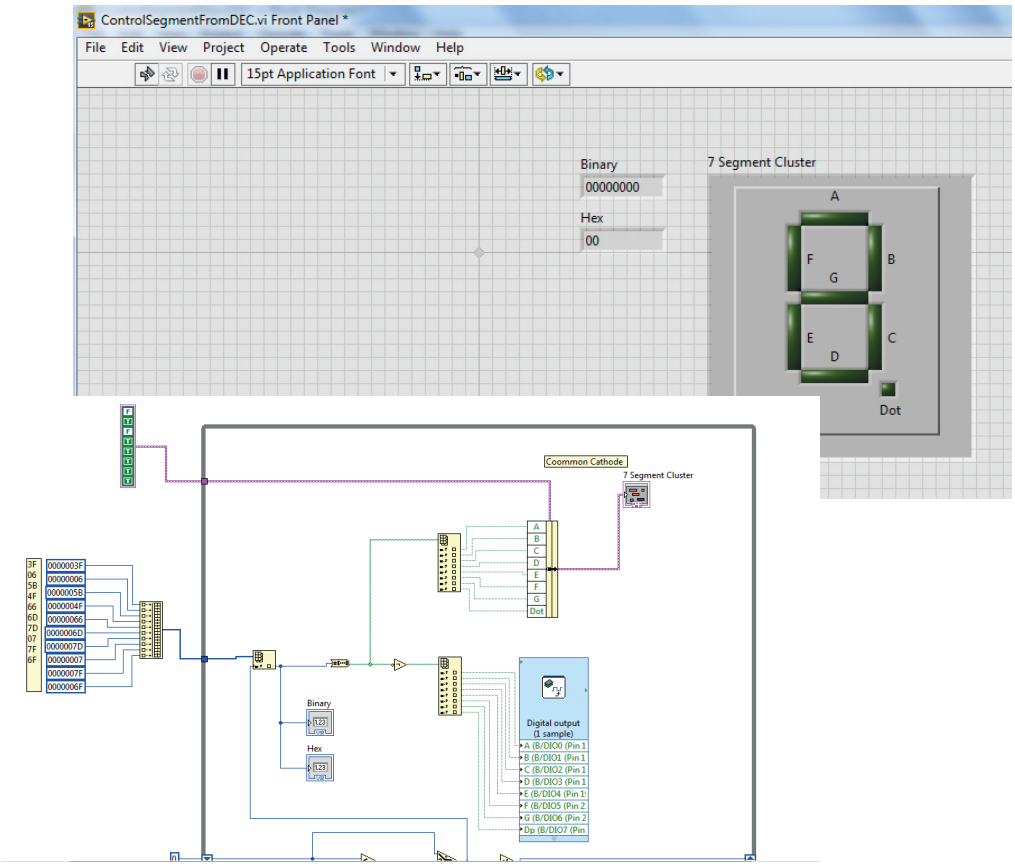
ภาพที่ 2.27 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW 2017

โปรแกรมแลบวิว เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นมา เพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเป็นเครื่องมือวัด สำหรับงานทางด้านวิศวกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกนำมาสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักในการทำงานของโปรแกรมคือ การจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโปรแกรม ประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวัดหลากหลายฟังก์ชันเช่น ฟังก์ชันทางด้านคณิตศาสตร์ ฟังก์ชันทางด้านตรรกศาสตร์ และฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการประมวลสัญญาณ เป็นต้น

สิ่งที่โปรแกรมแลบวิว แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุด คือ โปรแกรมแลบวิวเป็นโปรแกรมประเภท GUI โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ด (Code) หรือคำสั่งใดๆทั้งสิ้น โดยภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมแลบวิว เรียกว่าภาษารูปภาพ หรือภาษา G (Graphical Language) ซึ่งใช้แทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่คุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพและสัญลักษณ์ทั้งหมด

โปรแกรมแลบวิว เป็นโปรแกรมที่มีความสะดวก สามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เซนเซอร์ (Sensor) แอคทูเอเตอร์ (Actuator) หรือเครื่องมือในการประมวลผลสัญญาณ เช่น ฟังก์ชันเจนเนอร์-เรเตอร์ (Function Generator) ออสซิลโลสโคป (Oscillocope) สำหรับใช้ในการวัดและการควบคุม ด้วยการออกแบบให้มีความง่ายในการเขียนโปรแกรมและมีฟังก์ชันที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวัดทางวิศวกรรมให้มากที่สุด ดังนั้น คงไม่ผิดนัก สำหรับผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์สูงสุดจากโปรแกรมแลบวิว กล่าวคือ ผู้ที่ต้องการนำข้อมูลจากภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์

เข้ามาภายในเครื่อง เพื่อทำการการวิเคราะห์ข้อมูลประมวลค่า ตลอดจนนำข้อมูลมาแสดงผล และในหลายกรณี ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อได้เปรียบสูงสุดของโปรแกรมแลบวิว คือ การพยายามทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่เมื่อรวมกับโปรแกรมแลบวิว และอุปกรณ์เชื่อมต่อ เพื่อการเก็บข้อมูล (Data Acquisition Card) แล้ว สามารถเปลี่ยนให้กลายเป็นเครื่องมือวัดในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น ออสซิลโลสโคป ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multi Meter : DMM) สเตรนมิเตอร์ (Strain Meter) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างเครื่องมือวัด ได้หลากหลาย และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นที่มาของ เครื่องมือวัดเสมือนจริงหรือเรียกอย่างง่ายว่า VI (Virtual Instrument) และข้อได้เปรียบเหนือการใช้อุปกรณ์จริงเหล่านั้น คือ สามารถปรับเปลี่ยน VI ให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้แต่ละกลุ่มได้ตามความต้องการ โดยแสดงตัวอย่างหน้าจอการเขียนโปรแกรมและแผงหน้าปัด (Front panel) ได้ดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 หน้าจอการเขียนโปรแกรมและแผงหน้าปัด

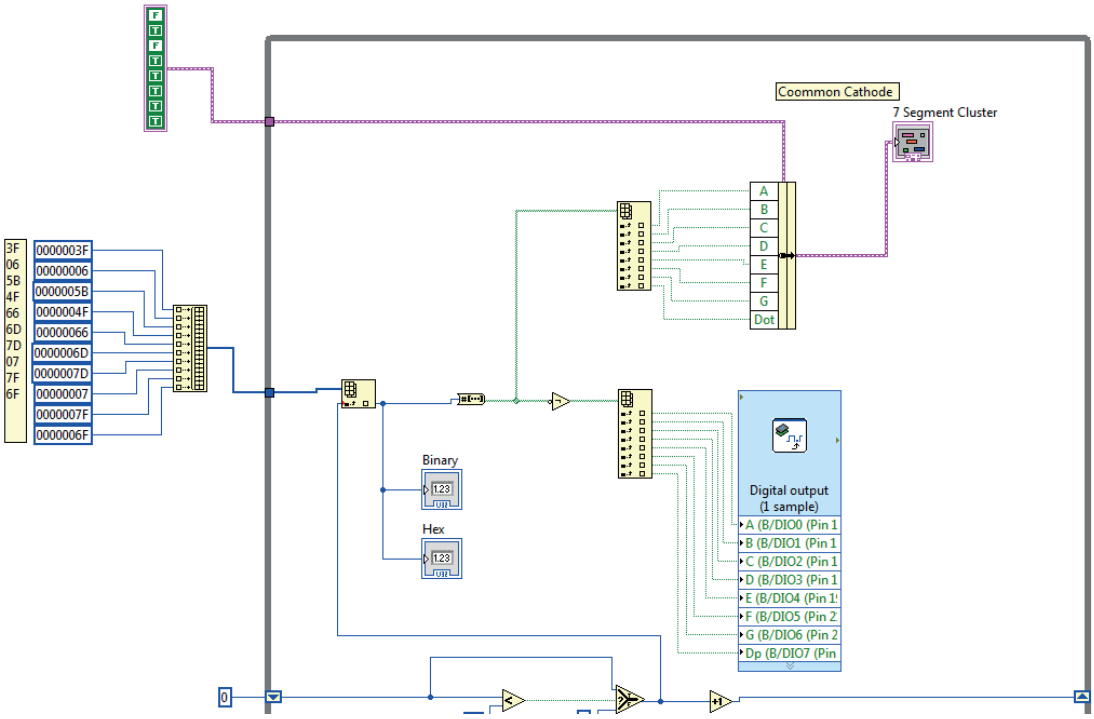
ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวัด คือ สามารถใช้งานเป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger) และ PLC (Programmable Logical Controller) ได้พร้อมกัน

ซึ่งโดยปกติระบบควบคุมมักจะมีปัญหาคือ ไม่มีเครื่องมือวัดเสมือนจริงขั้นพื้นฐาน และถึงแม้จะสามารถเก็บข้อมูลได้ แต่การสั่งการ เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ชนิดอื่น จะมีความยุ่งยากในการสั่งการมากกว่าสำหรับผู้ที่เคยใช้โปรแกรมประเภทที่ใช้ตัวหนังสือหรือที่เรียกว่า Text Base คงทราบถึงความยุ่งยากในการจัดการกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูล ตามอุปกรณ์เชื่อมต่อเช่น พอร์ต (Port) หรือการ์ด (Card) ต่าง ๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำ เพื่อที่จะสามารถเก็บข้อมูล หรือรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งปัญหาดังกล่าว ได้รับการแก้ไขด้วยโปรแกรมแลบวิว โดยมีการบรรจุไลบรารี่ (Libraries) จำนวนมากสำหรับจัดการกับปัญหาเหล่านั้น ไม่ว่าอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ GPIB (General Purpose Interface Bus) หรือก่อนหน้านี้รู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus (HP-IB) และพอร์ตอนุกรม (Serial Port) เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instruments) รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ นอกจากนี้ ในไลบรารี่เหล่านั้นยังได้บรรจุฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญอีกหลายประการเช่น Signal Generation Signal Processing Filters สถิติ พีชคณิต และฟังก์ชันที่รองรับกระบวนการทางคณิตศาสตร์อื่นๆ ทำให้สะดวกต่อการใช้งานโปรแกรมแลบวิวมากยิ่งขึ้น

2.3.2 Data Flow and Programming

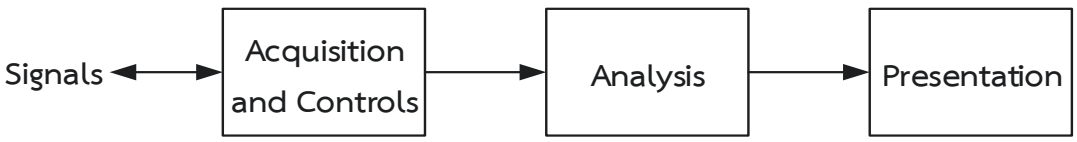
เนื่องจากโปรแกรมแลบวิว เป็นโปรแกรมที่ใช้รูปภาพหรือสัญลักษณ์ (ภาษา G) แทนการเขียนด้วยตัวอักษร ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถลดความผิดพลาดด้านการสะกดคำผิดหรือพิมพ์ผิดได้ และข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งที่สำคัญของการเขียนโปรแกรมภาษา G กับการเขียนโปรแกรมด้วยตัวหนังสือคือการเขียนด้วยภาษา G นี้เป็นการเขียนโดยใช้หลักการการไหลของข้อมูล (Data Flow) ซึ่งเมื่อเริ่มส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม จะต้องกำหนดทิศทางไหลของข้อมูลว่าจะไปที่ส่วนใด ผ่านการประมวลผลและคำนวณในส่วนใดบ้าง และจะให้แสดงผลอย่างไร ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเขียนบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ส่งผลให้สามารถพัฒนาโปรแกรมได้โดยไม่ต้องจดจำรูปแบบคำสั่งที่ยุ่งยาก เนื่องจากการเขียนขั้นตอนการทำงาน แบบบล็อกไดอะแกรม เป็นสิ่งที่วิศวกรส่วนใหญ่มีความคุ้นเคยอยู่แล้วจึงเป็นการง่ายที่จะทำความเข้าใจ และนำโปรแกรมแลบวิวไปพัฒนาเพื่อการประยุกต์ใช้งานได้ง่าย และหากจำได้ถึงขั้นตอนการเขียนโปรแกรมว่า ก่อนที่จะเขียนโปรแกรมจะต้องเขียนโฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ให้เสร็จสิ้นก่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมแลบวิวถือได้ว่าเป็นโปรแกรมที่ตอบโจทย์ลักษณะการทำงานแบบนี้ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกมากขึ้น เพราะการเขียนโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมแลบวิว เปรียบได้กับการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนการทำงานลงไปได้เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการเขียนโปรแกรมในโปรแกรมแลบวิว ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมใดๆ มาก่อนเลย แต่การมีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมหรือใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆ มาก่อน จะสามารถทำให้พัฒนาโปรแกรมแลบวิวได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

โปรแกรมแลบวิวจะมีแผงหน้าปัด ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นและควบคุมการทำงานได้ โดยผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็ว เพราะโปรแกรมแลบวิวมีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ สำหรับออกแบบแผงหน้าปัดมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออพิโลลโครบ ปุ่มหมุน (Dial) และสวิทช์ (Switch) เป็นต้น โดยโปรแกรมแลบวิว จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่าบล็อกไดอะแกรม เปรียบเสมือนกับฮาร์ดแวร์ (Hardware) ภายใน ของเครื่องมือวัด ตัวอย่างของบล็อกไดอะแกรมแสดงได้ดังภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมแลบวิว

โปรแกรมแลบวิว อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบตามที่ ผู้ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ แสดงดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม

จากภาพที่ 2.30 อธิบายองค์ประกอบของส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ส่วนที่รับข้อมูล (Acquisition) ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูลเข้า (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ซึ่งในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบ อาจมาจากการ์ด DAQ สำหรับตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้า หรือเซนเซอร์ชนิดต่างๆ เป็นต้น

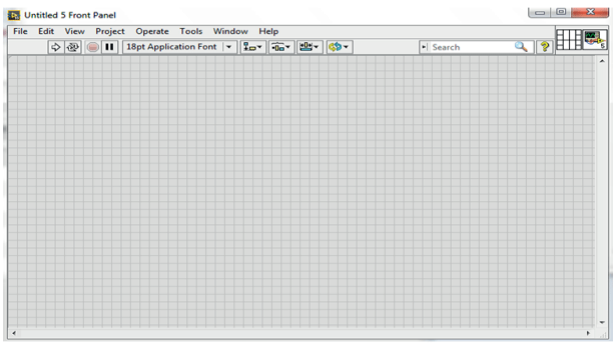
2. การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis) หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้ว จะนำข้อมูลผ่านฟังก์ชันการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล โดยอาจใช้สูตร ทางคณิตศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ ซึ่งวิธีการเหล่านี้ สามารถทำได้โดย อาศัยคำสั่งหรือโปรแกรมที่เขียนขึ้น

3. การแสดงผล (Presentation) คือ การแสดงผลลัพธ์ ในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แสดงผลเฉพาะค่ากระแสไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ หรือการวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analysis) จะแสดงเฉพาะสัญญาณ ในรูปของความถี่ หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

แอปพลิเคชัน ที่พัฒนาขึ้นมาโดยโปรแกรมแลบวิว มีลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพ เมื่อผู้ใช้ทดลองใช้งาน จะพบว่ามีลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม โดยมีลักษณะการทำงานของ โปรแกรมย่อย (Subroutines) และโปรแกรมหลัก เหมือนกับภาษาคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดย VI ที่ทำงานเป็นโปรแกรมย่อย จะถูกเรียกว่า SubVIs

สำหรับ VI หนึ่ง ๆ ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ แผงหน้าปัด บล็อกไดอะแกรม และไอคอน (Icon) และคอนเนคเตอร์ (Connector) ทั้งสามส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วน มีดังต่อไปนี้

แผงหน้าปัดจะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (User Interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัดของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดทั่วๆ ไป ประกอบด้วย สวิตซ์ปิดเปิด ปุ่มบิด ปุ่มกด จอแสดงผลหรือค่าคงที่ ที่ผู้ใช้สามารถกำหนดการใช้งานได้ สำหรับผู้ที่คุ้นเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual ทั้งหลายคงจะเข้าใจดีว่า แผงหน้าปัดก็เปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั่นเอง ตัวอย่างแผงหน้าปัดของโปรแกรมแลบวิวแสดงได้ดังภาพที่ 2.31



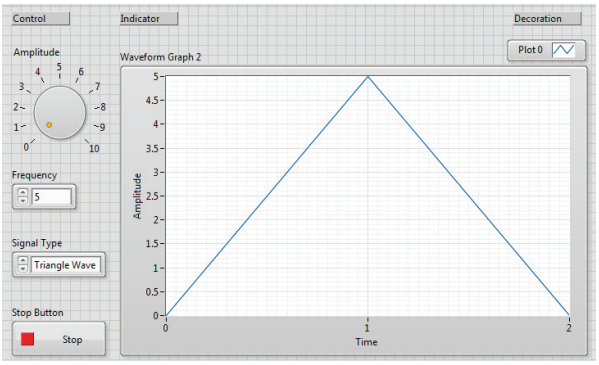
ภาพที่ 2.31 แผงหน้าปัดของโปรแกรมแลบวิว

ออบเจ็กต์ (Object) ที่อยู่บนแผงหน้าปัดจะมีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. ตัวควบคุม (Controls) คือประเภทที่รับค่าจากผู้ใช้ ซึ่งผู้ใช้สามารถพิมพ์ค่าลงไปหรือใช้เมาส์ คลิกหรือเลื่อน เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าได้ เช่น ปุ่มหมุน ปุ่มเลื่อน สวิตช์ เป็นต้น

2. ตัวแสดงผล (Indicators) คือประเภทที่ใช้แสดงค่าต่างๆเท่านั้น ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้ เช่น กราฟ มิเตอร์ LED เป็นต้น

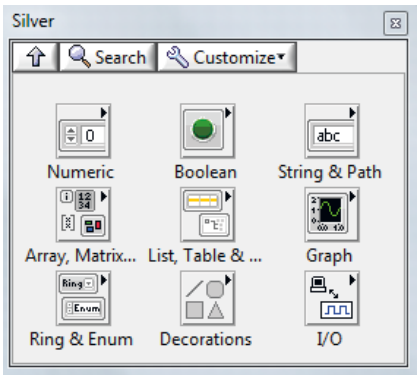
3. ตัวจัดองค์ประกอบ (Decorations) เป็นออบเจ็กต์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมและโค้ด ในบล็อกไดอะแกรมเลย แต่มีไว้สำหรับจัดองค์ประกอบเพื่อความสวยงามเป็นระเบียบของแผงหน้าปัดเท่านั้น ลักษณะของการวางออบเจ็กต์บนแผงหน้าปัด แสดงได้ดังภาพที่ 2.32



ภาพที่ 2.32 Object ที่อยู่บนแผงหน้าปัดของโปรแกรมแลบวิว

2.3.3 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบแผงหน้าปัด

เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบแผงหน้าปัด จะประกอบไปด้วย Control Palette และ Tools Palette ซึ่ง โปรแกรมแลบวิว มี Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบแผงหน้าปัด ดังภาพที่ 2.33 ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่างๆ เช่น กลุ่มของตัวเลข (Numeric) ซึ่งภายในกลุ่มจะมี ตัวควบคุมและตัวแสดงผล ต่างๆ ที่เกี่ยวกับตัวเลข



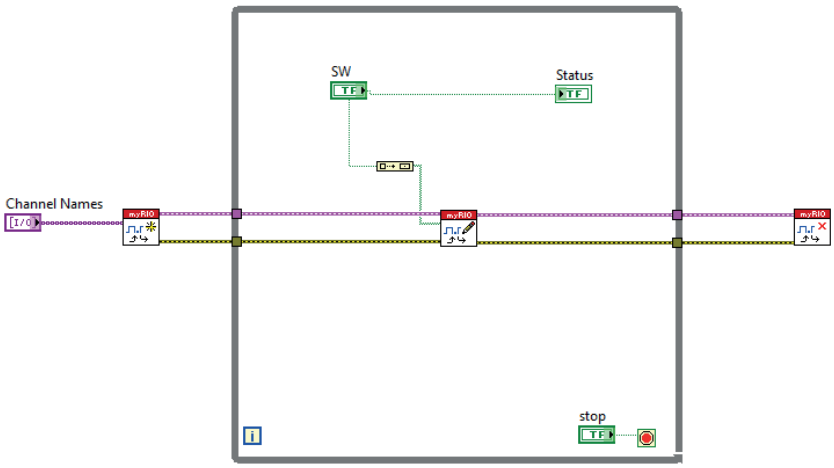
ภาพที่ 2.33 Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบแผงหน้าปัด

Tools Palette คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจะใช้ทั้งการออกแบบแผงหน้าปัดและ บล็อกไดอะแกรมในส่วนนี้จะกล่าวถึง Tools Palette สำหรับออกแบบแผงหน้าปัด

ภาพที่ 2.34 Tools Palette ที่ใช้ในการออกแบบแผงหน้าปัด

2.3.4 บล็อกไดอะแกรม (Block Diagram)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้น ผู้ใช้งานอาจมอง บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมแลบวิวเป็นเสมือนกับโค้ด ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของภาษา G โดยบล็อกไดอะแกรม ถือว่าเป็น Executable Program ที่สามารถทำงานได้ทันที มีข้อดีคือ โปรแกรมแลบวิวจะทำการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น โดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดที่แสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมสามารถทำได้ง่าย ส่วนประกอบภายในบล็อกไดอะแกรมประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ และคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงาน จากนั้นในแต่ละส่วน ซึ่งปรากฏ อยู่ในรูปของบล็อก จะได้รับการต่อสาย (Wire) สำหรับบล็อกที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกเหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้งานต่อไป



ภาพที่ 2.35 ตัวอย่าง Block Diagram

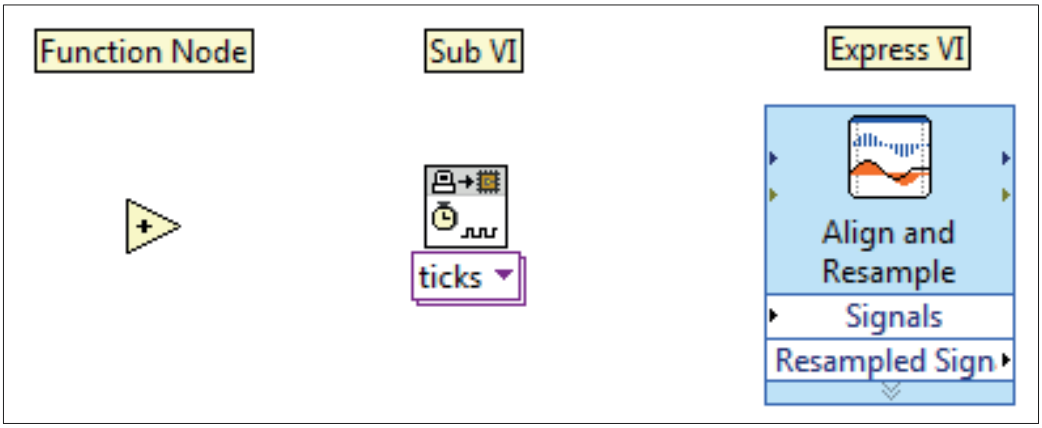
2.3.5 โหนด (Node)

โหนด คือรูปไอคอน ที่อยู่ในบล็อกไดอะแกรม ซึ่งประกอบด้วยอินพุตและเอาต์พุต จะทำงานตามหน้าที่ เมื่อมีการรันโปรแกรมโดยแบ่งเป็น 3 ชนิดหลัก ดังนี้

1. ฟังก์ชัน คือ โหนด ซึ่งประกอบด้วยคำสั่งพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ ที่ไม่สามารถดูรายละเอียดภายในได้ เช่น การเปรียบเทียบ การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ การดำเนินการทางตรรกศาสตร์ เป็นต้น

2. SubVIs หรือในภาษาทางซอฟต์แวร์อาจจะเรียกว่า Subroutine หรือ Subprogram คือ โปรแกรมย่อยที่ถูกเขียนขึ้นมา เพื่อถูกนำมาเรียกใช้ซ้ำในอีกโปรแกรมหนึ่ง โดยสามารถเปิดดูรายละเอียดแผงหน้าปัด และบล็อกไดอะแกรมได้ เมื่อดับเบิ้ลคลิก (double click) ที่ไอคอนของ SubVIs

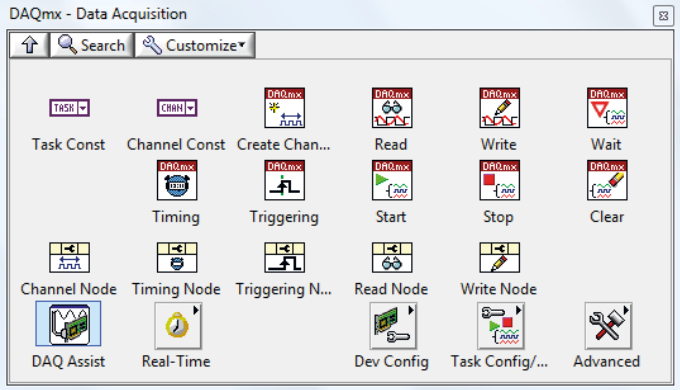
3. Express VIs เป็น subVIs ประเภทพิเศษ คือ เมื่อเลือก Express VI มาวางในบล็อกไดอะแกรม จะปรากฏหน้าต่างกำหนดค่า (Configuration) ขึ้นมา เพื่อให้ป้อนค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ต่าง ๆ ตามต้องการ และเมื่อป้อนค่าเสร็จ โปรแกรมจะสร้างโค้ดไว้ภายในบล็อกไดอะแกรมให้อัตโนมัติ ตามที่ได้กำหนดค่าไว้ ซึ่งความสามารถดังกล่าวของ Express VI ทำให้ผู้พัฒนาไม่จำเป็นต้องต่อสายอินพุตที่ซับซ้อน เพราะพารามิเตอร์ทั้งหมด ได้ถูกสร้างขึ้นมาและถูกเก็บไว้ภายในเรียบร้อยแล้ว จึงทำให้การเขียนโปรแกรมแลบวิวมีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น จุดที่สังเกตว่าเป็น Express VI คือ จะมี ไอคอนขนาดใหญ่และมีพื้นหลังเป็นสีฟ้า แสดงตัวอย่าง Express VI ดังภาพที่ 2.36



ภาพที่ 2.36 ตัวอย่าง Block Diagram Node

2.3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมในบล็อกไดอะแกรม

โปรแกรมแลบวิวใช้ Functions Palette จะมีฟังก์ชันและ SubVIs ต่างๆ ที่มีอยู่ให้ผู้ใช้เลือกใช้ โดย ฟังก์ชันและ SubVIs จัดถูกจัดเป็นกลุ่มๆ ตามลักษณะการนำไปใช้งาน ดังตัวอย่างภาพที่ 2.37



ภาพที่ 2.37 เครื่องมือสำหรับ DAQmx – Data Acquisition

2.3.7 Tools Palette สำหรับบล็อกไดอะแกรม

วิธีการเปิด Tools Palette สามารถทำได้ โดยการคลิกที่ Window >> Show Tools Palette หรือกด Shift Right- Click แล้ว คลิกเลือกเครื่องมือที่ต้องการใช้งาน ตัวอย่างของ Tools Palette แสดงได้ดังภาพที่ 2.38

ภาพที่ 2.38 เครื่องมือ Tools Palette

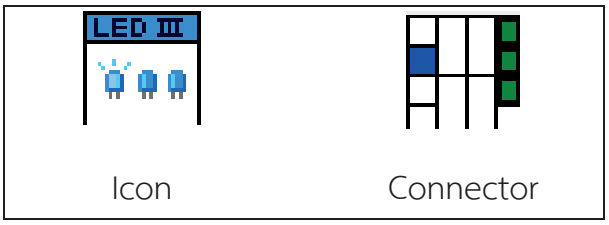
เครื่องมือที่อยู่ใน Tools Pallete สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Operation Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าหรือเลือกค่าคงที่ในบล็อกไดอะแกรม
2. Position/Size/Select ใช้ในการเลือก เคลื่อนย้าย จัดเรียงหรือกำหนดขนาดของออบเจ็กต์ที่สร้างขึ้นในบล็อกไดอะแกรม

3. Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษร หรือเพิ่มข้อความลงบนแผงหน้าปัด

4. Wiring Tool ใช้ในการโยงสาย (Wiring) ระหว่างเทอร์มินัล (Terminal) หรือโหนด ซึ่งสายที่โยงนี้ จะเป็นการกำหนดเส้นทางการไหลของข้อมูล

ไอคอน และคอนเนคเตอร์ เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อยในโปรแกรมปกติทั่วไป โดยไอคอนในโปรแกรมแลบวิว หมายถึงบล็อกไดอะแกรมหนึ่งบล็อก ที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทางคอนเนคเตอร์ ซึ่งในโปรแกรมแลบวิว จะเรียกโปรแกรมย่อยนี้ว่า SubVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G คือ สามารถสร้าง VI ทีละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลัง หากต้องการใช้งานก็สามารถเขียน โปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้ VI ที่เคยสร้างขึ้นก่อนหน้ามาใช้งานได้ ซึ่งการเขียนในลักษณะนี้เรียกว่า การเขียนเป็นโมดูล (Module) ลักษณะทั่วไปของไอคอน และคอนเนคเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.39 โดย คอนเนคเตอร์ จะมีช่องต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า เทอร์มินอล ปรากฏให้เห็น



ภาพที่ 2.39 ลักษณะทั่วไปของไอคอน และคอนเนคเตอร์

คำศัพท์ที่ใช้ในโปรแกรมแลบวิว จะแตกต่างจากภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมตัวหนังสือทั่วไป ดังนั้นเพื่อให้ผู้ที่เริ่มใช้ งานโปรแกรมแลบวิว เข้าใจถึงศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโปรแกรม ผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบศัพท์ใช้ใน โปรแกรมแลบวิว กับโปรแกรมพื้นฐานทั่วไป ดังตารางที่ 2.1

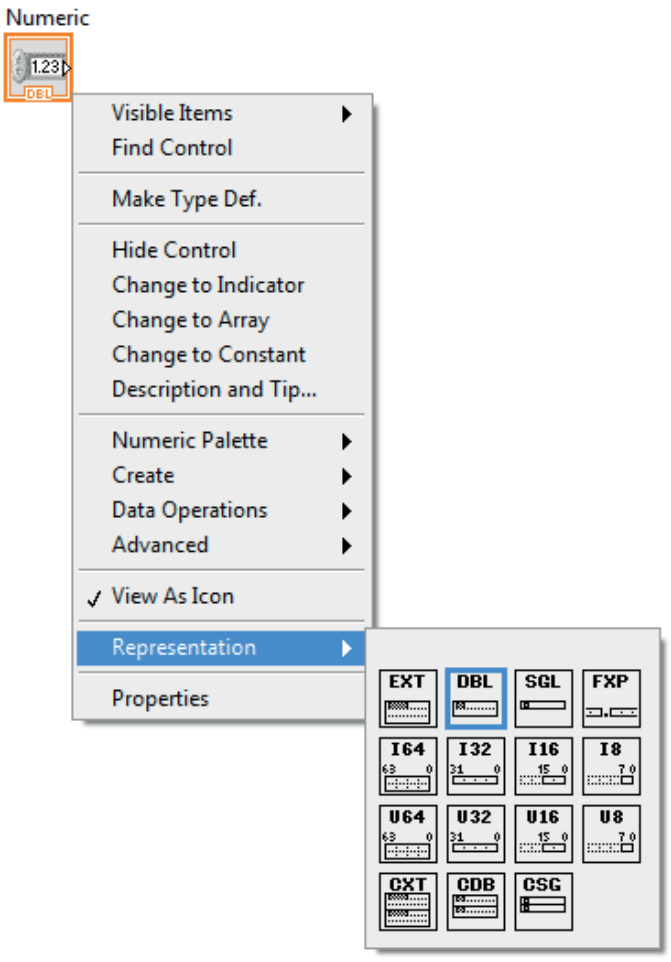
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคำศัพท์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมแลบวิวและโปรแกรมพื้นฐาน

โปรแกรมแลบวิว	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	โปรแกรมหลัก
Function	function	ฟังก์ชันสำเร็จที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้น เช่น ฟังก์ชัน sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	user interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน ประกอบไปด้วยส่วนควบคุมและส่วนแสดงผล
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของแต่ละโปรแกรมที่กำหนดขึ้น

2.3.8 ประเภทของข้อมูล

ในการเขียนโปรแกรมทั่วไป ต้องมีการประกาศตัวแปรเสมอก่อนที่จะเรียกใช้งานใช้ตัวแปรนั้น แต่สำหรับโปรแกรมแลบวิว โปรแกรมจะดำเนินการให้เองทั้งหมด โดยผู้ใช้ไม่ต้องทำเอง เพียงแค่เลือกประเภทของข้อมูลมาวางในบล็อกไดอะแกรมให้ถูกต้องเท่านั้น ประเภทของของข้อมูลภายในโปรแกรมแลบวิว มีหลายอย่างเหมือนกับโปรแกรมในภาษาอื่น ๆ และยังมีบางประเภทที่มีใช้งานในโปรแกรมแลบวิวเท่านั้น ซึ่งข้อมูลเหล่านั้นถูกแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ดังนี้

1. Numeric คือข้อมูลประเภทตัวเลข มีทั้งจำนวนเต็มและจำนวนทศนิยม โดยข้อมูลประเภทจำนวนเต็มในบล็อกไดอะแกรมจะแสดงให้เห็นเป็นสีน้ำเงิน ส่วนจำนวนทศนิยมจะแสดงให้เห็นเป็นสีส้ม และข้อมูลเหล่านี้ สามารถเปลี่ยนไปมาได้โดยการคลิกขวาที่ตัวเลข แล้วเลือก representation และเลือกประเภทตัวเลข ดังภาพที่ 2.40



ภาพที่ 2.40 ข้อมูลประเภท Numeric

2. บูลีน (Boolean) คือข้อมูลประเภทที่มีค่าความจริงเพียงสองค่า คือ ถูก (True) และ ผิด (False) บน บล็อกไดอะแกรม จะแสดงข้อมูลให้เห็นเป็นสีเขียว และสำหรับแผงหน้าปัด บูลีนที่เป็นอินพุต จะมีลักษณะเป็นอุปกรณ์ควบคุม เช่นสวิตช์ ถ้าเป็นเอาต์พุตจะมีลักษณะเป็นอุปกรณ์แสดงผล เช่น ไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือหลอดไฟประเภทต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.41

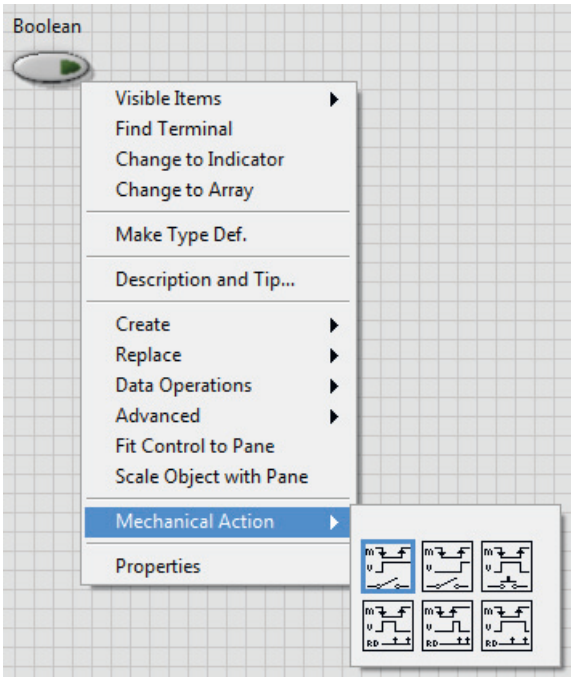
3. สายอักขระ (String) คือข้อมูลประเภทที่เป็นตัวอักษร ไอคอนจะปรากฏให้เห็นเป็นสีชมพู สามารถกำหนดรูปแบบการแสดงผลได้ 4 รูปแบบ ดังนี้

3.1 แสดงผลแบบปกติ (Normal Display)

3.2 แสดงแบบโค้ด (Code Display) มีประโยชน์สำหรับแสดงตัวอักษรที่ตาเปล่ามองไม่เห็น เช่น การเว้นวรรคแถบ หรือการขึ้นบรรทัดใหม่

3.3 แสดงผลแบบพาสเวิร์ด (Password Display) คือการแทนตัวอักษรด้วยเครื่องหมาย asterisk (*)

3.4 แสดงผลเป็นรหัสเลขฐานสิบหก (Hex Display)



ภาพที่ 2.41 ข้อมูลประเภท Boolean

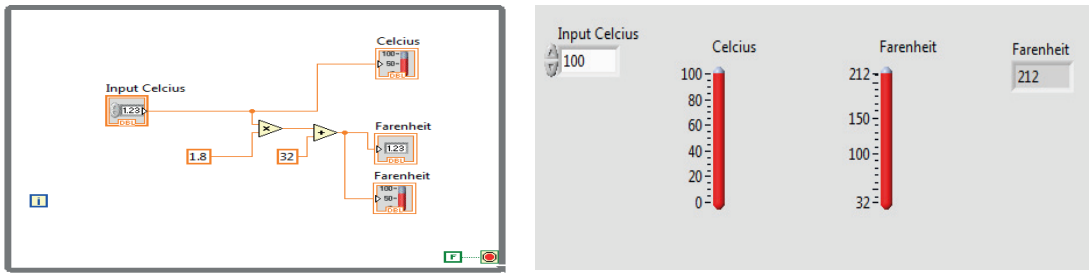
4. Enum คือข้อมูลประเภทแสดงให้ผู้ใช้เห็นเป็นตัวหนังสือ แต่ค่าจริงที่ถูกนำไปประมวลผลคือตัวเลข ดังนั้น ในบล็อกไดอะแกรม จึงมองเห็นข้อมูลประเภทนี้เป็นสีน้ำเงินเหมือนกับจำนวนเต็ม

5. Dynamic เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของเวฟฟอร์ม (Waveform) ในบล็อกไดอะแกรม ถูกแสดงด้วยสีน้ำเงินเข้ม ซึ่งภายในจะประกอบด้วย อาเรย์ (Array) ของเวฟฟอร์ม Time Stamp และชื่อของสัญญาณ ข้อมูล ประเภท Dynamic นี้ส่วนใหญ่ใช้ใน Express VI จำพวกการอ่านการกำเนิดและวิเคราะห์สัญญาณ

6. Time Stamp เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยวันที่และเวลาที่มีความละเอียดถึงมิลลิวินาที (ms) Time Stamp ในบล็อกไดอะแกรม จะแสดงให้เห็นเป็นสีน้ำตาลเส้นหนา สามารถนำมาแปลงให้เป็นวันที่เวลาแบบแบบสายอักขระได้

2.3.9 หลักการทำงานของ Dataflow Programming

ก่อนเริ่มพัฒนาโปรแกรม ผู้พัฒนาควรเข้าใจการไหลของข้อมูล และชนิดของข้อมูล (Data Type) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาโปรแกรมด้วยแลบวิว มีหลักการ คือ ฟังก์ชันหรือ SubVI จะทำงานก็ต่อเมื่อมีข้อมูลไหลเข้ามา เมื่อฟังก์ชันทำงานเสร็จจะส่งข้อมูลไปยังฟังก์ชันที่ต้องการข้อมูล ข้อมูลจะถูกส่งผ่านโดยสาย ดังภาพที่ 2.42 ซึ่งแสดงตัวอย่างการเขียนโปรแกรมแลบวิวเพื่อแปลงค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสเป็นองศาฟาเรนไฮท์ โดยแสดงผลเป็นแบบตัวเลขผ่านทางหน้าจอ มีค่าอินพุตเป็นองศาเซลเซียส และมีค่าเอาต์พุตเป็นองศาฟาเรนไฮท์



ภาพที่ 2.42 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมแปลงหน่วยอุณหภูมิด้วยโปรแกรมแลบวิว

จากภาพที่ 2.42 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเป็นดังนี้

1. ฟังก์ชันคูณ (Multiply) จะทำงานก่อนฟังก์ชันบวก เพราะฟังก์ชันคูณมีข้อมูลพร้อม แต่ฟังก์ชันบวกต้องรอข้อมูล จากฟังก์ชันคูณ
2. หลังจากฟังก์ชันคูณทำงานเสร็จจะส่งผ่านข้อมูลไปยังฟังก์ชันบวก
3. ฟังก์ชันบวกทำงาน เพราะมีข้อมูลพร้อม
4. หลังจากฟังก์ชันบวกทำงานจะส่งผลลพัธ์ไปให้เทอร์มินัลทั้ง 2 คือ Fahrenheit และ Numeric Indicator พร้อมกัน

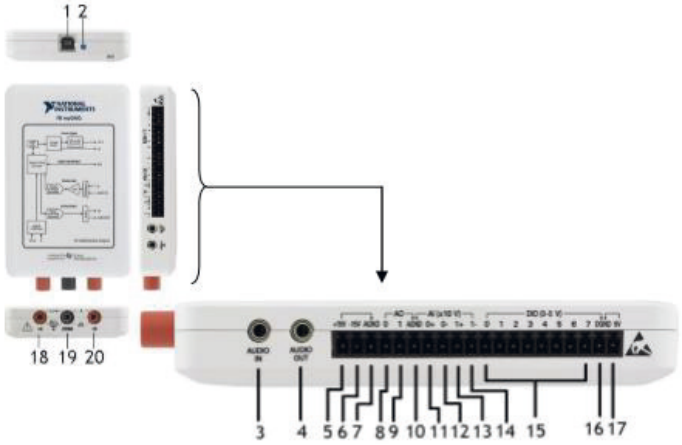
2.4 เอ็นไอมายด์แด็ค (NI myDAQ)

เอ็นไอมายแด็ค เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณที่มีราคาถูก เมื่อเทียบกับ ขนาดและราคาของพาวเวอร์ซัพพลาย ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ ออสซิลโลสโคป ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ดิจิตอลลอจิกอนาไลเซอร์ (Digital Logic Analyzer) และเครื่องวิเคราะห์ผลตอบสนองความถี่ (Bode Analyzer) รวมกัน สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมแลบวิวได้ ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ ที่ได้จากการวัดตามเวลาจริงหรือสัญญาณที่วัดขณะทำการทดลอง ตัวอย่างของเอ็นไอมายแด็ค แสดงได้ดังภาพที่ 2.43

ภาพที่ 2.43 เอ็นไอมายแด็ค

ที่มา : (https://www.ni.com/en-th/shop/select/mydaq-student-data-acquisition-device)

เอ็นไอมายแด็ค สามารถทำงานเป็นแอนะล็อกอินพุต (Analog Input) แอนะล็อกเอาต์พุต (Analog Output) ดิจิตอลอินพุต (Digital Input) ดิจิตอลเอาต์พุต (Digital Output) อินพุตสัญญาณเสียง (Audio Input) เอาต์พุตสัญญาณเสียง (Audio Output) และแหล่งจ่ายไฟตรง (DC Power Supply) ส่วนต่างๆ ของเอ็นไอมายแด็คแสดงดังภาพที่ 2.44



ภาพที่ 2.44 รายละเอียดของเอ็นไอมายแด็ค

ที่มา : (https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:1423/preview)

จากภาพที่ 2.44 สามารถอธิบายรายละเอียดของเอ็นไอมายแด็คได้ดังตารางที่ 2.2

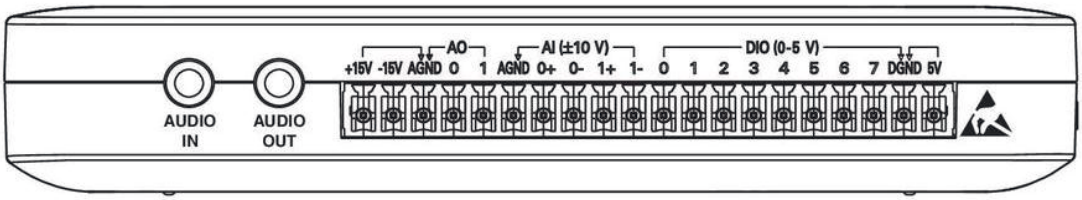
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของเอ็นไอมายแด็ค

หมายเลข	คำอธิบาย
1	ช่องสำหรับเสียบสาย USB Type B
2	ไฟแสดงสถานะการทำงาน โดยเมื่อมีการเชื่อมต่อและพร้อมใช้งาน จะแสดงเป็นสีฟ้า
3	ช่องรับสัญญาณเสียง (Audio Input)
4	ช่องส่งออกสัญญาณเสียง (Audio Output)
5	พาวเวอร์ซัพพลาย +15V: +15V
6	พาวเวอร์ซัพพลาย -15V: -15V
7	กราวด์ พาวเวอร์ซัพพลาย (Ground Power Supply)
8	แอนะล็อกเอาต์พุต (AO0)
9	แอนะล็อกเอาต์พุต (AO1)
10	กราวด์ แอนะล็อกอินพุตและเอาต์พุต (Analog Input/Output Ground)
11	แอนะล็อกอินพุต Positive Terminal (AI0+)
12	แอนะล็อกอินพุต Negative Terminal (AI0-)
13	แอนะล็อกอินพุต Positive Terminal (AI1+)
14	แอนะล็อกอินพุต Negative Terminal (AI1-)
15	ดิจิตอลอินพุตและเอาต์พุต (DIO0 – DIO7)
16	ดิจิตอลกราวด์ (DGND)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

หมายเลข	คำอธิบาย
17	พาวเวอร์ซัพพลายสำหรับใช้งานดิจิตอล 5V
18	ช่องสำหรับวัดค่าความต้านทาน แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และไดโอด
19	กราวด์สำหรับ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (COM: Common Ground)
20	ช่องสำหรับวัดกระแส Current (1A Max)

จากตารางที่ 2.2 ข้อมูลต่างๆ ของเอ็นไอมายแด็ค ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 3 ถึงตำแหน่งที่ 15 สามารถดูรายละเอียดของพอร์ตเทอร์มินอล อินพุตและเอาต์พุต (Terminal I/O Connect) ได้ดังภาพที่ 2.45 และตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.45 พอร์ตเทอร์มินัลของเอ็นไอมายแด็ค

ที่มา : (https://mehtaprasoon.wordpress.com/2014/07/01/algorithm/)

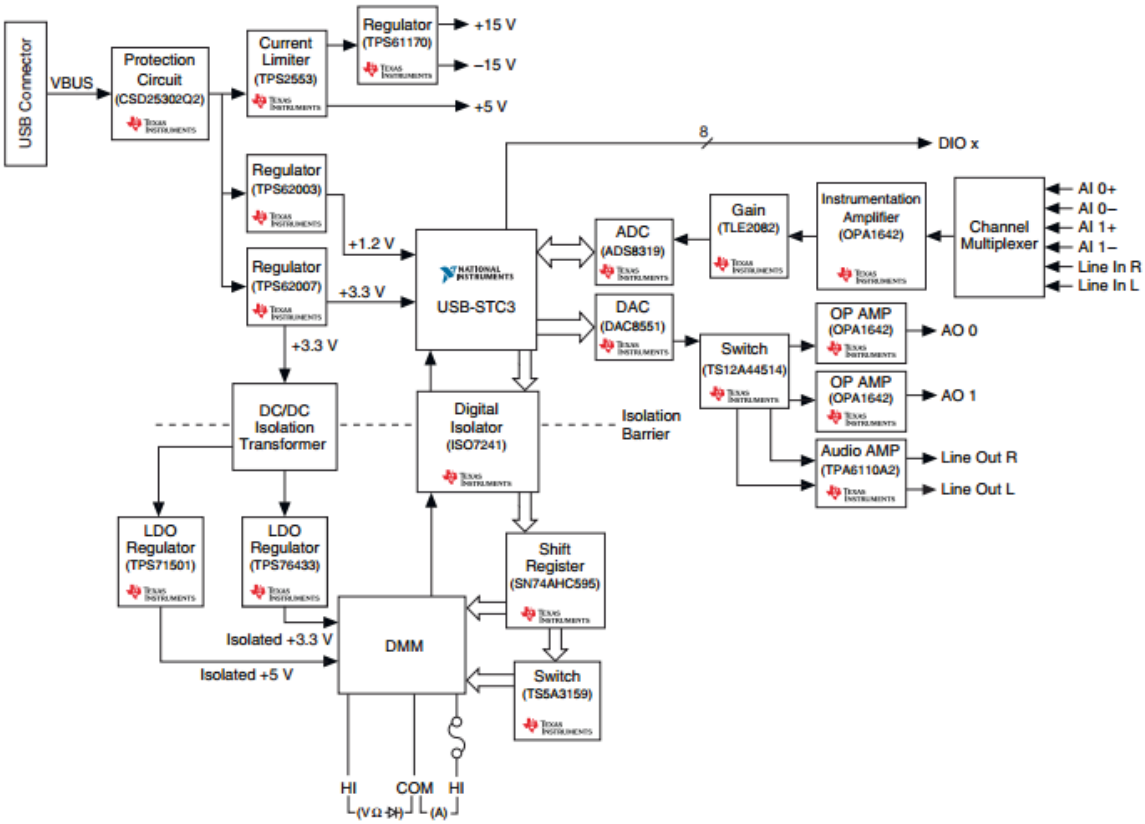
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดต่างๆ ของพอร์ตเทอร์มินัล

พอร์ตเทอร์มินัล	จุดต่อร่วม	ทิศทาง	คำอธิบาย
Audio In	-	Input	Audio Input : Left and right audio inputs on a stereo connector
Audio Out	-	Output	Audio Output : Left and right audio inputs on a stereo connector
+15V/-15V	AGND	Output	+15V/-15V Power supplies
AGND	-	-	Analog Ground : Reference terminal for AI, AO, +15V/-15V
AO 0/AO 1	AGND	Output	Analog Output Chanels 0 and 1
AI 0+/AI 0- AI 1+/AI 1-	AGND	Input	Analog Input Chanels 0 and 1

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

พอร์ตเทอร์มินัล	จุดต่อร่วม	ทิศทาง	คำอธิบาย
DIO (0-7)	DGND	Input or Output	Digital I/O Signals : General purpose digital line or counter signals
DGND	-	-	Digital Ground : Refference for the DIO line and the +5V Supply
5V	DGND	Output	5V Power supply

ลำดับการทำงานและฟังก์ชันต่าง ๆ ในระบบย่อยของเอ็นไอมายแด็ค แสดงดังภาพที่ 2.46 ซึ่งรายละเอียดของการกำหนดค่าของฮาร์ดแวร์ของเอ็นไอมายแด็ค สามารถแบ่งตามการควบคุมของฟังก์ชันต่าง ๆ คือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ การวัดสัญญาณโดยออสซิลโลสโคป การสร้างสัญญาณด้วยฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ การวิเคราะห์ผลตอบสนองความถี่ และการวิเคราะห์สัญญาณขณะทำงาน (Dynamic Signal Analyzer : DSA) สัญญาณจากการวัดตามฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์และการเขียนอ่านข้อมูลดิจิตอล



ภาพที่ 2.46 บล็อกไดอะแกรมฮาร์ดแวร์ของเอ็นไอมายแด็ค

ที่มา : (http://www.ni.com/pdf/manuals/373060g.pdf)

2.4.1 ส่วนประกอบหลักของเอ็นไอมายแด็ค

เอ็นไอมายแด็คสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนเมื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมแลบวิว ดังนี้

1. แอนะล็อกอินพุต (Analog Input : AI) เอ็นไอมายแด็ค มีอินพุต 2 แชนแนล โดยแชนแนลทั้งสองนั้นมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงและสองแชนแนลนี้สามารถป้อนสัญญาณเสียง สัญญาณแรงดันไฟฟ้า และสามารถแปลงค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลได้ มีอัตราการสุ่มสัญญาณที่ 200kS/s ในแต่ละแชลแนล

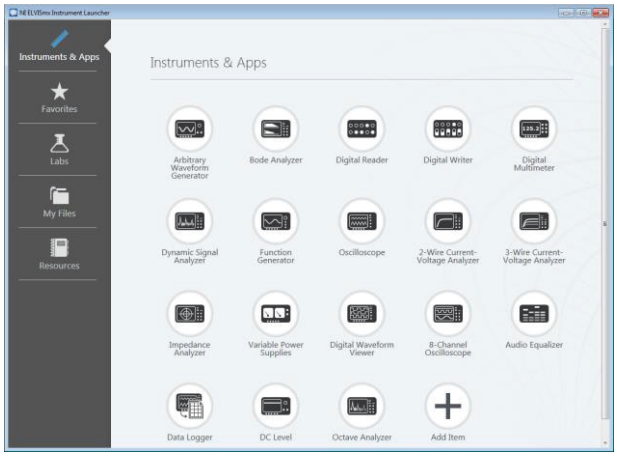
2. แอนะล็อกเอาต์พุต (Analog Output : AO) เอ็นไอมายแดค มีเอาต์พุต 2 แชนแนล ซึ่งแชนแนลทั้งสองนั้นสามารถให้สัญญาณออกเป็น สัญญาณแรงดันไฟฟ้า สัญญาณเสียง สัญญาณดิจิตอล และสัญญาณแอนะล็อก

3. ดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุต (Digital Input/Output : DIO) ดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุตนั้นมีทั้งหมด 8 พอร์ต ซึ่งผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมการสั่งงานได้ โดยใช้โปรแกรมฟังก์ชันอินเตอร์เฟส (Programmable Function Interface : PFI)

4. พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supplies) โดยพาวเวอร์ซัพพลายในฮาร์ดแวร์เอ็นไอมายแด็ค สามารถใช้งานในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงดังต่อไปนี้ +15V -15V และ +5V

2.4.2 แผงเมนูการวัดค่าต่าง ๆ ของเอ็นไอมายแด็ค (Soft Front Panel : SFP)

ในการใช้งานแผงเมนูการวัดค่า ผู้ใช้จะต้องต่อเอ็นไอมายแด็คเข้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ก่อนโดยการเชื่อมต่อนั้นจะเชื่อมต่อผ่านทางสาย USB กับ เอ็นไอมายแด็ค เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จจะมีไฟแสดงสถานะสีฟ้าปรากฏขึ้น ตรงบริเวณจุดเชื่อมต่อ USB ซึ่งเป็นเครื่องแสดงว่าเอ็นไอมายแด็คพร้อมใช้งาน จากนั้นเปิดแผงเมนูการวัดค่า โดยค้นหาคำว่า NI ELVISmx Instrument Launcher ในช่องค้นหาของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดยเมื่อโปรแกรมเปิดขึ้นมาแล้วจะได้หน้าต่างดังภาพที่ 2.47

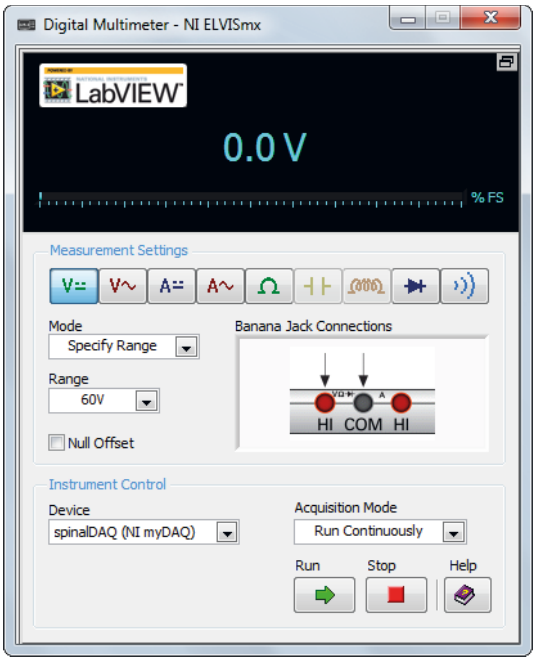


ภาพที่ 2.47 ไอคอนต่าง ๆ ของเครื่องมือในซอฟต์แวร์ NI ELVISmx Instrument Launcher

จากภาพที่ 2.47 มีแผงเมนูวัดค่าที่ใช้งานร่วมกับเอ็นไอมายแด็คได้ ดังต่อไปนี้

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ (Digital Multi-meter : DMM) ได้จากการกดปุ่มในเมนูดังภาพที่ 2.47 โดยการกดปุ่ม DMM จากแถบเมนูเพื่อเริ่มการใช้งานและหลังจากกดปุ่ม DMM แล้วจะแสดง หน้าต่างย่อยขึ้นมาดังภาพที่ 2.48 และ DMM สามารถใช้ในการดำเนินการวัดแรงดันไฟฟ้าของเอซี และดีซี และสามารถวัดกระแส ความต้านทานและไดโอดได้



ภาพที่ 2.48 แผงเมนูดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากภาพที่ 2.48 จะมีรายละเอียดของแผงเมนูดังต่อไปนี้

1.1 การตั้งค่า พารามิเตอร์ (Measurement Settings)

1.1.1 DC Voltage ค่าที่สามารถปรับได้ 60 V, 20 V, 2 V, and 200 mV ranges

1.1.2 AC Voltage ค่าที่สามารถปรับได้ 20 V, 2 V, and 200 mV ranges

1.1.3 DC current ค่าที่สามารถปรับได้ 1 A, 200 mA, and 20 mA ranges

1.1.4 AC Current ค่าที่สามารถปรับได้ 1 A, 200 mA, and 20 mA ranges

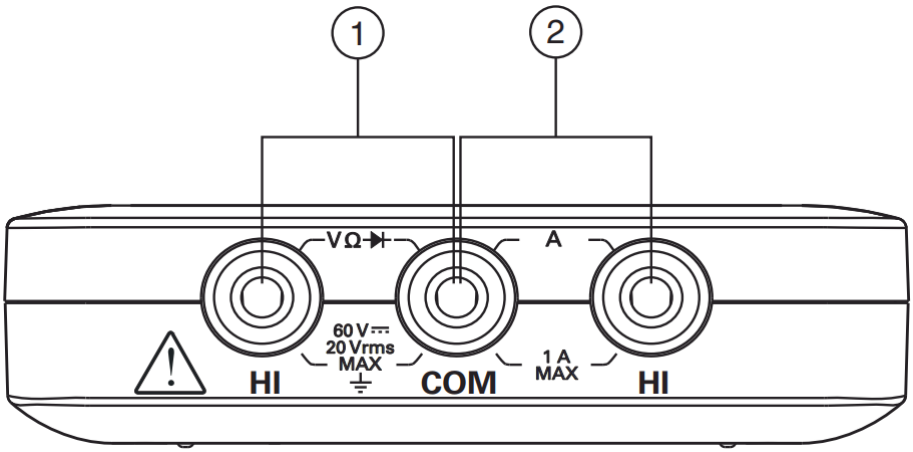
1.1.5 Resistance ค่าที่สามารถปรับได้ 20 MΩ, 2 MΩ, 200 kΩ, 20 kΩ, 2 kΩ, and 200 Ω ranges

1.1.6 Diode 2V range

1.2 การใช้งานแผงเมนูดิจิตอลมัลติมิเตอร์เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าเอซีและดีซีร่วมกับเอ็นไอมายแด็ค สามารถใช้งานได้โดยการทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1.2.1 สำหรับการวัดแรงดังไฟฟ้า AC และ DC จะต้องทำการเชื่อมต่อสายสีแดงเข้าที่ VΩ (Red) และสายสีดำเข้าที่ COM (Black) ข้างในเอ็นไอมายแด็ค

1.2.2 หลังจากนั้นเริ่มทำการติดตั้งโหมดโดยทำการเลือกโหมดว่าผู้ใช้นั้นต้องการใช้โหมดการวัดแบบไหน ได้แก่ โหมดการวัดแรงดันไฟฟ้าดีซี V⎓ หรือ เอซี V~ ในปุ่มของระบบย่อย DMM จากที่ตั้งโหมดที่ต้องการวัดเรียบร้อยแล้วผู้ใช้ต้องเลือกย่านที่ต้องการวัดนั้นอยู่ในย่านแรงดันไฟฟ้าเท่าไรเพื่อการป้องกันการเสียหายที่เกิดจากการวัดกับฮาร์ดแวร์ได้และหลังจากนั้นเมื่อเราติดตั้งค่าทุกอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้วผู้ใช้สามารถทำการวัดได้โดยกดปุ่ม Run เพื่อที่จะเริ่มวัดสัญญาณและหลังจากนั้นที่วัดเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงกดปุ่ม Stop เพื่อหยุดวัดสัญญาณ และเมื่อผู้ใช้วัดสัญญาณเรียบร้อยแล้วนั้นผู้ใช้สามารถอ่านค่าที่ได้จากการวัดได้โดยค่าที่อยู่บนแผงควบคุม ดิจิตอล มัลติมิเตอร์



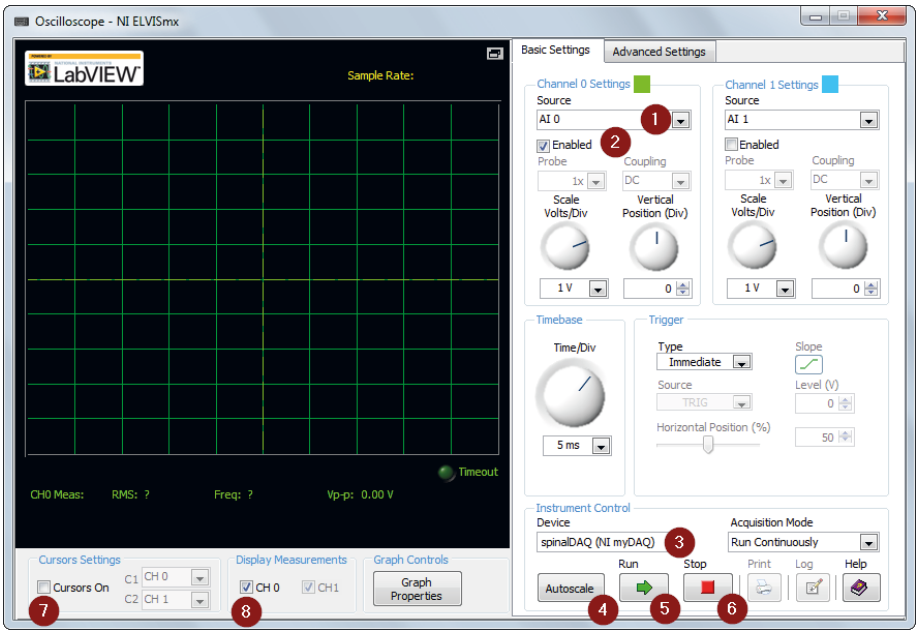
ภาพที่ 2.49 จุดต่อเพื่อวัดสัญญาณขณะที่เลือกใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์

ที่มา : (http://www.ni.com/pdf/manuals/373060g.pdf)

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของจุดต่างๆ ในการใช้งานของการวัดสัญญาณ

ช่องสัญญาณ	จุดต่อร่วม	ทิศทาง	คำอธิบาย
HI (V)	COM	Input	ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าดีซีและเอซี วัดค่าความต้านทาน และวัดไดโอด (ต่อสายสีแดง)
COM	-	-	เป็นจุดต่อร่วมสำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (ต่อสายสีดำ)
HI (A)	COM	Input	ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าดีซีและเอซี (ต่อสายสีแดง)

2. ออสซิลโลสโคป ตัวอย่างแผงเมนูออสซิลโลสโคปแสดงได้ดังภาพที่ 2.50 การใช้งานออสซิลโลสโคปโดยเอ็นไอมายแด็ค นี้สามารถใช้งานได้โดยวิธีตามขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.50 หน้าต่างของออสซิลโลสโคป

2.1 ต่อสัญญาณเข้าที่อินพุตของเอ็นไอมายแด็ค AI0+ หรือ AI1+ และสัญญาณลบจับที่กราวด์ (AGND)

2.2 เลือก Enabled เพื่อนำสัญญาณมาแสดงผลที่หน้าจอโดยตัวเลือก Enabled สามารถเลือกได้ทั้ง 2 แชนแนล

2.3 เลือกอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ

2.4 ตั้งค่า Auto Scale เพื่อที่จะจับสัญญาณและปรับการแสดงผลแบบอัตโนมัติ

2.5 กดปุ่มเริ่ม (Start) เพื่อเริ่มวัดสัญญาณ

2.6 หลังจากวัดสัญญาณได้แล้วให้กดปุ่มหยุด (Stop)

2.7 กดเปิดปุ่ม Cursor เพื่อทำการอ่านค่า

2.8 หลังจากนั้นจะแสดงค่าของ RMS Voltage Frequency และ Peak-to-Peak voltage และข้อมูลจากจอภาพดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

2.8.1 Channel Source: มีช่องให้เลือกใช้งาน คือ ช่องแอนาล็อกอินพุต (AI) ประกอบด้วย ช่อง AI0 และ AI1 และช่องอินพุตสัญญาณเสียงประกอบด้วย Audio Input Left และ Audio Input Right โดยผู้ใช้สามารถใช้เลือกใช้ช่อง AI หรือ ช่องสัญญาณเสียงได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ไม่สามารถเลือกใช้สัญญาณอินพุตทั้ง 2 ชนิดพร้อมกันได้

2.8.2 การคัปปลิ้งสำหรับช่อง AI รองรับ DC Coupling เท่านั้น และการคัปปลิ้งช่องอินพุตสัญญาณเสียงรองรับ AC Coupling เท่านั้น

2.8.3 Scale Volts/Div: AI channels สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 5 V, 2 V, 1 V, 500 mV, 200 mV, 100 mV, 50 mV, 20 mV, 10 mV และสำหรับ Audio Input Channels สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 1 V, 500 mV, 200 mV, 100 mV, 50 mV, 20 mV, 10 mV

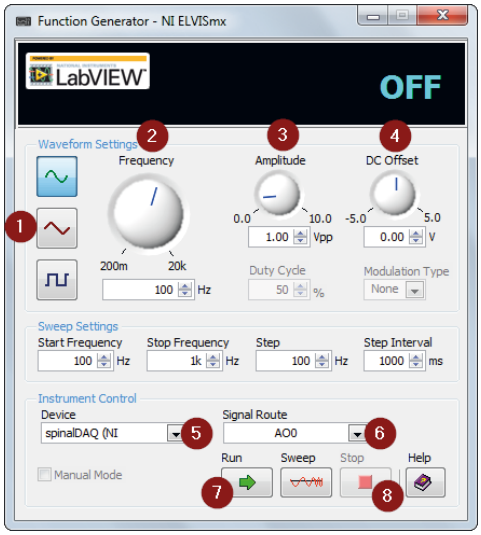
2.8.4 Sample Rate หรืออัตราการในการสุ่มสัญญาณแอนาล็อกอินพุตสามารถปรับตั้งค่าได้สูงสุด 250 kS/s

2.8.5 Timebase Time/Div ใช้สำหรับกำหนดค่าเวลาในการกวาด (Sweep Time) โดยสามารถเลือกกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 200 ms ถึง 5 µs

2.8.6 Trigger settings สามารถเลือกแบบ Immediate และ แบบ Edge

3. ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ ตัวอย่างแผงเมนูฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์แสดงได้ดังภาพที่ 2.51

3.1 การใช้งานฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์นั้นผู้ใช้สามารถดูการใช้งานได้จากขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.51 หน้าต่างขอฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์

3.1.1 เลือกสัญญาณที่ต้องการใช้ โดยมี 3 สัญญาณให้เลือกใช้งานคือ สัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณไซน์

3.1.2 กำหนดความถี่ที่ต้องการ

3.1.3 กำหนดแอมพลิจูดที่ต้องการ โดยแอมพลิจูดจะมีหน่วยเป็น Volt Peak-Peak

3.1.4 การกำหนดค่า DC Offset สามารถกำหนดค่าได้ตั้งแต่ -5 V ไปจนถึง 5 V

3.1.5 เลือกอุปกรณ์ในการเชื่อมต่อ

3.1.6 เลือกช่องสัญญาณเอาต์พุตประกอบด้วย AO0 และAO1

3.1.7 เริ่มการใช้งานหลังจากตั้งค่าทั้งหมดแล้วโดยการกดปุ่ม Start และเมื่อใช้งานเสร็จเรียบร้อยให้กดปุ่มหยุด Stop

3.2 ข้อมูลเบื้องต้นของ เมนูใช้งาน ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์

3.2.1 สัญญาณเอาต์พุตออกที่ แชลแนล AO Output channel: AO0 และ AO1

3.2.2 ความถี่ในการใช้งานสามารถเลือกได้โดยมี ย่านความถี่ตั้งแต่ 0.2 Hz to 20 kHz

4. Bode Analyzer ตัวอย่างแผงเมนู Bode Analyzer แสดงดังภาพที่ 2.52

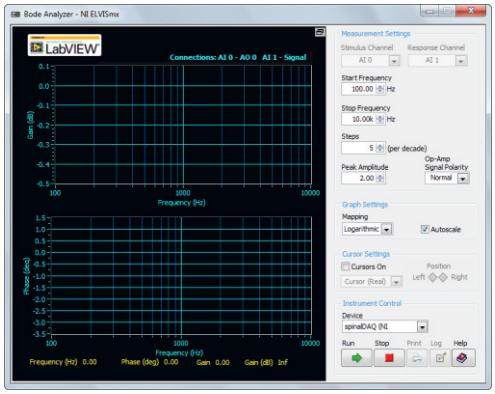
แถบเมนู NI ELVISmx Bode Analyzer สามารถพลอตกราฟจากการวิเคราะห์โดยการผสมสัญญาณความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์และสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งฟังก์ชันการวิเคราะห์สัญญาณนั้นสามารถใช้งานร่วมกับ NI ELVISmx ได้ โดยผู้ใช้สามารถตั้งค่าย่านความถี่ที่ต้องการและเลือกแถบสเกลที่จะนำมาแสดง และผู้ใช้ยังสามารถวัดสัญญาณแบบกลับเฟสของสัญญาณอินพุตที่เข้ามา ในการใช้งานแถบ NI ELVISmx จะต้องเชื่อมต่อด้วยวิธีการเลือก Start -> All Programs -> National Instruments»NIELVISmx สำหรับ NI ELVIS & NI myDAQ»NI ELVISmx
การวัดสัญญาณตาม ค่าพารามิเตอร์โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 Stimulus measurement channel: AI 0

4.2 Response measurement channel: AI 1

4.3 Stimulus signal source: AO 0

4.4 Frequency range: 1 Hz to 20 kH



ภาพที่ 2.52 หน้าต่างของ Bode Analyzer

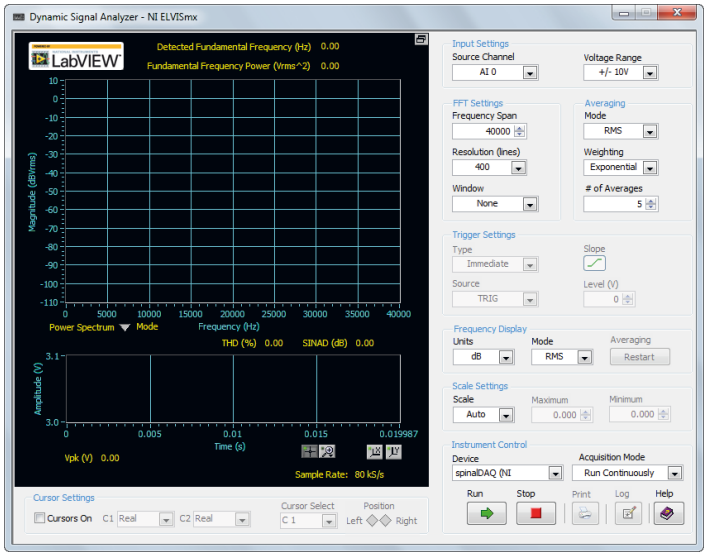
5. Dynamic Signal Analyzer (DSA) ตัวอย่าง แผงเมนู DSA แสดงดังภาพที่ 2.53

แถบเมนู NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer (DSA) เป็นการเตรียมสำหรับการแปลง ความถี่โดเมนของการวัดสัญญาณแอนาล็อกอินพุต หรือสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นการวัดโดยการสแกนสัญญาณเพียงครั้งเดียว โดยผู้ใช้สามารถประยุกต์การใช้งานได้สองอย่าง ในแถบหน้าต่างเดียว

การวัดสัญญาณตามค่าพารามิเตอร์ของ DSA มีรายละเอียดดังนี้

5.1 Source Channel: AI 0 AI 1 AudioInput Left และ AudioInput Right

5.2 Voltage Range: สำหรับช่องแอนาล็อกอินพุต (AI) ±10 V, ±2 V และสำหรับช่องอินพุตสัญญาณเสียง (Audio Input Channels) ±2 V



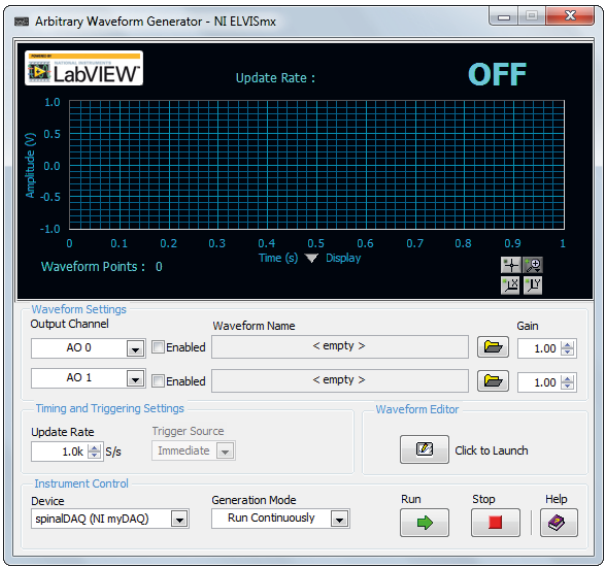
ภาพที่ 2.53 หน้าต่างของ Dynamic Signal Analyzer

6. Arbitrary Waveform Generator (ARB) ตัวอย่างแผงเมนูของ ARB แสดงดังภาพที่ 2.54 แถบเมนู NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator (ARB) เป็นเครื่องมือที่ผู้ใช้งานสามารถสร้างสัญญาณขึ้นมาเองได้ นอกเหนือจากสัญญาณมาตรฐานที่โปรแกรมมีให้ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ว่า จะให้จ่ายสัญญาณไปที่แอนาล็อกเอาต์พุตช่องใดซึ่งมีให้เลือก 2 ช่อง คือช่อง A0 และช่อง A1 และสามารถกำหนดให้จ่ายสัญญาณเพียง 1 ครั้ง (Run Once) หรือจ่ายสัญญาณแบบต่อเนื่อง (Run Continuously) ได้

การวัดสัญญาณตาม ค่าพารามิเตอร์โดยมีรายละเอียดดังนี้

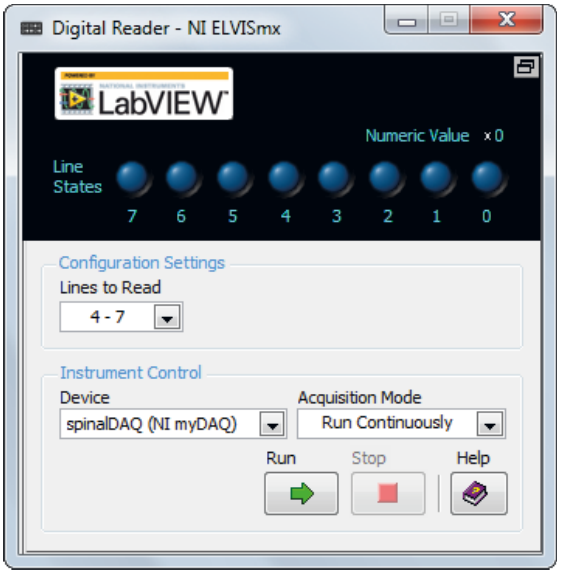
6.1 Output Channels ผู้ใช้งานสามารถเลือกให้สัญญาณเอาต์พุตไปออกที่ช่อง AO 0 AI 1 Audio Output Left และ Audio Output Right ได้

6.2 สามารถใช้ ช่องแอนาล็อกเอาต์พุต (AO Channels) หรือ ช่องเอาต์พุตสัญญาณเสียง (Audio Output Channels) ได้อย่างได้อย่างหนึ่ง ไม่สามารถเลือกใช้งานพร้อมกันได้



ภาพที่ 2.54 หน้าต่างของ Arbitrary Waveform Generator

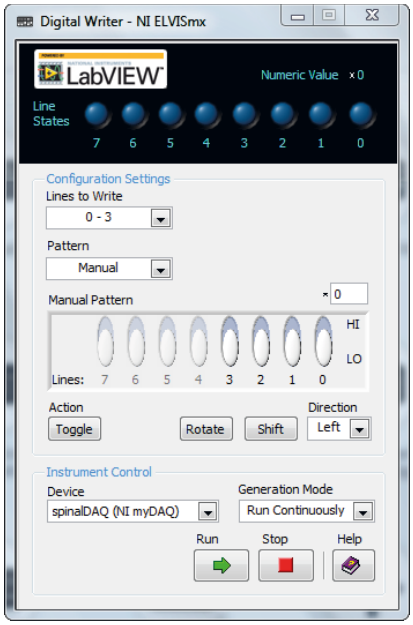
7. การอ่านข้อมูลแบบดิจิตอล แผงเมนูของการอ่านข้อมูลแบบดิจิตอลแสดงดังภาพที่ 2.55 แถบเมนู NI ELVISmx หรือ การอ่านข้อมูลแบบดิจิตอล ซึ่งจะอ่านจากเครื่อง NI myDAQ ซึ่งมีการทำงานโดยใช้สายอินพุตและเอาต์พุต I/O ในการส่งข้อมูลในการอ่านโดยในการอ่านข้อมูลนี้จะใช้พอร์ตจำนวน 2 พอร์ตสำหรับการอ่านข้อมูลทั้งหมด 4 จุดและใช้จำนวน 1 พอร์ตในการอ่านข้อมูลทั้งหมด 8 จุด



ภาพที่ 2.55 หน้าต่างของ Digital Reader

8. การเขียนข้อมูลแบบดิจิตอล แผงเมนูของการเขียนข้อมูลแบบดิจิตอลแสดงดังภาพที่ 2.56

แถบเมนู NI EL VISmx สามารถเขียนข้อมูลในรูปแบบดิจิตอลได้ โดยพอร์ต I/O lines เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปยังพอร์ตดังกล่าวจะสารารถทำงานได้ซึ่งสามารถเขียนได้ทั้งโหมด 4 บิต (0–3 หรือ 4–7) หรือ 8 บิต (0–7) และผู้ใช้ยังสามารถสร้างแพทเทิร์นขึ้นเองได้เช่น สัญญาณไฟกระพริบ สัญญาณไฟวิ่ง เป็นต้น โดยการควบคุมสัญญาณทั้งหมดนี้จะควบคุมด้วยการส่งสัญญาณเพียงครั้งเดียว



ภาพที่ 2.56 หน้าต่างของ Digital Write

2.5 การสอนแบบสาธิตและประเภทของการสอนแบบสาธิต

การสอนแบบสาธิต เป็นการสอนที่ครูผู้สอนหรือวิทยากร เป็นศูนย์กลางในการพูด อธิบายการทำงานหรือการปฏิบัติทดลอง และการใช้งานเครื่องมือ ผู้เรียนอาจมีส่วนร่วมบ้างบางครั้งขึ้นอยู่กับโอกาสหรือสถานการณ์ต่าง ๆ การสอนแบบสาธิตเป็นการสอนที่ผู้สอนจะสอน โดยการแสดงการใช้งานเครื่องมือบางชนิดหรือพูดอธิบายการทำงานของเครื่องมือบางอย่าง โดยมีรูปภาพหรือตัวอย่างประกอบการอธิบาย และการสอนแบบสาธิตนี้ จะช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่องมือ และอุปกรณ์ โดยผู้เรียนสามารถเรียนรู้การทำงานหรือการปฏิบัติทดลองได้จากการใช้ทักษะด้านกระบวนการเรียนรู้จากการสังเกต แต่อย่างไรก็ตามได้มีผู้กล่าวถึงความหมายการสอนแบบสาธิต ไว้หลากหลายดังนี้

ไสว ฟักขาว (2544 : 98) ได้กล่าวถึงการสอนแบบสาธิตว่า “เป็นการสอนแบบ แสดงให้ดู อาจเป็นการแสดงให้เห็นเป็นขั้นตอน วิธีการ ผลที่จะเกิดขึ้นหรือท่าทางต่างๆ โดยอาจทำในรูปของการสาธิตทดลอง หรือสาธิตปฏิบัติอาจทำไปใช้ในวิธีสอนแบบอื่นได้”

อาภรณ์ ใจเที่ยง (2546 : 142-143) ได้กล่าวถึงความหมายของ การสอนแบบสาธิตไว้ว่า “การสอนแบบสาธิต หมายถึง วิธีการสอนหรือผู้สอนหรือบุคคลใดบุคคลหนึ่ง แสดงหรือ กระทำให้ผู้เรียนได้เป็นตัวอย่างพร้อมๆ กับการบอก การอธิบายให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ตรง ในเชิงรูปธรรม ผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้จากการสังเกตกระบวนการ ขั้นตอนการสาธิตนั้น ๆ”

ทิศนา แขมมณี (2550:328) กล่าวว่า “การสอนโดยการใช้การสาธิตคือ กระบวนการที่ผู้สอนใช้การช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดโดยการแสดงหรือทำสิ่งที่ต้องการให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ ให้ผู้เรียนสังเกตดูแล้วให้ผู้เรียนซักถามอภิปราย และสรุปการเรียนรู้ที่ได้จากการสังเกตการสาธิต”

จากความหมายของการสอนแบบสาธิตที่ได้จากผู้ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถสรุปได้ว่า การสอน แบบสาธิต สามารถสอนได้หลายรูปแบบ คือ ผู้สอนเป็นผู้สาธิต ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสาธิต ผู้เรียน สาธิตเป็นกลุ่ม และผู้เรียนสาธิตเป็นรายบุคคล แต่การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีผู้สอนเป็นผู้สาธิต

2.5.1 ประเภทของการสาธิต

การสอนแบบสาธิตนั้นมีอยู่หลายประเภท ดังนั้นผู้สอนจะต้องเลือกวิธีการสอนมาใช้ให้เหมาะสมกับการสอนในสถานการณ์ หรือเหตุการณ์ ณ ขณะนั้นในแต่ละวิชา เช่น การสอนที่ต้องสาธิตในชั้นเรียน ผู้สอนอาจจะใช้การสอนโดยผู้สอนเป็นคนสาธิตคนเดียวหรือผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสาธิต โดย ซันด์และโทรบริดจ์ Sun and Trowbridge (1973 : 117-118) ได้กล่าวถึงประเภทของการสอนแบบสาธิต และแบ่งการสาธิตออกเป็น 6 ประเภทดังนี้

1. ครูแสดงการสาธิตคนเดียว
2. ครูและนักเรียนร่วมกันสาธิต
3. กลุ่มนักเรียนเป็นผู้สาธิต
4. นักเรียนคนเดียวเป็นผู้สาธิต
5. วิทยากรเป็นผู้สาธิต
6. การสาธิตเงียบ

2.5.2 วัตถุประสงค์ของการสอนแบบสาธิต

การสอนแบบสาธิตมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนผ่านการรับรู้ด้วยระบบประสาทสัมผัสทั้ง 5 ได้แก่ประสาทสัมผัส ทางตา หู จมูก ลิ้น และการสัมผัส ทำให้ผู้เรียนเห็นขั้นตอนการปฏิบัติที่ชัดเจน ส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจลำดับขั้นตอนต่างๆ และสามารถสรุปผลที่ได้รับจากการเรียนด้วยวิธี การสอนแบบสาธิตได้ และวัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งคือ วิธีการสอนแบบสาธิตสามารถนำไปใช้ในการสอนกับผู้เรียนจำนวนมากให้สามารถมองเห็นร่วมกันได้

2.5.3 ขั้นตอนการสอนแบบสาธิต

ขั้นตอนการสอนแบบสาธิต มี 3 ขั้นตอนดังนี้ โดย ไสว ฟักขาว (2544:98)

1. ขั้นเตรียม เป็นขั้นที่ครูจะต้องเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน รวมทั้งขั้นตอนตอนการสาธิตให้แม่นยำ นอกจากนี้ต้องวานแผนเรื่องสถานที่ที่จะทำการสาธิต ซึ่งต้องมั่นใจว่าผู้เรียนจะต้องมองเห็นได้อย่างทั่วถึง

2. ขั้นสาธิต เป็นขั้นที่ครูนำเข้าเรื่องที่สาธิต และทำการสาธิตตามขั้นตอนที่เตรียมไว้ ถ้ามีเวลา อาจให้ผู้เรียนบางคนมาร่วมสาธิตด้วยก็ได้

3. ขั้นสรุปและประเมินผล เป็นขั้นทีครูซักถามผู้เรียนเกี่ยวกับ สิ่งที่ได้สาธิตไปแล้ว เพื่อประเมินความเข้าใจว่า ผู้เรียนจะมองเห็นได้อย่างทั่วถึง

2.5.4 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีสอนโดยใช้การสาธิต โดย ทิศนา แขมมณี (2547:21) มีดังนี้

1. ข้อดี

1.1 เป็นวิธีสอนที่ช่วยให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากผู้สอน ผู้เรียนได้มีโอกาสเห็น สิ่งที่เรียนรู้อย่างเป็นรูปธรรม ทำให้เกิดความเข้าใจและจดจำในเรื่องที่สาธิตได้ดีและนาน

1.2 เป็นวิธีการสอนที่ช่วยประหยัดเวลา อุปกรณ์และค่าใช้จ่ายถ้าหากได้ใช้ทดแทนการทดลอง

1.3 เป็นวิธีที่สามารถสอนนักเรียนได้จำนวนมาก

2. ข้อจำกัด

2.1 เป็นวิธีการที่ผู้เรียนอาจไม่สังเกตเห็นการสาธิตอย่างชัดเจนทั่วถึง หากเป็นกลุ่มใหญ่

2.2 การการสาธิตเป็นประเภทที่ผู้สอนเป็นผู้สาธิต จึงอาจจะไม่เห็นพฤติกรรมของผู้เรียน

2.3 เป็นวิธีที่ผู้เรียนอาจมีส่วนร่วมไม่ทั่วถึงและมากพอ

2.4 อาจไม่เกิดความรู้ที่ลึกซึ้ง เพียงพอ

2.5.5 เทคนิคการสอนแบบสาธิต มีรายละเอียดดังนี้ โดย ทิศนา แขมมณี (2547:19-20)

1. การเตรียมการสอน ผู้สอนต้องมีการเตรียมตัวพอสมควร เพื่อให้การเรียนรู้เป็นไปอย่างสะดวก และราบรื่น การเตรียมตัวของครูผู้สอน คือ ครูผู้สอนควรมีการซ้อมการสาธิตก่อนทุกครั้ง

เพื่อจะได้เห็นปัญหาและเตรียมแก้ปัญหา ป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้น ต่อไปจึงจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ ในการใช้ประกอบการสอนแบบสาธิต โดยจัดวางไว้อย่างเหมาะสม สะดวกแก่การใช้ นอกจากนั้นควร จัดเตรียมแบบสังเกตการสอนแบบสาธิต และเตรียมคำถามที่ต้องการประเมินหรือประเด็นที่จะให้ผู้เรียน มีโอกาสได้ร่วมคิดและอภิปรายด้วย

2. ก่อนการสาธิต ผู้สอนควรให้ความรู้กับเรื่องที่สาธิต แก่ผู้เรียนอย่างเพียงพอ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจกับสิ่งที่สาธิตได้ โดยอาจใช้วิธีบรรยายหรือเตรียมเอกสาร ให้รายละเอียดเกียวกับลำดับ ขั้นตอนให้ผู้เรียน หรือใช้สื่อ เช่น วีดีทัศน์ หรือผู้สอนอาจมอบหมายให้ผู้เรียนไปศึกษาเนื้อหาสาระที่จะสาธิตล่วงหน้า และให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนในการสังเกต หรือจัดทำแบบสังเกต นอกจากนั้น ผู้สอนอาจใช้เทคนิค การมอบหมายงาน ที่จะต้องทำให้ผู้เรียนเป็นรายบุคคล และสังเกตเป็นพิเศษ เฉพาะจุด เฉพาะประเด็น เพื่อช่วยให้ผู้เรียนตั้งใจสังเกตการสาธิต มีส่วนร่วมในการสาธิตอย่างทั่วถึง

3. การสาธิต ผู้สอนอาจใช้วิธีการบรรยายประกอบการสาธิต การสาธิตควรเป็นไปอย่าง มีลำดับขั้นตอน ใช้เวลาอย่างเหมาะสม ไม่เร็วเกินไป ขณะสาธิตอาจใช้แผนภูมิ กระดานดำ หรือแผ่นใสประกอบ และควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถาม หรือซักถามผู้เรียนเป็นระยะ ๆ เพื่อกระตุ้นความคิดและความสนใจผู้เรียน และในบางกรณีอาจให้ผู้เรียนบางคนมาช่วยในการสาธิตด้วย เทคนิคการสาธิตอีกเทคนิคหนึ่งคือ การใช้การสาธิตเงียบ แทนการบรรยายประกอบการสาธิตและอาจมีการสาธิตซ้ำหากผู้เรียนยังไม่มีความเข้าใจชัดเจน นอกจากนั้นผู้สอนยังให้ผู้เรียนเป็นฝ่ายแสดงการสาธิตด้วยก็ได้ ในกรณีที่การสาธิต มีสิ่งที่อาจเป็นอันตรายได้ ผู้สอนจะต้องสอนให้ผู้เรียนรู้จักระมัดระวัง ในเรื่องของความปลอดภัย ฉะนั้น ผู้สอนจึงควรเตรียมการป้องกันและแก้ปัญหาไว้ด้วย

4. การอภิปรายสรุปการเรียนรู้ หลังจากการสาธิตแล้ว ผู้สอนควรจะให้ผู้เรียนรายงานสิ่งที่ได้สังเกตเห็น แลกเปลี่ยนความรู้กัน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถาม ผู้สอนควรเตรียมคำถามไว้กระตุ้นผู้เรียนคิดด้วย ผู้เรียนอภิปรายแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดที่แต่ละคนได้รับจากการสาธิตของผู้สอนและร่วมกันสรุปการเรียนรู้ที่ได้รับ

2.6 หลักการออกแบบและการพัฒนาชุดสาธิต

แนวทางการออกแบบการพัฒนาชุดสาธิต ผู้วิจัยได้ใช้แนวทางของ วัลลภ จันทร์ตระกูล (2530 : 25-45) มาดัดแปลงประยุกต์เป็นกรอบแนวคิด เพื่อใช้ในการวิจัยและหาคุณภาพของชุดสาธิต โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

2.6.1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดสาธิตไปใช้ในการสอนจากการตัดสินใจที่จะนำชุดสาธิต ไปใช้ในการเรียนการสอนเรื่องใด เพราะข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงาน

ออกแบบเพื่อสร้างชุดสาธิตและเพื่อกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยขั้นตอนดังกล่าว เป็นขั้นตอนที่ศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อจะนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างชุดสาธิต

2.6.2 การวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์นั้น เป้าหมายที่สำคัญคือต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

2.6.3 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์และชิ้นส่วนนำมาร่างเป็นแบบ คร่าว ๆ หรือร่างเป็นต้นแบบง่ายๆ ก่อนและจากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบในขั้นตอนนี้อาจจะมีการทดลองกับอุปกรณ์บางอย่างเพื่อให้การสร้างต้นแบบประสบผลสำเร็จและชุดสาธิตสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ

2.6.4 การเขียนแบบและสร้างชุดสาธิต ในขั้นตอนนี้ที่งานเขียนแบบอาจจะไม่จำเป็นแต่ถ้าหากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการดำเนินงานในครั้งต่อไปนั้น งานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินการผลิต ซึ่งแบบงานจะต้องแยกเป็นแบบแยกชิ้นเดี่ยวที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับในการผลิตได้ งานเขียนแบบจะต้องมีการกำหนดเป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อย และแบบชิ้นเดี่ยว การเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิตและเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนวัสดุ

การสร้างชุดสาธิตหลังจากได้ต้นแบบที่สมบูรณ์แล้ว จะต้องทำการทดสอบทางด้านเทคนิคเพื่อเก็บข้อมูลและเพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์นั้นมีคุณลักษณะตรงตามความต้องการ หลังจากนั้นจะพิจารณา แนวทางการผลิตต่อไป รวมทั้งกฎความปลอดภัยต่าง และข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเรียนการสอน

2.6.5 การเตรียมใบเนื้อหาการสอนหรือคู่มือการใช้งานชุดสาธิต โดยทั่วไปต้องเตรียมเอกสาร เพื่อที่ผู้ใช้จะได้ใช้ชุดสาธิตได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัยและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ต้องมีเอกสารประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งในบางครั้งเอกสารที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของงาน

2.6.6 การวิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติ โดยศึกษาเพื่อวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์และแบ่งลำดับ ความยากง่าย ของเนื้อหาที่จะทำการออกแบบสื่อการเรียนการสอน ซึ่งศึกษาจากตำรา เอกสารงานวิจัย รวมทั้งการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

2.6.7 การทดลองใช้ เป็นการทดสอบอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนของสถานศึกษาที่ได้กำหนดไว้ เพื่อหาข้อบกพร่องต่างๆ ของชุดสาธิต เช่น ความถูกต้อง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการใช้งาน

2.6.8 การปรับปรุงข้อมูล เป็นการนำข้อมูลต่างๆที่ได้จากการทดสอบมาปรับปรุงชุดสาธิตและคู่มือการใช้งานให้มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับ

2.7 การหาคุณภาพของชุดสาธิต

การหาคุณภาพของชุดสาธิตเป็นการนำเอาชุดสาธิต ไปทดลองใช้ตามขั้นตอนที่ กำหนดไว้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดสาธิต ให้ได้ผ่านการประเมินคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แล้วจึงนำไปใช้งานจริง โดยใช้การประเมินคุณภาพแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ มีเกณฑ์การจัดระดับคะแนนดังนี้

ระดับความเห็น 5 ระดับ แบ่งเป็น

ระดับ 5 ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก

ระดับ 4 ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดี

ระดับ 3 ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ปานกลาง

ระดับ 2 ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้

ระดับ 1 ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

โดยหลังจากประเมินแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยสามารถตีความหมายของคุณภาพได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.50 – 5.00 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ดีมาก

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.50 – 4.49 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ดี

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.50 – 3.49 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ปานกลาง

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.50 – 2.49 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ พอใช้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 – 1.49 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

2.7.1 การหาค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) ใช้สำหรับการหาค่าเฉลี่ย (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 164)

สูตร $$\overline{X} = \frac{\sum X}{n} \qquad (2.27)$$

เมื่อ $\overline{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n หมายถึง จำนวนคะแนนในกลุ่ม

2.7.2 การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้สำหรับวิเคราะห์กระจายของ ข้อมูล (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 179)

$$\text{สูตร S.D.} = \frac{\sqrt{\sum(x-\overline{x})^2}}{n-1} \qquad (2.28)$$

เมื่อ S.D. หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X หมายถึง ค่าแต่ละตัว

$\overline{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n หมายถึง จำนวนคะแนนในกลุ่ม

$\sum$ หมายถึง ผลรวมของข้อมูล

2.8 การหาความพึงพอใจของชุดสาธิต

การหาความพึงพอใจของชุดสาธิตเป็นการนำเอาชุดสาธิต ไปทดลองสอนจริงกับผู้เรียนแล้วให้ผู้เรียน ทำการประเมิน โดยใช้การประเมินคุณภาพแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ มีเกณฑ์การจัดระดับ คะแนนดังนี้

ระดับความเห็น 5 ระดับ แบ่งเป็น

ระดับ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด

ระดับ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก

ระดับ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับ ปานกลาง

ระดับ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อย

ระดับ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อยที่สุด

โดยหลังจากประเมินแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยสามารถตีความหมายของคุณภาพได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.50 – 5.00 ความพึงพอใจของชุดสาธิตอยู่ในระดับ มากที่สุด

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.50 – 4.49 ความพึงพอใจของชุดสาธิตอยู่ในระดับ มาก

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.50 – 3.49 ความพึงพอใจของชุดสาธิตอยู่ในระดับ ปานกลาง

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.50 – 2.49 ความพึงพอใจของชุดสาธิตอยู่ในระดับ น้อย
ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 – 1.49 ความพึงพอใจของชุดสาธิตอยู่ในระดับ น้อยที่สุด

2.8.1 การหาค่าเฉลี่ยสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (2.27)

2.8.2 การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (2.28)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณรงค์ศักดิ์ แสงเงิน (2545) ได้ทำการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพการสอน เรื่องวงจรขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์ ที่เกิดจากการทดลองที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือการสอนทดลองแบบปกติ (Traditional Laboratory) กับการสอนแบบใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางการเรียน (Laboratory Center) โดยใช้กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย เป็นนักศึกษาแผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง จำนวน 42 คน และทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มทดลองกลุ่มละ 21 คน และกลุ่มควบคุมกลุ่มละ 21 คน เพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ว่า ผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบใช้การทดลองเป็นศูนย์กลาง จะมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้สูงกว่าผู้เรียนที่ได้รับการสอนทดลองแบบปกติ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย รูปแบบการสอนทั้ง 2 วิธี ที่แสดงออกด้วยแผนการสอน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่วัดความสามารถในด้าน ความรู้-จำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า นักศึกษากลุ่มทดลองที่เรียนด้วยการสอนแบบใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางการเรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในภาพรวมสูงกว่านักศึกษากลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เป็นไปตามสมมติฐานาการวิจัย

จันนิภา อิสรัตน์ (2541) ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนระบบมัลติมีเดีย เรื่อง สารกึ่งตัวนำ ไดโอด และทรานซิสเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระบบมัลติมีเดียที่สร้างขึ้น โดยมีสมมติฐานของการวิจัยว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระบบมัลติมีเดียที่สร้างขึ้น สามารถใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธภาพมากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 การดำเนินการวิจัย ได้นำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาแผนกเทคนิคคอมพิวเตอร์ ระดับประกาศนียบัตรวิชชาชีพชั้นสูง ปีที่ 1 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี ปีการศึกษา 2541 จำนวน 16 คน

ผลการทดลองใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระบบมัลติมีเดีย พบว่า นักศึกษาทั้ง 16 คน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อทำการหาประสิทธิภาพจากการทำแบบทดสอบ

ระหว่างเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน กับการทำแบบทดสอบหาผลสัมฤทธิ์รวม พบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพ 86.74/81.25 และผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นเกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดี สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

ธีระยุทธ บุนนาค (2551) ได้กล่าวว่า “ การโปรแกรมมิ่งโดยโปรแกรมประเภทรูปภาพ และสัญลักษณ์ได้เข้ามามีบทบาทในงานทางด้านอุตสาหกรรม และงานการออกแบบการควบคุม อย่างแพร่หลาย เพราะว่าโปรแกรมประเภทโปรแกรมรูปภาพ และสัญลักษณ์ นั้นสามารถที่จะเข้าใจได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก เนื่องจากโปรแกรมประเภทโปรแกรมรูปภาพ และสัญลักษณ์ เป็นโปรแกรมที่ได้นำเอารูปภาพและสัญลักษณ์มาแทนการเขียนคำสั่งทีเป็นตัวอักษร ซึ่งการเขียนคำสั่งที่เป็นตัวอักษฯรนั้นอาจเกิดการผิดพลาดได้ง่าย และยังตรวจสอบหาข้อผิดพลาดได้ยาก ”

สวรรค์ญา พลเรือง (2556) ผู้วิจัยพัฒนาชุดการสอนเรื่องระบบการสื่อสารดิจิตอล โดยใช้สื่อโปรแกรมจำลองการทำงาน โปรแกรมแลบวิว หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ โทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี ที่ลงทะเบียนในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 20 คน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.08/80.50 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 80/80 การเปรียบเทียบก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่า ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนได้คะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียน ผู้เรียนมีความพอใจต่อชุดการสอนอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$= 4.26) ดังนั้นชุดการสอนที่สร้างขึ้นมาสามารถนำไปใช้ในการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
ผู้วิจัยพบว่า โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานตามหลกการของทฤษฎีได้อย่างถูกต้อง สามารถช่วยเหลือให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้อย่างลึกซึ้งและเห็นการทำงานของการมอดูเลตสัญญาณได้อย่างชัดเจน

ผลการประเมินพบว่า มีความเห็นต่อชุดการสอน มีค่าเฉลี่ยในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ($\overline{X}$ = 4.52) ซึ่งอยู่ในระดับดีมากโดยมีจุดบกพร่องบางส่วนที่ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความคิดเห็นคือ (ภาคผนวก ข : 95) ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้เชี่ยวชาญ ผศ. พรเทพ สรนันท์ ให้ความเห็นว่า ให้ปรับปรุงเนื้อหาและตรวจสอบสมการในการคำนวณให้ถูกต้อง ปรับคาบเวลาให้ตรงกับสัญญาณ O/P ควรจะทำโปรแกรมให้ครบทุกหน่วยเรียนจะดีมาก. อ. ดำรง เซ้งมณี ให้ความเห็นว่า ควรประยุกต์เนื้อหากับภาพการทำงานจริงในปัจจุบัน ควรอบรมโปรแกรมจำลองให้นักศึกษาที่สอนให้สามารถใช้งานได้

อดิศักดิ์ ร่มพุฒตาล (2558 : 75-86) ได้นำเสนอบทความ เรื่อง การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบดาต้าแอกควิซิชั่นต้นทุนต่ำด้วย LabVIEW (DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A LOW COST DATA ACQUISITION SYSTEM WITH LABVIEW) โดยนำเสนอการออกแบบระบบดาต้าอแกควิซิชั่นที่สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยระบบดาต้า

แอกควิซิชั่น จะถูกดำเนินการด้วยโปรแกรมแลบวิวซึ่งสามารถควบคุมการรับส่งข้อมูลและแสดงค่าที่คอมพิวเตอร์ โดยผู้นำเสนอบทความได้กล่าวว่า “โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในรูปแบบการเขียนโปรแกรมแบบสัญลักษณ์รูปภาพ ซึ่งการออกแบบจะอยู่ในรูปแบบบล็อก ทำให้ใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเขียนโปรแกรมในรูปแบบตัวอักษรทั่วไป” นอกจากนี้ยังได้พัฒนาระบบดาต้าแอกควิซิชั่นให้มีต้นทุนต่ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยระบบดาต้าแอกควิซิชั่นถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในโหมดการทำงานของแอนะล็อกอินพุต ดิจิตอลอินพุต และดิจิตอลเอาต์พุต ซึ่งจากการนำระบบดาต้าแอกควิซิชั่นไปทำการทดลองได้ผลปรากฏว่า สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยใช้โปรแกรม LabVIEW มาควบคุมการรับส่งข้อมูลและแสดงค่าที่จอคอมพิวเตอร์ด้วยการพัฒนาระบบให้มีต้นทุนต่ำ แล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโหมดการทำงานของดิจิตอลอินพุต และดิจิตอลเอาต์พุตได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมือนระบบดาต้าแอกควิซิชั่นที่มีราคาแพง ส่วนการนำโหมดแอนะล็อกอินพุตไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ ผลที่ได้คือบอร์ด DAQ ที่พัฒนาขึ้นมามีค่าความคลาดเคลื่อน 1.17 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่า R2 เท่ากับ 0.98 เนื่องจากค่าความละเอียดที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีจำนวนบิตที่น้อยกว่าบอร์ด DAQ ราคาแพง

ภาณุพงศ์ คงประเสริฐ และคณะ (2556) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมแลบวิว โดยจากผลการสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้าเสมือนโดยใช้โปรแกรมแลบวิว ร่วมกับ DAQ Board พบว่า สามารถสร้างเครื่องมือวัดเสมือนขึ้นมาใช้งานได้จริงตามที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการเขียนอักขระผ่านพอร์ต USB การส่งสัญญาณออกจากพอร์ต USB การรับสัญญาณเข้าสู่พอร์ต USB การอ่านสัญญาณแอนะล็อกผ่านพอร์ต USB ตลอดจนสามารถจำลองระบบให้สร้างสัญญาณทั้งแอนะล็อกและดิจิตอลเพื่อไปทำการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ ได้ด้วย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอน การวิจัย ภาคอุตสาหกรรม และยังสามารถพัฒนาโปรแกรมให้สามารถควบคุมหรือประมวลผลได้อีกมาก โดยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่าขณะรันโปรแกรม ไม่ควรถอดสาย USB ออกทันที ควรกดปุ่ม Run Stop ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลองครั้งต่อไป เนื่องจากหากไม่ตรวจสอบตามวิธีการที่แนะนำข้างต้นแล้ว อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการใช้งานครั้งถัดไป

Melanie L. Higa, Dalia M. Tawy, and Susan M. Lord (2002) ได้กล่าวว่าโปรแกรมแลบวิวที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย บริษัท เนชั่นแนลอินสทรูเม้นทส์ เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้ทางด้านการศึกษา และทางด้านอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากความนิยมดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะนำโปรแกรมแลบวิวมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า โดยการให้ผู้ช่วยนักวิจัย 2 ท่านจากมหาวิทยาลัย University of San Diego (USD) ศึกษาการใช้งานโปรแกรมแลบวิวโดยอ้างอิงตำราของ Beyon และ Bishop เพื่อทำการพัฒนาบทเรียนช่วยสอนด้วยโปรแกรมแลบวิวขึ้นมา โดยออกแบบการทดลองให้ใช้งานโปรแกรมแลบวิวร่วมกับวงจรกรองความถี่โดยใช้ตัวต้านทาน (Resistor : R) และตัวเก็บประจุ (Capacitor :C) เพื่อให้

นักศึกษาได้คำนวณหาการตอบสนองของความถี่ของวงจร ซึ่งการทดลองดังกล่าวนักศึกษาได้เคยเรียนมาก่อนหน้านี้แล้ว โดยผู้เรียนต้องทำการทดลองวัดค่าต่าง ๆ แล้วคำนวณหาค่า Gain จุดคัทออฟของความถี่และพลอตกราฟผลตอบสนองความถี่ด้วยตนเอง จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองขึ้นใหม่โดยใช้โปรแกรมแลบวิวเข้ามาช่วยวัดค่าและวิเคราะห์ประมวลผลแบบอัตโนมัติ รวมทั้งพลอตกราฟผลตอบสนองความถี่ของวงจร โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าคือฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์และออสซิลโลสโคป

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมแลบวิว เชื่อมต่อฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ และออสซิลโลสโคปเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต GPIB (General Purpose Interface Bus) สำหรับใช้ร่วมกับการทดลองเครื่องมือนี้จะทำหน้าที่ในการรับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือดังกล่าว มาคำนวณและพลอตกราฟผลตอบสนองความถี่ให้โดยอัตโนมัติ โดยขั้นตอนในการทดลองเริ่มจากให้นักศึกษาได้อ่านบทเรียนช่วยสอนเรื่องการใช้งานโปรแกรมแลบวิว จากนั้นให้นักศึกษาเขียนโปรแกรมอย่างง่ายโดยใช้โปรแกรมแลบวิวรับในการรับค่า Vo และ Vin แล้วนำมาคำนวณหาค่า Gain จุดคัทออฟของความถี่ การตอบสนองความถี่ของกราฟในที่เวลาปัจจุบัน ซึ่งผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการปรากฏว่าได้รับการตอบสนองจากผู้เรียนเป็นอย่างดี และผู้วิจัยพบว่าสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ผู้เรียนได้เรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

นักศึกษาที่ทำการทดลองหลายคนได้ชี้ให้เห็นข้อดีของโปรแกรมแลบวิวเปรียบเทียบกับโปรแกรมเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปที่เคยใช้งานมา ดังนี้

1. โปรแกรมแลบวิว มีข้อได้เปรียบมากกว่าโปรแกรม Pspice เพราะว่าสามารถเขียนโปรแกรมให้เชื่อมต่อกับฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์และออสซิลโลสโคปแล้วนำค่าที่ได้จากฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์และออสซิลโลสโคปมาคำนวณและแสดงผลในโปรแกรมได้ ในขณะที่การทดลองในโปรแกรม Pspice ทำได้เพียงการจำลองการทำงานของวงจรในทางทฤษฎีแต่ไม่ได้นำค่าที่ถูกต้องจากวงจรจริงมาทำการวิเคราะห์และประมวลผล

2. ขณะที่ใช้งานโปรแกรมแลบวิวผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องทำการวัดค่าใด ๆ หรือเป็นกังวลว่าผลการวัด จะไม่ถูกต้อง เพราะโปรแกรมแลบวิวมีเครื่องมือช่วยเหลือในการวิเคราะห์และประมวลผลค่าได้อย่าง ถูกต้องและมีประสิทธิภาพด้วยคอมพิวเตอร์

3. โปรแกรมแลบวิว สามารถจำลองการทำงานพร้อมทั้งบันทึกค่าและแสดงผลค่าซึ่งได้จากการทดลอง ได้ ในโปรแกรมเดียว ทำให้ประหยัดเวลาในการเรียนรู้

Dr. S. Chatterji, Shimi S.L, Amit Kumar Singh, Anshul Gaur (2015) ได้พัฒนาห้องปฏิบัติการสำหรับการส่งข้อมูลผ่านเว็บโดยใช้โปรแกรมแลบวิว ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ LM35 Pt100 และ เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) สำหรับการพัฒนากระบวนการสอน พร้อมทั้งสร้างห้องปฏิบัติการระยะไกลสำหรับผู้เรียน โดยใช้โปรแกรมแลบวิวเป็นโปรแกรมในการทดลองแบบเสมือนจริงผ่านหน้าเว็บไซต์ โดยสามารถตรวจสอบอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการเพื่อให้ผู้เรียนดำเนินการทดลองจริงที่เครื่องคอมพิวเตอร์ จากที่ใดก็ได้ ซึ่งห้องปฏิบัติการทดลองประกอบด้วย 3

ส่วนคือ ฮาร์ดแวร์สำหรับการทดลอง ระบบ DAQและโปรแกรมแลบวิวในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ และคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานระยะไกลของผู้เรียน โดยการทดลองผ่านห้องปฏิบัติการทางไกล เว็บเซิร์ฟเวอร์จะต้องเปิดระบบตลอดเวลาเพื่อเตรียมพร้อมในการปฏิบัติการทดลองของผู้เรียน ที่สามารถทำการทดลองได้ทุกเมื่อ โดยห้องปฏิบัติการผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์นั้นมีการทดลองอยู่ 3 การทดลองคือ การทดลองโดยใช้อุปกรณ์ LM35 Pt100 และเทอร์มิสเตอร์

สรุป จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศและนอกประเทศ ผู้วิจัยพบว่าการพัฒนาชุดทดลองในห้องปฏิบัติการและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีร่วมกับชุดทดลองนั้น เป็นการพัฒนาให้ผู้เรียนทุกคนได้มีส่วนร่วมในการทดลองปฏิบัติจริง ได้ความรู้จากการทดลองจริง ได้ทักษะต่างๆ และกระบวนการคิดอย่างมีเหตุผลซึ่งสามารถพัฒนาศักยภาพและประสิทธิภาพของผู้เรียนให้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเรียนการสอนทฤษฎีก็เป็นสิ่งที่สำคัญอันจะทำให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดว่า จะทำอย่างไรให้ผู้เรียนได้มีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการทำงานของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก รวมถึงวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ ก่อนการนำไปต่อยอดในการทดลองปฏิบัติ โดยจากการทบทวนเอกสารงานวิจัย ผู้วิจัยพบว่ามีประเด็นที่น่าสนใจคือการประยุกต์ใช้ระบบดาต้าแอกควิซิชั่นร่วมกับโปรแกรมแลบวิว มาประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน ซึ่งผู้วิจัยได้ยกเนื้อหาเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กมาเพื่อใช้ในการพัฒนาสื่อ โดยการสร้างชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวขึ้นมา เพื่อแสดงให้ผู้เรียนได้เห็นลักษณะของสัญญาณอินพุตจริงที่ถูกป้อนเข้าไปในวงจร และสัญญาณเอาต์พุตจริงที่ถูกส่งออกมาจากวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กโดยสามารถนำสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกันแล้วแสดงให้ผู้เรียนเห็นผ่านจอโปรเจ็กเตอร์ด้วยโปรแกรมแลบวิวได้ ซึ่งสามารถกระตุ้นการเรียนรู้ พัฒนาทักษะและความรู้ความเข้าใจได้เร็วกว่าการสอนแบบปกติ อีกทั้งช่วยอำนวยความสะดวกให้ผู้สอนได้นำเทคโนโลยีดาต้าแอกควิซิชั่นร่วมกับเทคโนโลยีการแสดงผลมาใช้เป็นสื่อในการสอนตลอดจนลดภาระในการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งก่อนปฏิบัติการสอน ขณะปฏิบัติการสอน และหลังปฏิบัติการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อสร้างชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวที่มีคุณภาพ และประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวในรายวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Engineering) รหัสวิชา 03376702 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3.4 การดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 13 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยในหัวข้อ ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว เป็นการวิจัยเชิงการพัฒนา มีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

3.2.1 ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ประกอบด้วย

1. สื่อการสอน ในรูปแบบของชุดสาธิตการสอน
2. ใบเนื้อหาการสอน สำหรับใช้งานร่วมกับชุดสาธิตจำนวน

3.2.2 แบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

3.2.3 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการสร้างเครื่องมือสำหรับงานวิจัย มีการกำหนดขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การสร้างชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงสัมภาษณ์ผู้สอน ที่สอนในรายวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างชุดสาธิต
2. กำหนดวัตถุประสงค์ในการสร้างชุดสาธิตเพื่อระบุให้ชัดเจนว่า ต้องการแก้ไขปัญหาด้านใด
3. วิเคราะห์หัวข้องานวิจัย เมื่อได้ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้องแล้ว จึงนำมาศึกษาว่าหัวข้องานวิจัยที่จะพัฒนา เพื่อมุ่งแก้ปัญหาด้านใด มีวัตถุประสงค์อะไร และเป็นไปได้หรือไม่ที่จะนำมาทำเป็นการวิจัย
4. นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อตรวจสอบ ปรับปรุงและแก้ไขหากมีจุดบกพร่อง

5. สร้างชุดสาธิต ซึ่งประกอบด้วย ชุดสาธิตการสอนวงขรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ใบเนื้อหาการสอน คู่มือการใช้งาน และแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิต

6. ทดสอบการทำงานส่วนต่างๆ ของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

7. จัดทำใบเนื้อหาการสอน โดยผู้วิจัยได้ออกแบบใบเนื้อหาการสอนให้มีเนื้อหาโดยสรุปที่อธิบายสาระสำคัญ เชื่อมโยงกับการทำงานและการวัดปริมาณสัญญาณต่างๆ ของวงจรทั้งด้านดีซีและเอซี ดังแสดงในภาคผนวก ฉ.

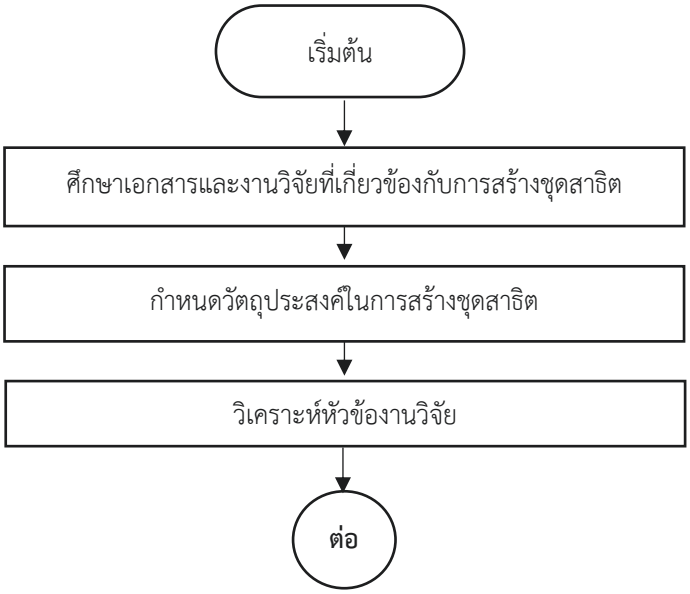
8. ตรวจสอบชุดสาธิตและใบเนื้อหาการสอนร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

9. นำชุดสาธิตเสนอผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

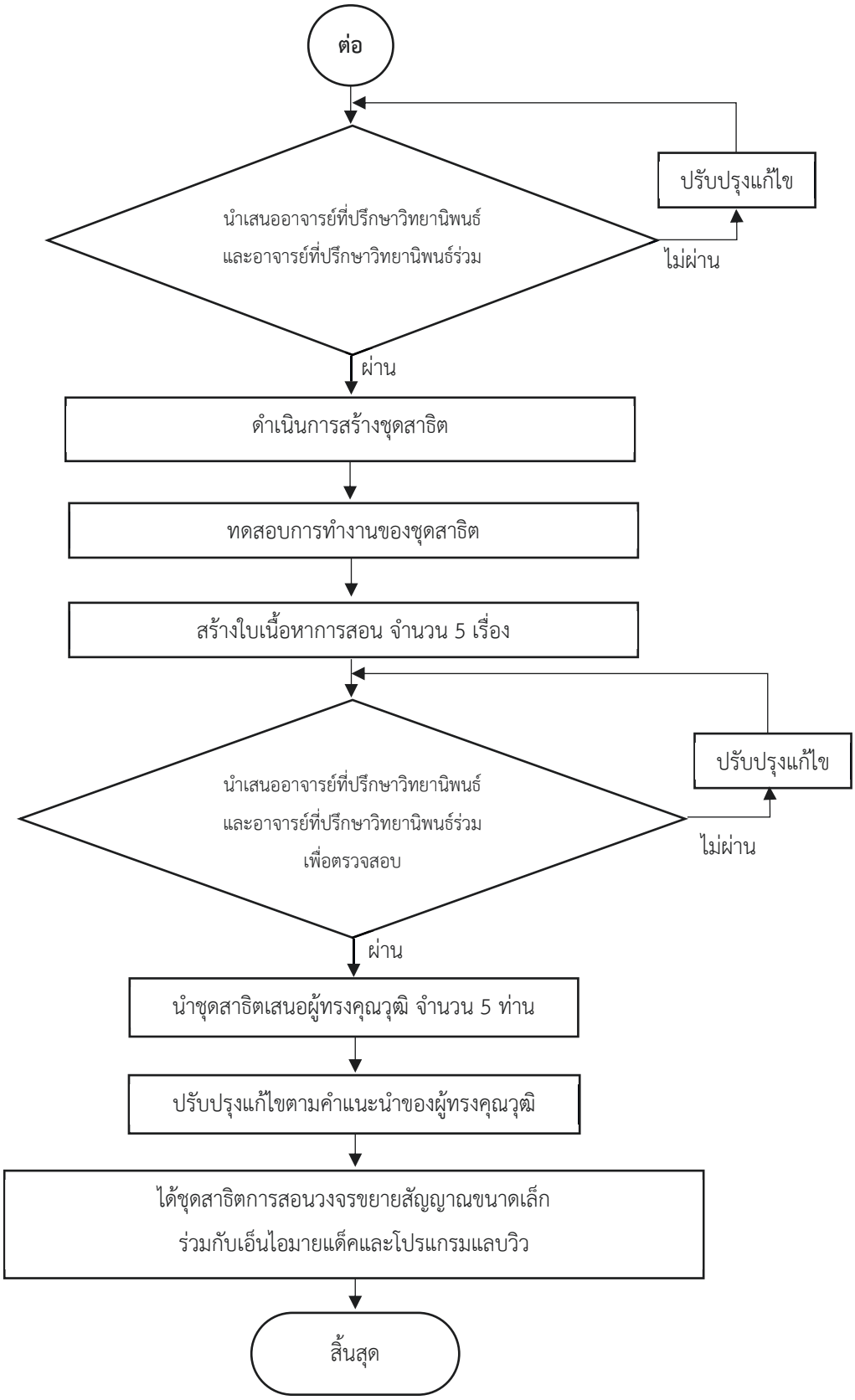
10. ปรับปรุงแก้ไข ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

11. ได้ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ดังแสดงในภาคผนวก ง. สำหรับนำไปใช้ร่วมกับการสอนแบบสาธิตในรายวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ที่กล่าวในข้างต้น

การสร้างชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว มีขั้นตอนการพัฒนาปรากฏดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ผังขั้นตอนการพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอ มายแด็คและโปรแกรมแลบวิว


ต่อ
นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ปรับปรุงแก้ไข
ไม่ผ่าน
ผ่าน
ดำเนินการสร้างชุดสาธิต
ทดสอบการทำงานของชุดสาธิต
สร้างใบเนื้อหาการสอน จำนวน 5 เรื่อง
นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
เพื่อตรวจสอบ
ปรับปรุงแก้ไข
ไม่ผ่าน
ผ่าน
นำชุดสาธิตเสนอผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน
ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
ได้ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว
สิ้นสุด

ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

3.3.2 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิต

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิต โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ด้านประกอบด้วย ด้านฮาร์ดแวร์และโครงสร้าง ด้านซอฟต์แวร์ และด้านการนำไปใช้ มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

2. ดำเนินการสร้างแบบประเมินคุณภาพ ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ซึ่งใช้แบบการประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (บุญชม ศรีสะอาด. 2553 : 102) มีเกณฑ์การจัดระดับคะแนนดังนี้

ระดับความเห็น 5 ระดับ แบ่งเป็น

5 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดี

3 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ปานกลาง

2 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้

1 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

หลังจากประเมินแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถแปลความหมายของคุณภาพได้ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.51 – 5.00 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ดีมาก

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.51 – 4.50 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ดี

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.51 – 3.50 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ปานกลาง

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.51 – 2.50 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ พอใช้

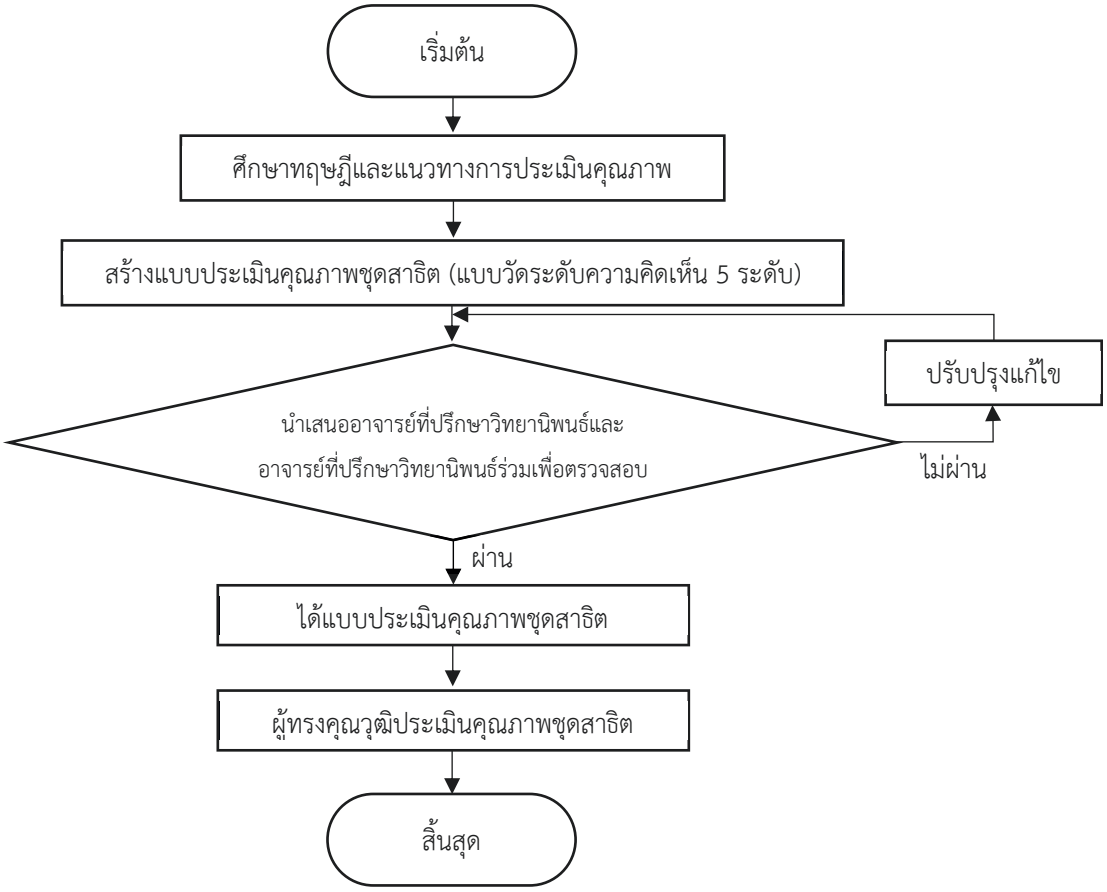
ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 – 1.50 คุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

3. นำแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิต เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อตรวจสอบ และนำไปปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ

4. ได้แบบประเมินคุณภาพ ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ที่ปรับปรุงแล้ว ดังแสดงในภาคผนวก ข.

5. นำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิต ปรากฏดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

3.3.3 การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ

1. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ

2. ดำเนินการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ซึ่งใช้แบบการประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (บุญชม ศรีสะอาด. 2553 : 102) มีเกณฑ์การจัดระดับคะแนนดังนี้ ระดับความเห็น 5 ระดับ แบ่งเป็น

5 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด

4 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก

3 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับ ปานกลาง

2 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อย

1 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อยที่สุด

หลังจากประเมินแล้ว จะนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบียงเบนมาตรฐาน สามารถตีความหมายของคุณภาพได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.51 – 5.00 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.51 – 4.50 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.51 – 3.50 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ ปานกลาง

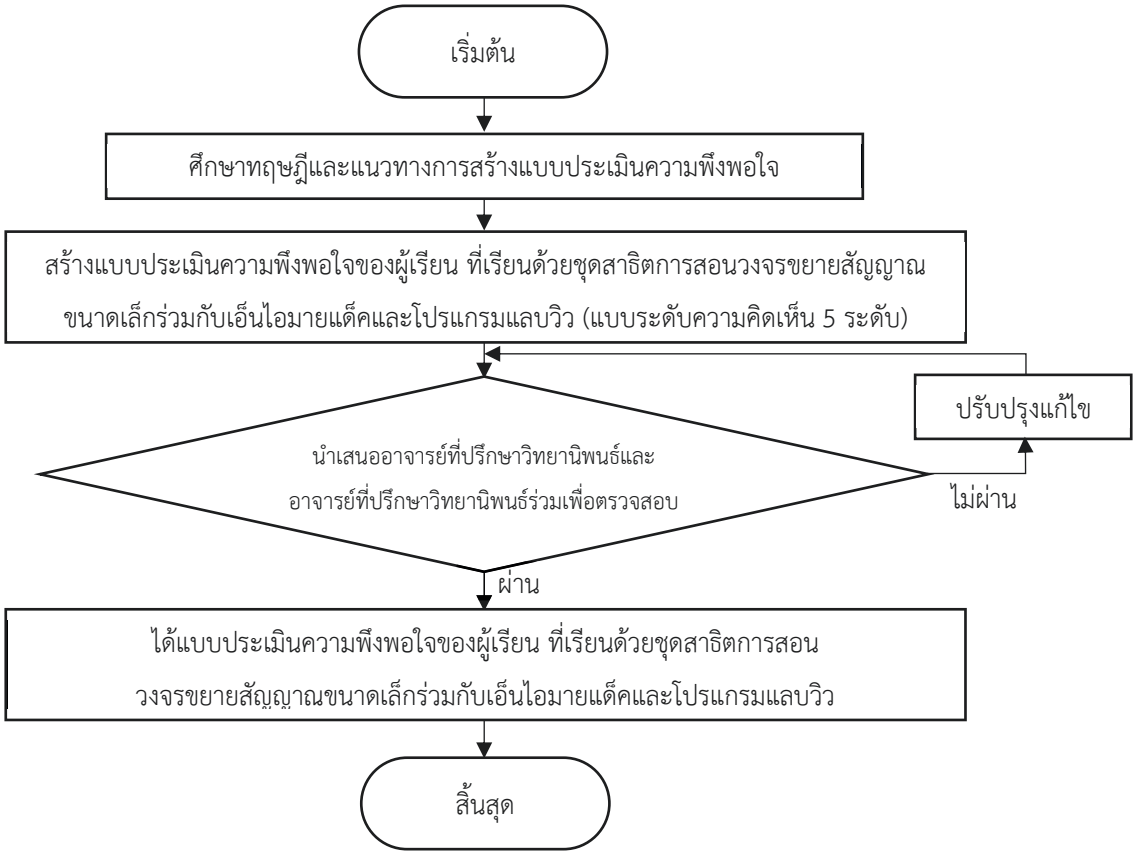
ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.51 – 2.50 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อย

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 – 1.50 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อยที่สุด

3. นำแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจสอบ และนำไปปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ

4. ได้แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ที่ปรับปรุงแล้ว ดังแสดงในภาคผนวก ค.

ขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ปรากฏดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

3.4 การดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยเพื่อหาคุณภาพและความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ยื่นคำร้องต่องานบริหารวิชาการและบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อออกหนังสือขอความอนุเคราะห์สนับสนุนการทำวิจัย ได้แก่ หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการประเมินคุณภาพชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว จากผู้ทรงคุณวุฒิ

3.4.2 ผู้วิจัยนำหนังสือขอความอนุเคราะห์ติดต่อผู้ทรงคุณวุฒิ รวมทั้งนัดหมายวันเวลาและสถานที่ในการประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

3.4.3 ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

3.4.4 นัดหมายกลุ่มตัวอย่างจำนวน 13 คน ที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง เพื่อนำชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ไปทดลองสอนด้วยวิธีการสาธิต

3.4.5 ให้กลุ่มตัวอย่าง ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ทำแบบประเมินความพึงพอใจ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 ในการหาคุณภาพ ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว จะใช้แบบประเมินคุณภาพที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเกณฑ์ในการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิจะต้องมีค่าเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไปจึงจะถือว่ามีคุณภาพ

3.5.2 ในการหาความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว จะใช้แบบประเมินความพึงพอใจ ที่ประเมินโดยกลุ่มตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

3.6.1 การหาค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) ใช้สำหรับการหาค่าเฉลี่ย (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 164)

$$\text{สูตร} \quad \overline{X} = \frac{\sum X}{n} \tag{3.1}$$

เมื่อ $\overline{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n หมายถึง จำนวนคะแนนในกลุ่ม

3.6.2 การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้สำหรับวิเคราะห์กระจายของข้อมูล (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 179)

$$\text{สูตร S.D.} = \frac{\sqrt{\sum(x-\overline{x})^2}}{n-1} \tag{3.2}$$

เมื่อ S.D. หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X หมายถึง ค่าแต่ละตัว

$\overline{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n หมายถึง จำนวนคะแนนในกลุ่ม

Σ หมายถึง ผลรวมของข้อมูล

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณภาพ และความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ในการหาคุณภาพจะเป็นการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ส่วนความพึงพอใจพิจารณาจากกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วยชุดสาธิต จำนวน 13 คน ผลการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติ สามารถนำเสนอข้อมูลตามลำดับดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมาย แด็คและโปรแกรมแลบวิว

4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ที่มีต่อคุณภาพของ ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างชุดสาธิต มีความคงทน แข็งแรง	4.80	0.45	ดีมาก
2. ขนาดกะทัดรัด เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน	4.60	0.89	ดีมาก
3. การออกแบบให้รองรับการสาธิตได้หลากหลายวงจร	3.80	0.83	ดี
4. วัสดุที่ใช้ง่ายต่อการบำรุงรักษา	4.00	0.71	ดี
5. ซอฟต์แวร์มีเมนูการใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน	4.60	0.55	ดีมาก

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
6. การแสดงผลของซอฟต์แวร์มีความเหมาะสม	4.40	0.55	ดี
7. การทำงานของซอฟต์แวร์มีความถูกต้อง	4.60	0.55	ดีมาก
8. ขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน	4.60	0.55	ดีมาก
9. ความสามารถในการตอบสนองการใช้งานของผู้สอน	4.80	0.45	ดีมาก
10. การเพิ่มประสิทธิภาพการสอนด้วยวิธีการสาธิต	4.60	0.55	ดีมาก
11. ความสะดวกในการใช้งานเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	4.60	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.49**	**0.57**	**ดี**

จากตารางที่ 4.1 พบว่า คุณภาพโดยรวมของ ชุดสาธิตการสอนจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว จัดอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.49, S.D. = 0.57) เมื่อพิจารณาแต่ละรายการพบว่า

รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{X}$ = 4.80, S.D. = 0.45) คือ วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างชุดสาธิตมีความคงทน แข็งแรง และความสามารถในการตอบสนองการใช้งานของผู้สอน

รองลงมา ($\overline{X}$ = 4.60, S.D. = 0.55) คือ มีขนาดกะทัดรัด เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซอฟต์แวร์มีเมนูการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน การทำงานของซอฟต์แวร์มีความถูกต้อง ขั้นตอนการใช้งาน ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน เพิ่มประสิทธิภาพการสอนด้วยวิธีสาธิต และความสะดวกในการใช้เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

รายการที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ การแสดงผลของซอฟต์แวร์มีความเหมาะสม มีการออกแบบให้รองรับการสาธิตได้หลากหลายวงจร และ วัสดุที่ใช้ง่ายต่อการบำรุงรักษา

จากผลการประเมินดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ชุดสาธิตการสอนจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ที่สร้างขึ้นมา มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

การสำรวจความพึงพอใจต่อชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วยชุดสาธิต จำนวน 13 คน มีผลการประเมินความพึงพอใจแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต	**4.60**	**0.49**	**มากที่สุด**
1. พอใจการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต	4.69	0.48	มากที่สุด
2. พอใจต่อชุดสาธิตการสอน	4.77	0.44	มากที่สุด
3. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอนและผู้เรียน	4.46	0.52	มาก
4. บรรยากาศของการเรียนช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้	4.46	0.52	มาก
ด้านความรู้ความเข้าใจ	**4.82**	**0.29**	**มากที่สุด**
1. เข้าใจขั้นตอนการวัดกระแสและแรงดันในวงจรจริง	4.85	0.38	มากที่สุด
2. ได้รับความรู้จากการเรียนร่วมกับชุดสาธิตเพิ่มมากขึ้น	4.62	0.51	มากที่สุด
3. การเชื่อมโยงความรู้ทางทฤษฎีและการปฏิบัติ	5.00	0.00	มากที่สุด
ด้านการนำไปใช้	**4.51**	**0.52**	**มาก**
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้กับวงจรอื่นได้	4.46	0.52	มาก
2. เลือกใช้วงจรขยายสัญญาณได้อย่างเหมาะสม	4.54	0.52	มากที่สุด
3. นำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้กับทักษะการปฏิบัติงานได้	4.54	0.52	มากที่สุด

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการนำเสนอและแสดงผล	**4.60**	**0.51**	**มากที่สุด**
1. ความเหมาะสมของลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา	4.38	0.51	มาก
2. การนำเสนอสื่อชุดสาธิตมีความสอดคล้องกับเนื้อหา	4.85	0.38	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมของการจัดองค์ประกอบหน้าจอแสดงผล	4.46	0.52	มาก
4. การแสดงผล ขณะสาธิต ชัดเจน สามารถมองเห็นได้ทั่วถึง	4.69	0.63	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	**4.63**	**0.46**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว มีความพึงพอใจโดยรวมจัดอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.63, S.D. = 0.46) และเมื่อพิจารณาแบบรายด้านพบว่า ความพึงพอใจแต่ละด้านจัดอยู่ในระดับมากที่สุด ประกอบด้วย ด้านความรู้ความเข้าใจ ($\overline{X}$ = 4.82, S.D. = 0.29) ด้านการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต ($\overline{X}$ = 4.60, S.D. = 0.49) ด้านการนำเสนอและแสดงผล ($\overline{X}$ = 4.60, S.D. = 0.51) และด้านการนำไปใช้ ($\overline{X}$ = 4.51, S.D. = 0.52)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยและพัฒนา ชุดสาธิตการสอนจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยผู้วิจัย มุ่งนำผลวิจัยที่ได้ไปใช้แก้ปัญหาสภาพการเรียนการสอนในรายวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Engineering) รหัสวิชา 03376702 เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวที่มีคุณภาพ

2. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

5.1.2 สมมติฐานของการวิจัย

1. ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบ วิว ที่สร้างขึ้นมา มีคุณภาพในระดับดีขึ้นไป ($\overline{X}$ = ≥ 3.50)

2. ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ที่สร้างขึ้นมา มีความพึงพอใจเฉลี่ยทุกด้านในระดับมากขึ้นไป ($\overline{X}$ = ≥ 3.50)

5.1.3 ประชาการและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 13 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว พร้อมใบเนื้อหาการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ซึ่งออกแบบให้มีเนื้อหาโดยสรุปที่อธิบายสาระสำคัญเชื่อมโยงกับการทำงานและการวัดปริมาณสัญญาณต่างๆ ของวงจรทั้งด้านดีซีและเอซี จำนวน 5 เรื่องประกอบด้วย

1.1 ใบเนื้อหาการสอนที่ 1 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

1.2 ใบเนื้อหาการสอนที่ 2 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

1.3 ใบเนื้อหาการสอนที่ 3 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

1.4 ใบเนื้อหาการสอนที่ 4 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

1.5 ใบเนื้อหาการสอนที่ 5 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

2. แบบประเมินคุณภาพชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยใช้แบบการประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่คุณภาพในระดับ ดีมาก ดี ปานกลาง พอใช้ และต้องปรับปรุง

3. แบบประเมินความพึงพอใจชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว แบ่งออกเป็น 4 ด้านคือ ด้านการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต ด้านความรู้ความเข้าใจ ด้านการนำไปใช้ และด้านการนำเสนอและแสดงผล ใช้แบบการประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ ความพึงพอใจในระดับ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด

5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เพื่อหาคุณภาพและความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วย ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว มีลำดับขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ก่อนนำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อตรวจสอบเครื่องมือ และประเมินคุณภาพ ก่อนนำไปใช้

2. นัดหมายวัน เวลา สถานที่ กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 13 คน เพื่อทดลองสอนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว และเก็บข้อมูล

3. ผู้วิจัยชี้แจงให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจวัตถุประสงค์ในการพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว และทดลองสอนโดยใช้วิธีการสาธิตร่วมกับชุดสาธิตที่สร้างขึ้น และชี้แจงเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจ

4. หลังจากสอนเนื้อหาเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับชุดสาธิต แล้ว ผู้วิจัยให้ผู้เรียนประเมินความพึงพอใจที่มีต่อชุดสาธิตในด้านต่างๆ

5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากการประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิมาวิเคราะห์เพื่อหาคุณภาพ และนำคะแนนที่กลุ่มตัวอย่างประเมินความพึงพอใจ ไปวิเคราะห์หาความพึงพอใจของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวสิ่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วิเคราะห์หาคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. วิเคราะห์หาความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.1.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าวสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. คุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จัดอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.49, S.D. = 0.57)

2. ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว จำนวน 13 คน จัดอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\overline{X}$= 4.63, S.D. = 0.46)

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 ผลการพัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวโดยการวิเคราะห์เนื้อหาจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาออกแบบชุดสาธิตการสอนสำหรับอำนวยความสะดวกแก่ผู้สอน และช่วยให้ผู้เรียนสามารถมองเห็นวงจร ขั้นตอนและวิธีการวัดสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ได้อย่างชัดเจน ทำให้ผู้เรียนติดตามเรียนรู้สิ่งที่ผู้สอนอธิบายและสาธิตการทำงานของวงจรได้เป็นอย่างดี ประกอบกับชุดสาธิตที่ผู้วิจัยออกแบบ มีความยืดหยุ่นสามารถถอดเปลี่ยนวงจรสำหรับแต่ละการทดลองเพื่อใช้ในการสาธิตได้ง่าย โดยได้ออกแบบให้สามารถนำแผงทดลองของวงจรอื่น ๆ ที่ต้องการใช้สอนเพิ่มเติมในอนาคตมาใช้งานร่วมกันได้ และผู้วิจัยได้สร้างส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ โดยใช้โปรแกรมแลบวิว ทำให้การแสดงผลสวยงามน่าสนใจ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้คำนึงถึงขนาดของชุดสาธิต จึงได้ออกแบบให้มีขนาดเล็ก พกพาได้สะดวก และสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์และโปรเจ็กเตอร์เพื่อแสดงผลบนจอขนาดใหญ่ ทำให้ผู้เรียนเห็นการทำงานได้อย่างชัดเจนทั่วถึงทุกตำแหน่งของห้องเรียน

5.2.2 ผลการหาคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว จัดอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.49, S.D. = 0.57) ซึ่งสอดคล้องตามสมมติฐานของการวิจัยในระดับดีขึ้นไป ($\overline{X} \geq 3.50$) และเป็นไปตามความมุ่งหมายของผู้วิจัย กล่าวคือต้องการให้ชุดสาธิตการสอนสามารถอำนวยความสะดวกในการสอนของผู้สอนทั้งก่อนปฏิบัติการสอน ขณะปฏิบัติการสอน และหลังปฏิบัติการสอนได้ ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการในการทำงานวิจัยของจิรายุทธ แก้วอาสา และคณะ (2549 : 25-30) เนื่องจากมีกระบวนการในการสร้างชุดสาธิตการสอนและหาคุณภาพของชุดสาธิตการสอนเหมือนกัน โดยได้สร้างชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic ซึ่งมีคุณภาพของชุดสาธิตการสอน จัดอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.28, S.D. = 0.14) เช่นเดียวกัน โดยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวที่สร้างขึ้นมีรูปร่างทางกายภาพที่มีความกะทัดรัด ช่วยลดภาระในการพกพาเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้สอน และช่วยส่งเสริมผู้เรียนให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน นอกจากนั้นยังมีความสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงรวมทั้งการหาอุปกรณ์ทดแทนเมื่อเกิดความเสียหายได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการ

ดำเนินการพัฒนาอย่างเป็นขั้นตอน มีการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อให้ได้สื่อชุดสาธิตการที่มีคุณภาพ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

5.2.3 ความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว พบว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวมีความพึงพอใจโดยรวม จัดอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.63, S.D. = 0.46) และเมื่อพิจารณาแบบรายด้านพบว่า มีความพึงพอใจ จัดอยู่ในระดับมากที่สุดทุกด้าน ประกอบด้วย ด้านความรู้ความเข้าใจ ($\overline{X}$ = 4.82, S.D. = 0.29) ด้านการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต ($\overline{X}$ = 4.60, S.D. = 0.49) ด้านการนำเสนอและแสดงผล ($\overline{X}$ = 4.60, S.D. = 0.51) และด้านการนำไปใช้ ($\overline{X}$ = 4.51, S.D. = 0.52)

จากผลการประเมินความพึงพอใจดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวที่สร้างขึ้นมา ช่วยส่งเสริมความรู้ความเข้าใจเนื้อหาทางทฤษฎีให้กับผู้เรียน ตลอดจนสามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับทักษะในการปฏิบัติงานได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. เมื่อพิจารณา ผลการประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวพบว่ามีข้อที่ควรปรับปรุงและนำไปพัฒนาอยู่ 2 ประเด็นคือ

1.1 การออกแบบให้ชุดสาธิต ควรออกแบบให้สามารถรองรับการสาธิตได้หลากหลายวงจร นอกเหนือจากเรื่องวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์ 3 คอมมอน

1.2 วัสดุที่ผู้วิจัยนำมาใช้เป็นอลูมิเนียมแบบบาง สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ในระดับหนึ่ง ในอนาคตหากนำไปพัฒนาหรือปรับปรุงคุณภาพ สามารถเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติดีกว่านี้ได้เช่น วัสดุที่ทำมาจาก พลาสติกพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหนียว แตกยาก รองรับการกระแทกได้ดีกว่าวัสดุที่ผู้วิจัยเลือกใช้

2. เมื่อพิจารณาผลการประเมินความพึงพอใจพบว่าจุดที่ควรปรับปรุงมากที่สุดคือ ด้านความเหมาะสมของดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา และการจัดองค์ประกอบหน้าจอแสดงผล

ซึ่งในอนาคต ควรออกแบบให้สามารถปรับตั้งค่าหรือแสดงสัญญาณต่างๆ ได้มากขึ้นเช่น แสดงรูปแบบของสัญญาณได้มากขึ้น จากเดิมที่สามารถแสดงได้ 3 รูปแบบคือ สัญญาณไซน์ สัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณสี่เหลี่ยม

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิวเป็นเครื่องมือ ที่มีความยืดหยุ่น สามารถจำลองการทำงานของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะนำไปใช้กับงานลักษณะใด ดังนั้นจึงสามารถนำชุดสาธิต ที่ผู้วิจัยได้ทำการสร้างต้นแบบไประยุกต์ใช้กับการสอนวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ นอกเหนือจากวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กได้ เช่น นำไปสอนร่วมกับวงจรเรียงกระแส เพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นภาพของสัญญาณอินพุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น

บรรณานุกรม

กิจไพบูลย์ ชีวพันธุศรี. 2554. **LabVIEW ซอฟแวร์เพื่อการพัฒนาระบบการวัดและควบคุม.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

กิติพงค์ มะโน. 2554. **วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จันนิภา อิศรัตน์ 2541. **การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระบบมัลติมีเดีย เรื่องสารกึ่งตัวนำ ไดโอด และทรานซิสเตอร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า. บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

จิรายุทธ แก้วอาสา และคณะ. 2549. **ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic.** วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 2(5), น. 25-30

เชษฐา เจริญสุข. 2546. **การสร้างชุดทดลองการควบคุมลิฟต์ ด้วยวงจรดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์.** มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: (ม.ป.ท.)

ณรงค์ศักดิ์ แสงเงิน. 2545. **การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ระหว่างการสอนแบบใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางการเรียนกับ การสอนทดลองปกติเรื่องวงจรขยายทรานซิสเตอร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ทิศนา แขมมณี. (2547). **ศาสตร์การสอน.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทิศนา แขมมณี. (2550). **รูปแบบการเรียนการสอนทางเลือกที่หลากหลาย.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีระยุทธ บุนนาค. 2551. **ชุดสาธิตการอินเตอร์เฟสโดยโปรแกรมแลบวิว.** เชียงใหม่ : มทร.ล้านนาเชียงใหม่

บุญชม ศรีสะอาด. 2553. **วิจัยเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ. สุวีริยาสาส์น.

บุญเหลือ ทองเอี่ยม และ สุวรรณ นาภู. 2541**. การใช้สื่อการสอน (Utilization of Instructional Media).** พิมพ์ครั้ง ที่ 9. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ภาณุพงศ์ คงประเสริฐ และคณะ. 2556. **การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW.** ปริญญานิพนธ์ หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

รวีวรรณ ชินะตระกูล. (2542). **การทำวิจัยทางการศึกษา.** กรุงเทพฯ : ที.พี. พริ้นท์.

วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530. **การเลือกใช้และการสร้างสื่อการเรียนการสอน.** วารสารครุศาสตร์เทคโนโลยี, 2530, 25 – 45

สมาน กาญจนพฤกษ์. 2545. **การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง เรื่อง วิเคราะห์ วงจรไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม PSpice for Windows.** ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สวรรค์ญา พลเรือง. 2556. **การพัฒนาและหาประสิทธิภาพของชุดการสอน เรื่องระบบการสื่อสารดิจิตอลโดยใช้สื่อโปรแกรมจำลองการทำงาน LabVIEW หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ไสว ฟักขาว. (2544 : 98). **หลักการสอนสำหรับการเป็นครูมืออาชีพ.** กรุงเทพฯ : เอมพันธ์.

อดิศักดิ์ ร่มพุฒตาล. 2557. **LabVIEW สำหรับงานควบคุมฮาร์ดแวร์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อดิศักดิ์ ร่มพุฒตาล. 2558. **การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบดาต้าแอกควิซิชั่นต้นทุนต่ำด้วย LabVIEW.** วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 7(14), น. 75-86.

อาภรณ์ ใจเที่ยง. 2546. **หลักการสอน.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์

Dr. S. Chatterji, Shimi S.L, Amit Kumar Singh, Anshul Gaur. 2015. **A REVIEW ON DEVELOPMENT OF LabVIEW BASED REMOTE MONITORING SYSTEM.** International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 4 Issue 4 (April).

Melanie L. Higa, Dalia M. Tawy, and Susan M. Lord. 2002. **AN INTRODUCTION TO LABVIEW EXERCISE FOR AN ELECTRONICS CLASS.** ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 32 (November), Boston, MA TID-13 to TID-16.

Sun, R.B. & Trowbridge, L.W. (1973). **Teaching science by inquiry in the secondary school (2nd ed).** Columbus : Charles E. Merrill.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือจากงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ภาคผนวก ค แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ภาคผนวก ง ภาพแสดงชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างใบเนื้อหาการสอน

ภาคผนวก ก

หนังสือจากงานบัณฑิตศึกษา
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร. 3692
ที่ ศธ 0524.04 /0351 **วันที่** 5 กุมภาพันธ์ 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมิน

เรียน ผศ.ดร.พิชญ์สินี มะโน

ด้วยนายธิชานนท์ ร่มสายหยุด นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแค็คและโปรแกรมแลบวิว" โดยมี รศ.ดร. กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นพ้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร. 3692
ที่ ศธ 0524.04 /0351 **วันที่** 5 กุมภาพันธ์ 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมิน

เรียน อาจารย์วัชรินทร์ คงพิบูล

ด้วยนายธิชานนท์ ร่มสายหยุด นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว" โดยมี รศ.ดร. กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นพร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ที่ ศธ 0524.04/ **0351**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหาร ลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

5 กุมภาพันธ์ 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมิน

เรียน ผศ.พงศ์พัทธ์ มังคละคีรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

ด้วยนายธิชานนท์ ร่มสายหยุด นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแล็ดและโปรแกรมแลบวิว" โดยมี รศ.ดร. กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ที่ ศธ 0524.04/ 0351

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหาร ลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

5 กุมภาพันธ์ 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมิน

เรียน นายกิจโพบูลย์ ชีวพันธุศรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

ด้วยนายธิชานนท์ ร่มสายหยุด นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแล็คและโปรแกรมแลบวิว" โดยมี รศ.ดร. กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ที่ ศธ 0524.04/ **0351**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหาร ลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

5 กุมภาพันธ์ 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมิน

เรียน นายจุมพล จวนอาจ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

ด้วยนายธิชานนท์ ร่มสายหยุด นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแล็ดและโปรแกรมแลบวิว" โดยมี รศ.ดร. กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ภาคผนวก ข

แบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการสอน วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็ค และโปรแกรมแลบวิว

แบบประเมินคุณภาพของ
ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

คำชี้แจง

แบบประเมินชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ผู้วิจัยทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขอรับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม (แขนงวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด
ผู้วิจัย

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

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

ระดับที่	5	หมายถึง	ดีมาก
ระดับที่	4	หมายถึง	ดี
ระดับที่	3	หมายถึง	ปานกลาง
ระดับที่	2	หมายถึง	พอใช้
ระดับที่	1	หมายถึง	ต้องปรับปรุง

แบบประเมินคุณภาพของ

ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแล็คและโปรแกรมแลบวิว

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
	5	4	3	2	1
1. ด้านฮาร์ดแวร์และโครงสร้าง					
1.1 วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างชุดสาธิต มีความคงทน แข็งแรง					
1.2 ขนาดกะทัดรัด เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน					
1.3 การออกแบบให้รองรับการสาธิตได้หลากหลายวงจร					
1.4 วัสดุที่ใช้ง่ายต่อการบำรุงรักษา					
2. ด้านซอฟต์แวร์					
2.1 ซอฟต์แวร์มีเมนูการใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน					
2.2 การแสดงผลของซอฟต์แวร์มีความเหมาะสม					
2.3 การทำงานของซอฟต์แวร์มีความถูกต้อง					
3. ด้านการนำไปใช้งาน					
3.1 ขั้นตอนการใช้งาน ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน					
3.2 ความสามารถในการตอบสนองการใช้งานของผู้สอน					
3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพในการสอนด้วยวิธีการสาธิต					
3.4 ความสะดวกในการใช้งานเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.

ลงชื่อ .....

( )

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ภาคผนวก ค

แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน
ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน
ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

คำชี้แจง

แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนแบบสาธิต ด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ผู้วิจัยทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขอรับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม (แขนงวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด
ผู้วิจัย

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

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

ระดับที่	5	หมายถึง	พึงพอใจมากที่สุด
ระดับที่	4	หมายถึง	พึงพอใจมาก
ระดับที่	3	หมายถึง	พึงพอใจปานกลาง
ระดับที่	2	หมายถึง	พึงพอใจน้อย
ระดับที่	1	หมายถึง	พึงพอใจน้อยที่สุด

แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน
ที่เรียนด้วยชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ด้านการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต						
1.1	พอใจการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบสาธิต					
1.2	พอใจต่อชุดสาธิตการสอน					
1.3	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอนและผู้เรียน					
1.4	บรรยากาศของการเรียนช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้					
2. ด้านความรู้ความเข้าใจ						
2.1	เข้าใจขั้นตอนการวัดกระแสและแรงดันในวงจรจริง					
2.2	ได้รับความรู้จากการเรียนร่วมกับชุดสาธิตเพิ่มมากขึ้น					
2.3	การเชื่อมโยงความรู้ทางทฤษฎีและการปฏิบัติ					
3. ด้านการนำไปใช้						
3.1	สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้กับวงจรอื่นได้					
3.2	เลือกใช้วงจรขยายสัญญาณได้อย่างเหมาะสม					
3.3	นำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้กับทักษะการปฏิบัติงานได้					
4. ด้านการนำเสนอและแสดงผล						
4.1	ความเหมาะสมของลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา					
4.2	การนำเสนอสื่อชุดสาธิตมีความสอดคล้องกับเนื้อหา					
4.3	ความเหมาะสมของการจัดองค์ประกอบหน้าจอแสดงผล					
4.4	การแสดงผล ขณะสาธิตที่ชัดเจน สามารถมองเห็นได้ทั่วถึง					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

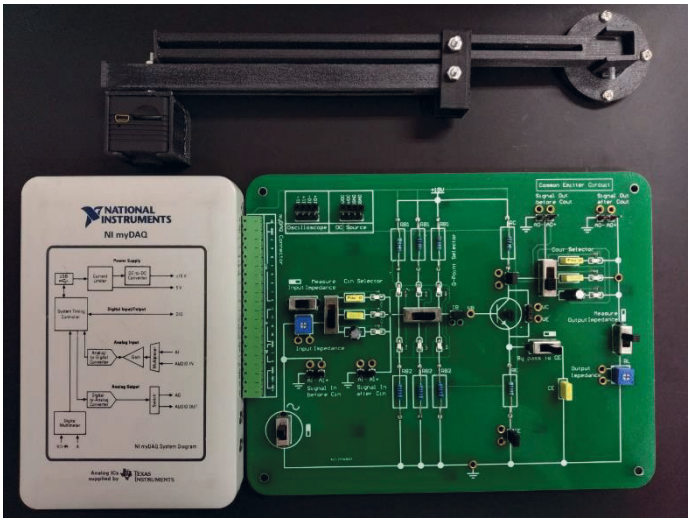
.....

.....

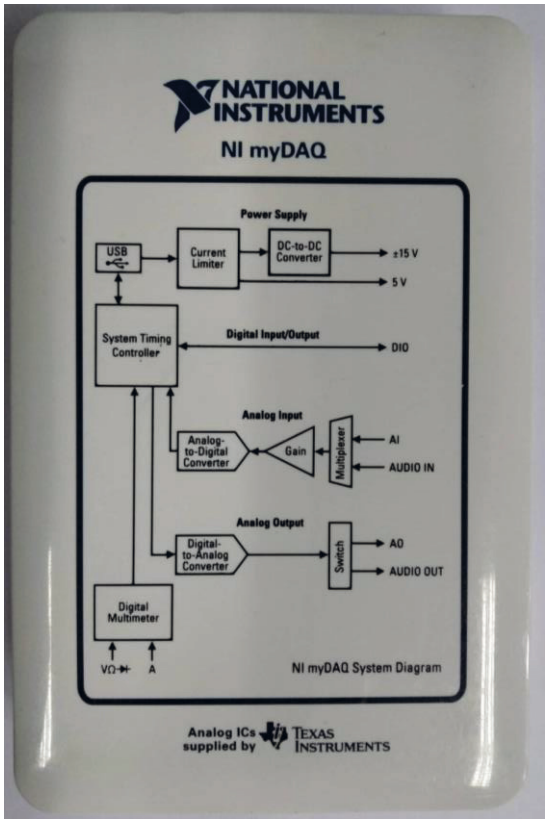
ภาคผนวก ง

ภาพแสดงชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

ภาพที่ ง.1 ชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

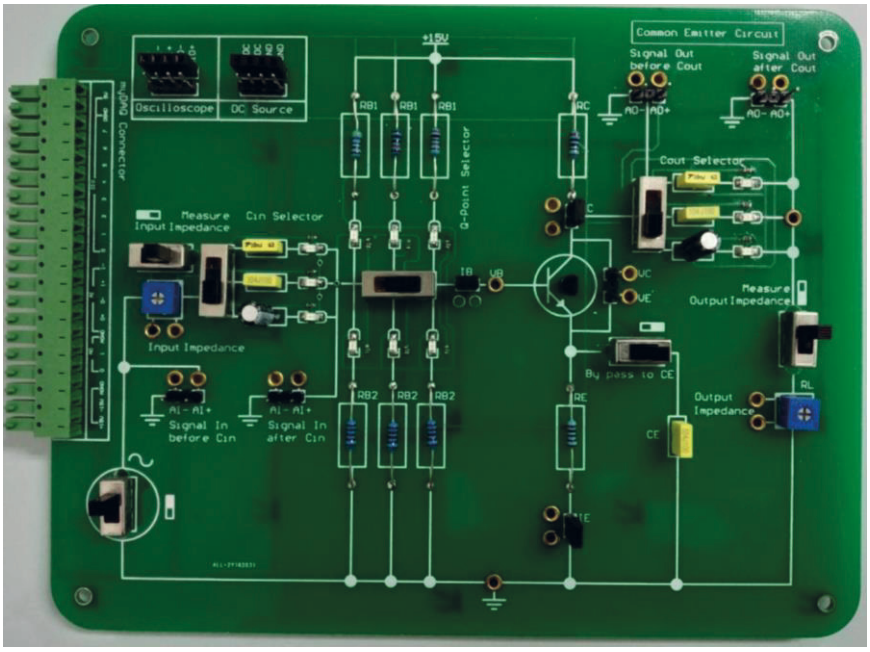


ภาพที่ ง.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง



ภาพที่ ง.3 เอ็นไอมายแด็ค

ภาพที่ ง.4 สายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเอ็นไอมายแด็ค



ภาพที่ ง.5 แผงทดลองวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กที่สร้างขึ้น

ภาพที่ ง.6 ชุดสายวัดมัลติมิเตอร์

ภาพที่ ง.7 กล้องที่ติดตั้งภายในชุดสาธิต

ภาพที่ ง.8 สายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับกล้อง

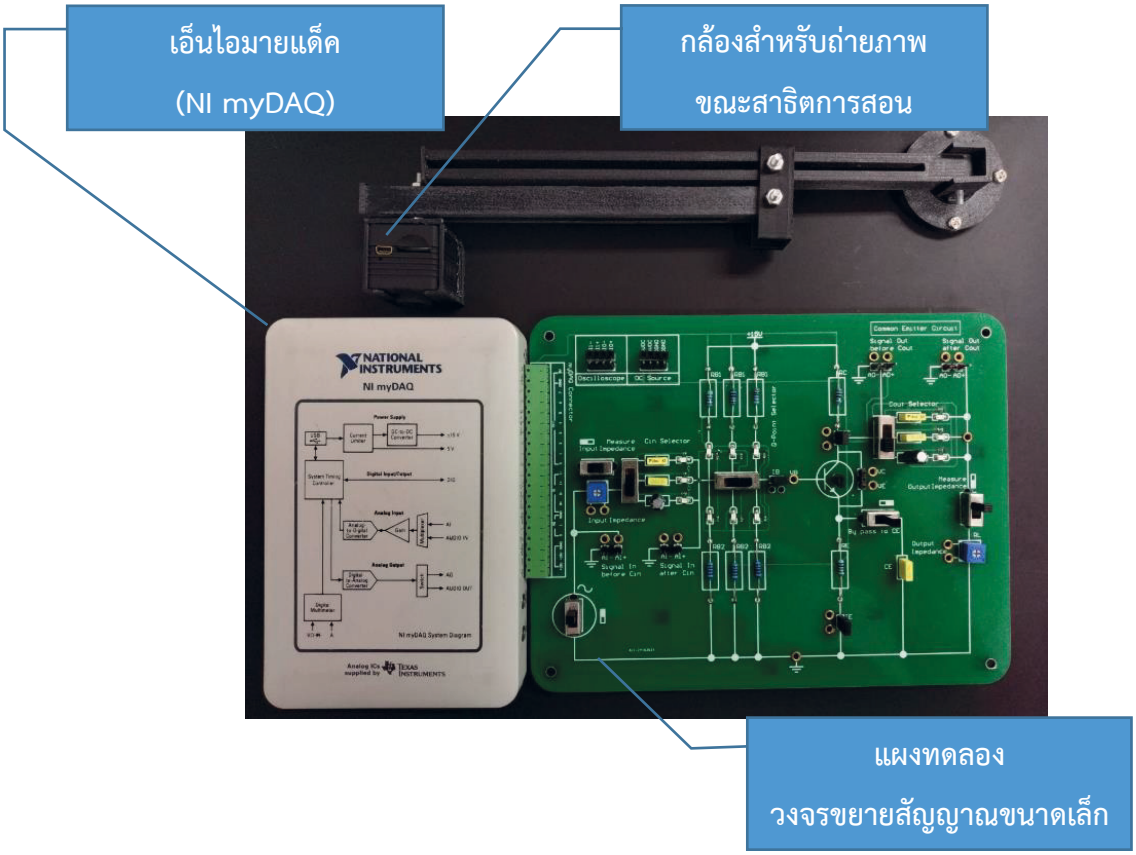
ภาพที่ ง.9 สายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับแผงทดลอง

ภาพที่ ง.10 ใบเนื้อหาการสอน เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

ภาคผนวก จ

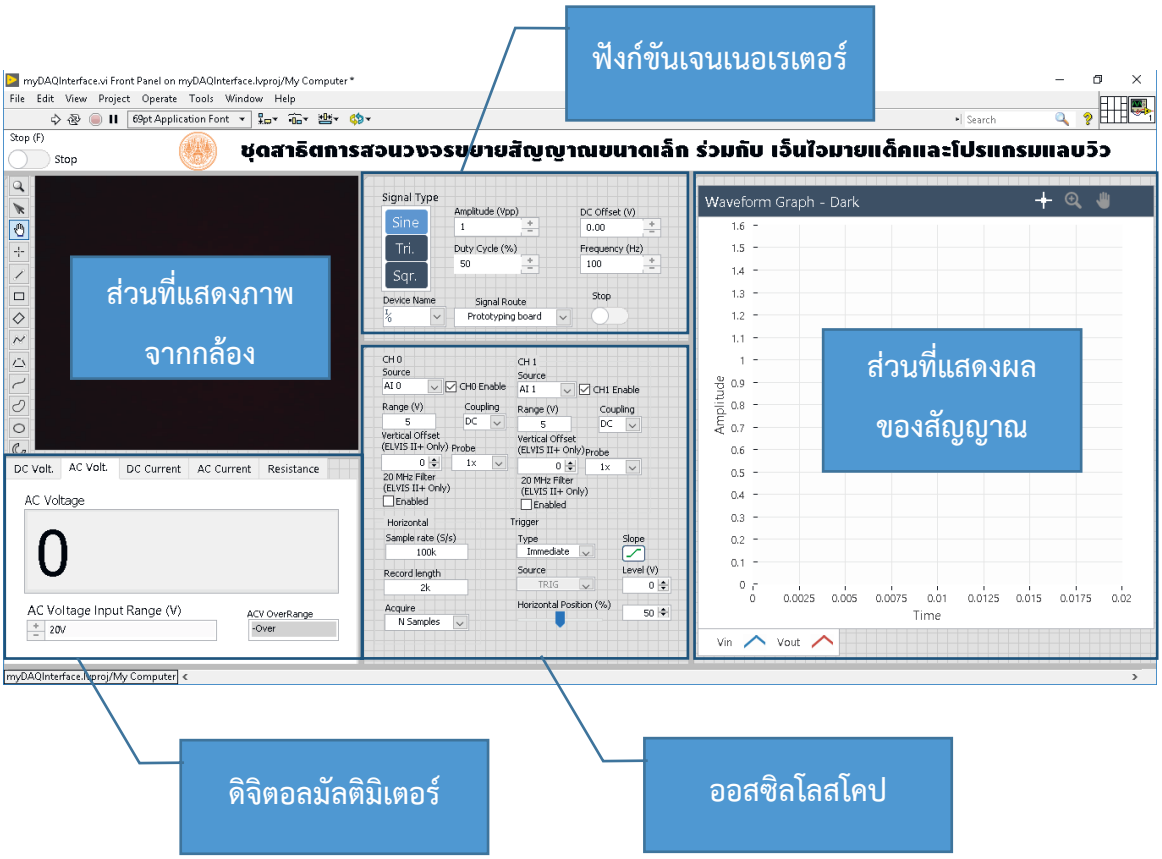
คู่มือการใช้งานชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

1. โครงสร้างและรายละเอียดส่วนประกอบชุดสาธิตการสอนวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว



ภาพที่ จ.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของชุดสาธิต

2. องค์ประกอบของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI)



ภาพที่ จ.2 องค์ประกอบของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI)

จากภาพที่ จ.2 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานสามารถแบ่งออกได้ 5 ส่วนหลัก ดังนี้

2.1 ส่วนที่แสดงผลภาพจากกล้อง ในส่วนนี้จะแสดงภาพขณะผู้สอนกำลังใช้งานชุดสาธิตโดยกล้องที่ติดตั้งภายในชุดสาธิต

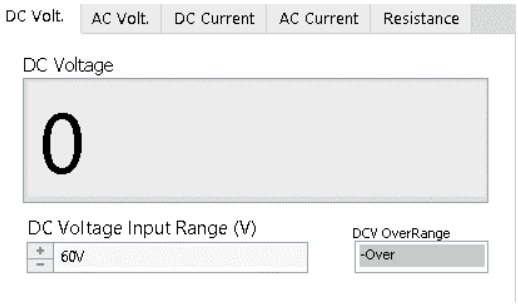
2.2 ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ คือส่วนที่ใช้สำหรับกำเนิดสัญญาณเพื่อป้อนให้กับแผงทดลองวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก สามารถกำหนดค่า Amplitude Frequency และ DC Offset ได้ และมีสัญญาณที่สามารถกำเนิดได้ 3 ชนิดคือ สัญญาณไซน์ สัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณสี่เหลี่ยม

2.3 ออสซิลโลสโคป คือส่วนที่ใช้ในการปรับตั้งค่าของสัญญาณที่แสดงผลในส่วนแสดงผลของสัญญาณ โดยสามารถแสดงสัญญาณพร้อมกันได้ 2 แชนแนล

2.4 ส่วนแสดงผลของสัญญาณ เป็นส่วนที่แสดงรูปคลื่นของสัญญาณให้ปรากฏทางหน้าจอ เป็นส่วนที่ทำงานสัมพันธ์กับฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์และออสซิลโลสโคป

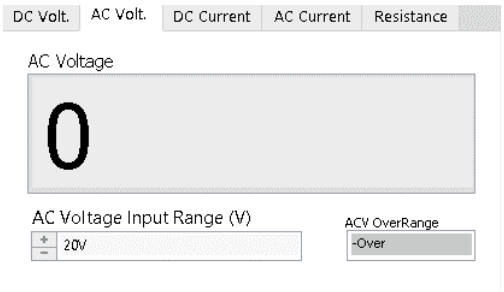
2.5 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ คือส่วนที่ใช้วัดค่าด้านต่างๆ ของวงจรทั้งทางด้าน ดีซีและเอซี โดยมีคุณสมบัติเหมือนกับเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทั่วไป ส่วนของดิจิตอลมัลติมิเตอร์นี้ สามารถเลือกวัดค่าสัญญาณได้ 5 ชนิด ดังนี้

2.5.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage) ดังภาพที่ จ.3



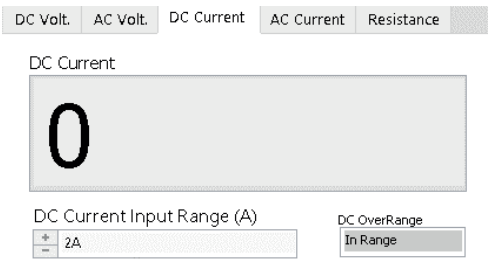
ภาพที่ จ.3 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.2 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage) ดังภาพที่ จ.4



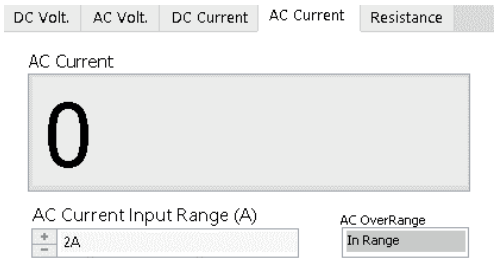
ภาพที่ จ.4 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

2.5.3 กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) ดังภาพที่ จ.5



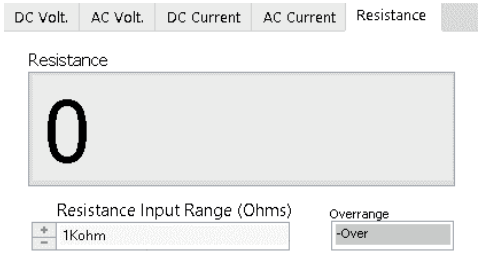
ภาพที่ จ.5 ส่วนแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.4 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Current) ดังภาพที่ จ.6



ภาพที่ จ.6 ส่วนแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้ากระสลับ

2.5.5 ค่าความต้านทาน ดังภาพที่ จ.7



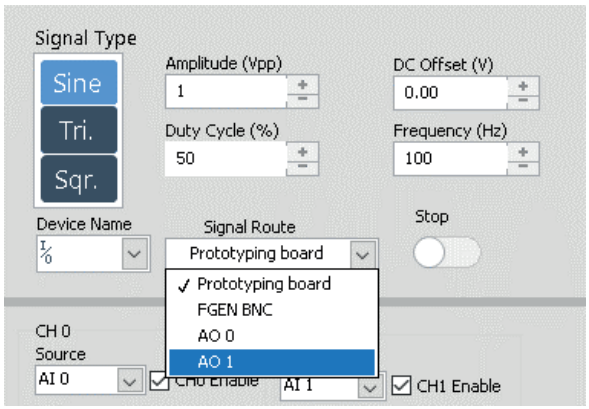
ภาพที่ จ.7 ส่วนแสดงผลค่าความต้านทาน

3. วิธีการใช้งานชุดสาธิต

3.1 เสียบสาย USB เชื่อมต่อระหว่างเอ็นไอมายแด็คกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะต้องติดตั้งโปรแกรม LabVIEW 2017 หรือเวอร์ชันที่สูงกว่า วิธีการเสียบสายเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเอ็นไอมายแด็ค และกล้อง แสดงดังภาพที่ จ.8

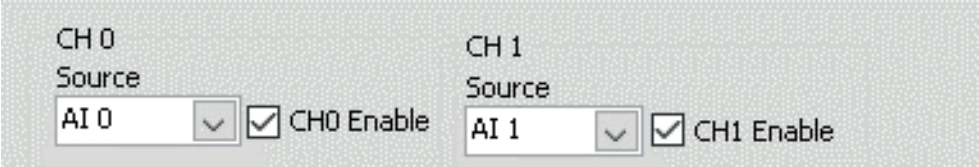
ภาพที่ จ.8 การเชื่อมต่อชุดสาธิตเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

3.2 ส่วนของฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ให้เลือก Signal Route เป็น AO 1 แสดงดังภาพที่ จ.9

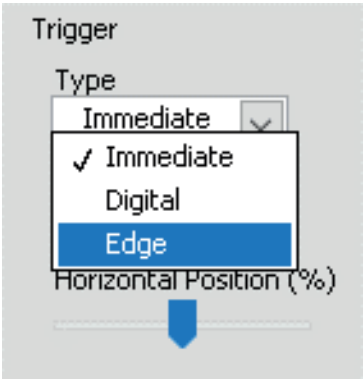


ภาพที่ จ.9 วิธีการกำหนด Signal Route

3.3 ส่วนของออสซิลโลสโคปให้เลือก CH0 Enable และ CH1 Enable ดังภาพที่ จ.10 และเลือก Trigger Type เป็นแบบ Edge ดังภาพที่ จ.11



ภาพที่ จ.10 วิธีการเลือก CH0 Enable และ CH1 Enable



ภาพที่ จ.11 วิธีการเลือก Trigger Type

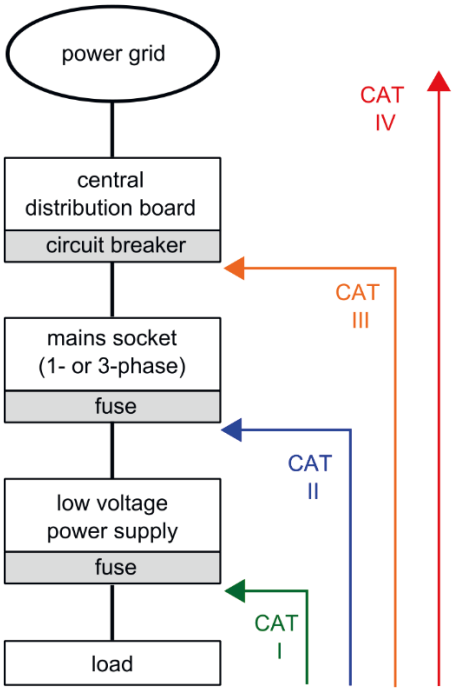
4. ข้อจำกัดของชุดสาธิต

4.1 เอ็นไอมายแด็คสามารถรองรับแบนด์วิธได้ไม่เกิน 20 MHz เมื่อใช้งานเป็นออสซิลโลสโคป ทั้งนี้ในฟังก์ชันของออสซิลโลสโคปมีส่วนที่สามารถตั้งค่าให้เอ็นไอมายแด็คจำกัดแบนด์วิธที่ 20 MHz ได้ในกรณีที่สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามีแบนด์วิธสูงกว่า 20 MHz

4.2 ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์สามารถกำเนิดสัญญาณได้เพียง 3 ชนิดได้แก่ สัญญาณไซน์ สัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณสี่เหลี่ยม

5. ขอควรระวัง

การใช้งานเอ็นไอมายแด็ค มีข้อควรระวังคือ ไม่ควรนำเอ็นไอมายแด็ค ไปวัดอุปกรณ์ไฟฟ้าในกลุ่ม Category II Category III และ Category IV โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าในกลุ่มดังกล่าว แสดงดังภาพที่ จ.12



ภาพที่ จ.12 Measurement Categories

ที่มา : (https://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_category)

ภาคผนวก ฉ

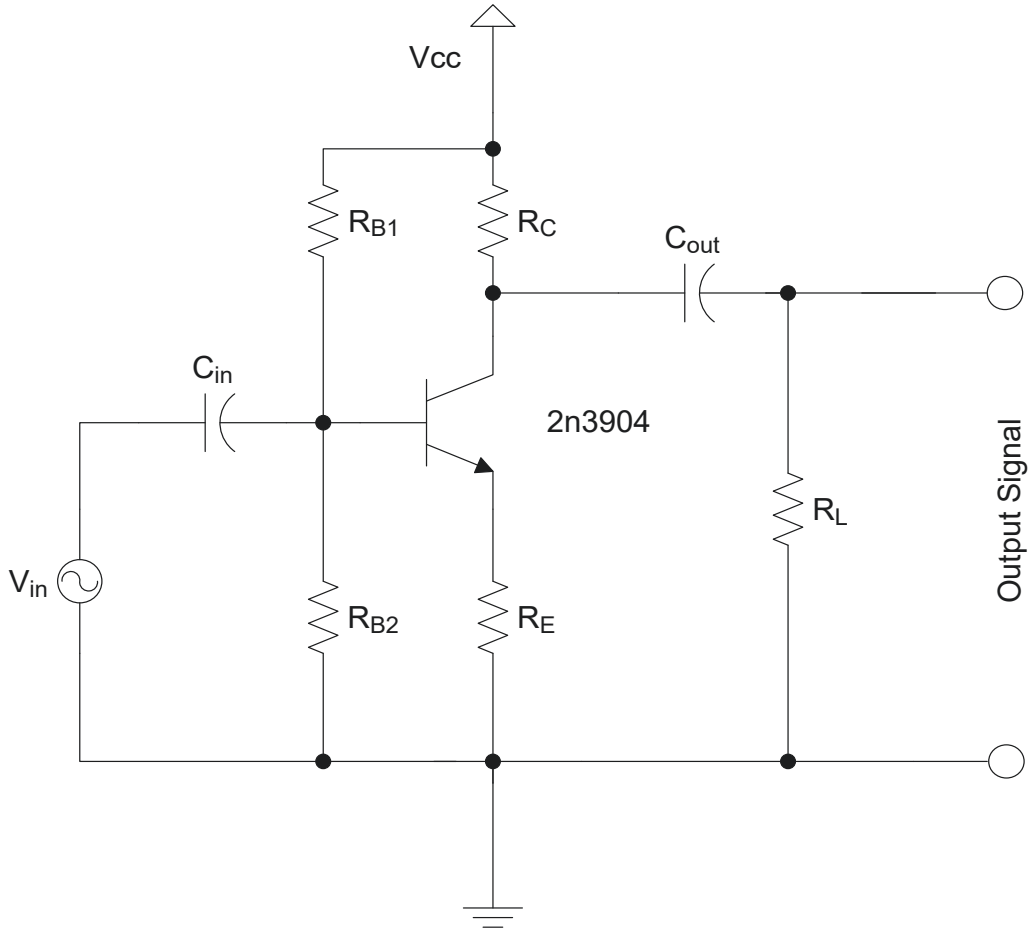
ตัวอย่างใบเนื้อหาการสอน

ใบเนื้อหาการสอนที่ 1

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

1.1 ลักษณะของวงจร

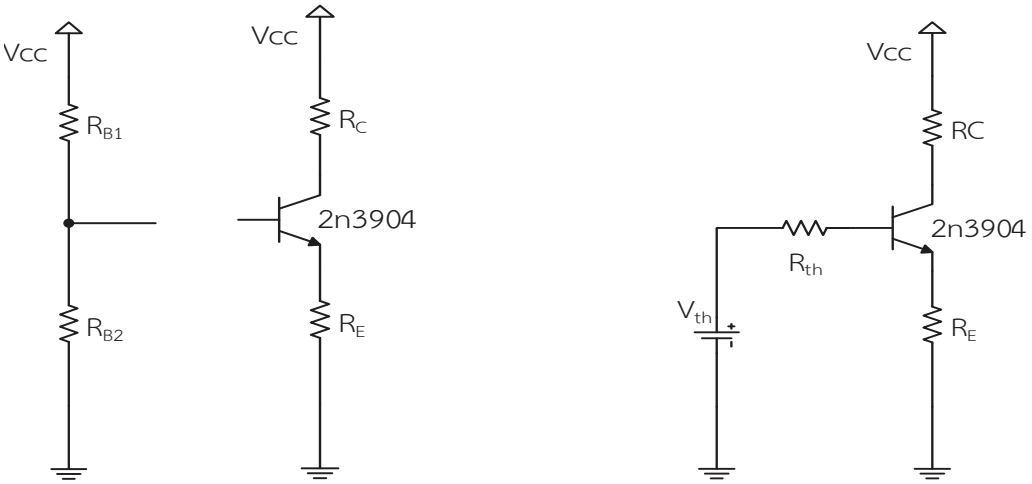
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ เป็นวงจรที่มีขาอิมิตเตอร์ (E) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาเบส (B) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรอิมิตเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ ฉ.1



ภาพที่ ฉ.1 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

1.2 วงจรไบแอส

วงจรไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์แสดง ดังภาพที่ ฉ.2



(ก) (ข)

ภาพที่ ฉ.2 วงจรไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

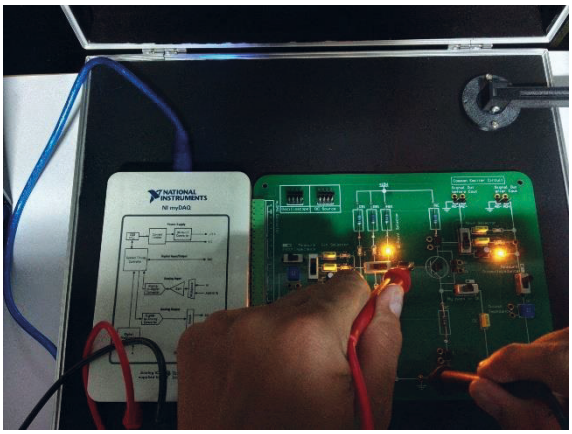
จากภาพที่ ฉ.2 แสดงวิธีการหาวงจรไบแอสทางด้านดีซี โดยการปลดแหล่งจ่ายสัญญาณเอซี ออก และเปิดตัวเก็บ ประจุทุกตัว จะได้วงจรดังภาพที่ ฉ.2 (ก) โดยเมื่อปลดโหลดแล้วจะได้วงจรสมมูลเทวินินดังภาพที่ ฉ.2 (ข)

1.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส

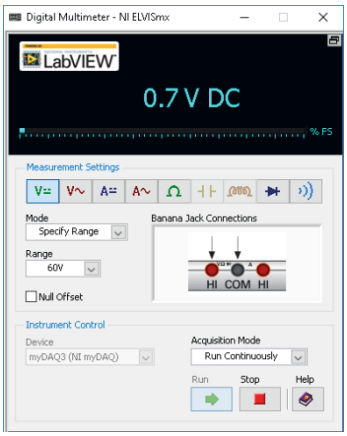
การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุ ที่ขาอิ มิเตอร์มีวิธีการดังนี้

1.3.1 การวัดค่าแรงดันไบแอส

วิธีการวัดค่าแรงดันไบแอส สามารถวัดจากจุด V_B เทียบกับ กราวด์ ดังภาพที่ ฉ.3



(ก)

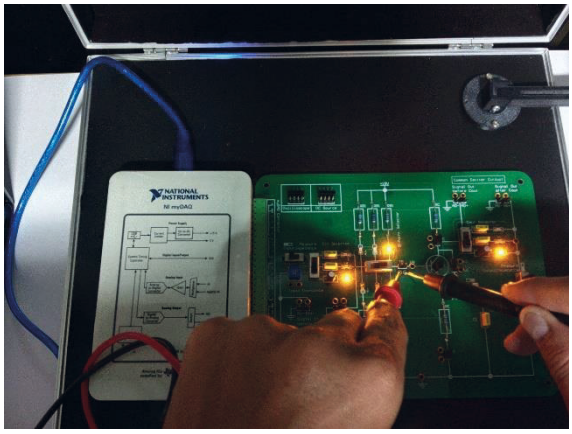


(ข)

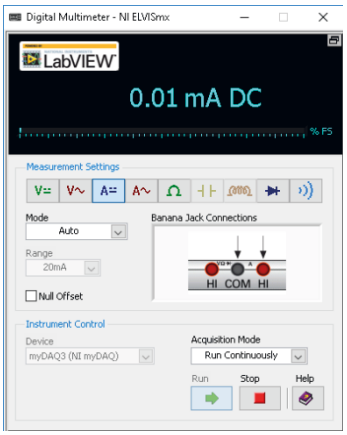
ภาพที่ ฉ.3 การวัดค่าแรงดันไบแอส

1.3.2 การวัดค่ากระแสไบแอส

วิธีการวัดค่ากระแสไบแอสแสดงได้ดังภาพที่ ฉ.4



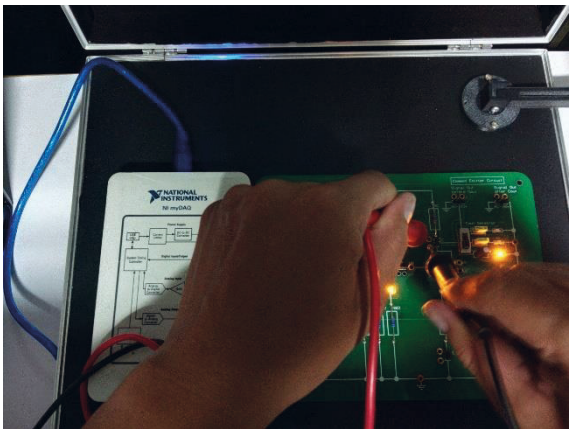
(ก)



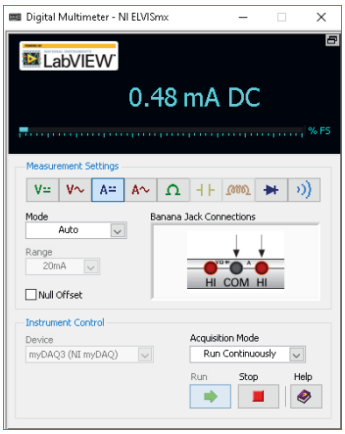
(ข)

ภาพที่ ฉ.4 การวัดค่ากระแสไบแอสและผลการวัด

1.3.3 การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C)



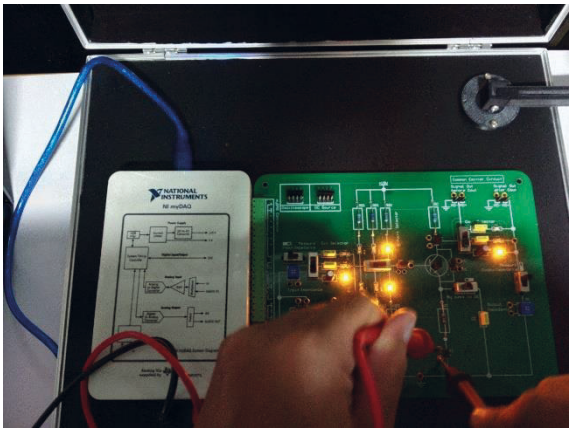
(ก)



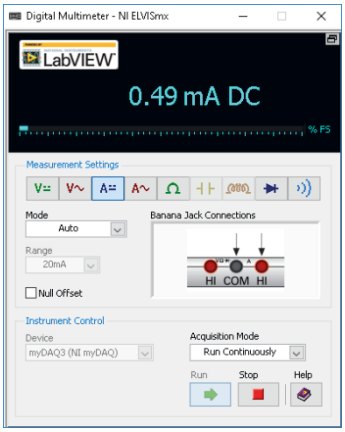
(ข)

ภาพที่ ฉ.5 การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์และผลการวัด

1.3.4 การวัดค่ากระแสอิมิตเตอร์ (I_E)



(ก)



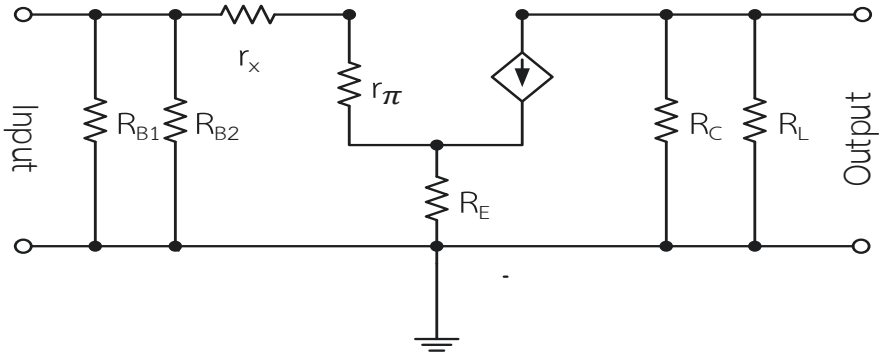
(ข)

ภาพที่ ฉ.6 การวัดค่ากระแสอิมิตเตอร์และผลการวัด

จากผลการวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านดีซี ในภาพที่ ฉ.4 (ข) คือค่าของกระแสไบแอสหรือกระแสเบส (I_B) มีค่าเท่ากับ 0.01 mA ภาพที่ ฉ.5 (ข) คือค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีค่าเท่ากับ 0.48 mA และ ภาพที่ ฉ.6 (ข) คือค่าของกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) มีค่าเท่ากับ 0.49 พบว่าค่าที่วัดได้เป็นไปตามสมการ $I_E = I_B + I_C$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

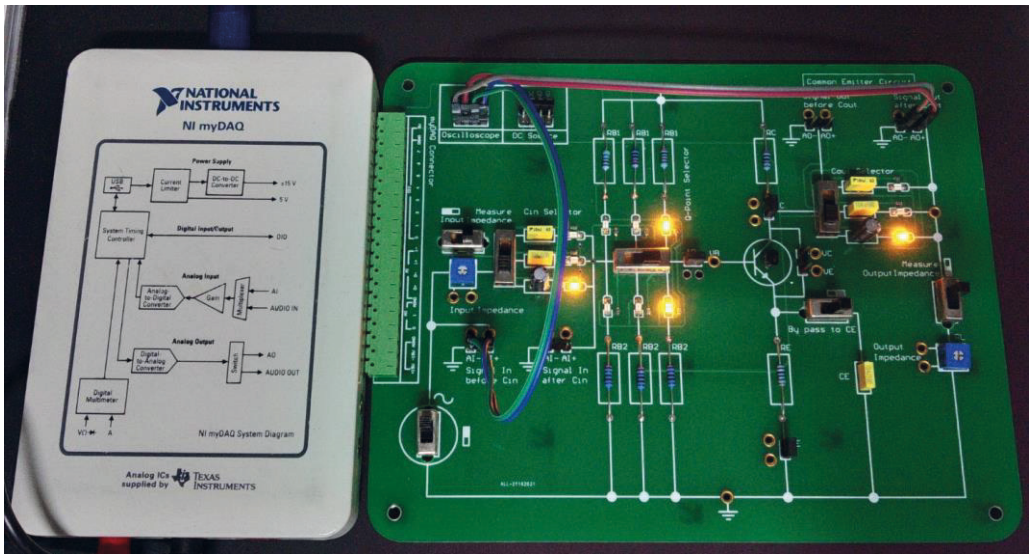
1.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก มีหลักการคือ ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซีและตัวเก็บประจุทุกตัวภายในวงจร ซึ่งส่งผลให้ได้วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ ฉ.7



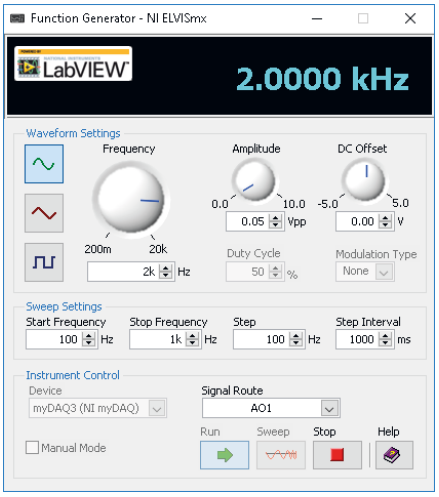
ภาพที่ ฉ.7 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

1.4.1 การหาอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_V) สามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณเพื่อวัดแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของวงจรดังภาพที่ ฉ.8



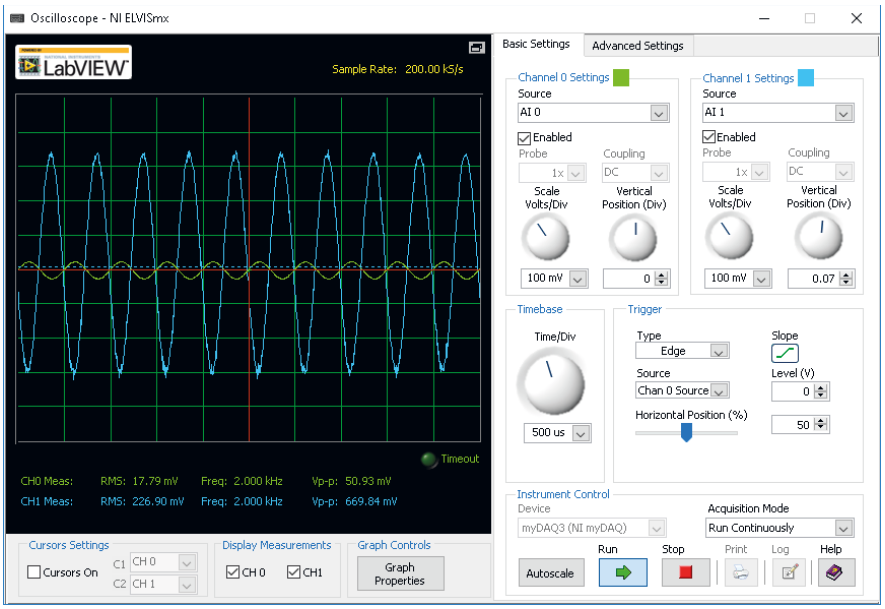
ภาพที่ ฉ.8 วิธีการต่อสายสัญญาณ

1.4.1.1 เปิดโปรแกรมฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และ กำหนดค่าให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายสัญญาณไซนูซอยดอล ที่ความถี่ 2 KHz แอมพลิจูด 0.05 V_{pp} ดังภาพที่ ฉ.9



ภาพที่ ฉ.9 การกำหนดค่าฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

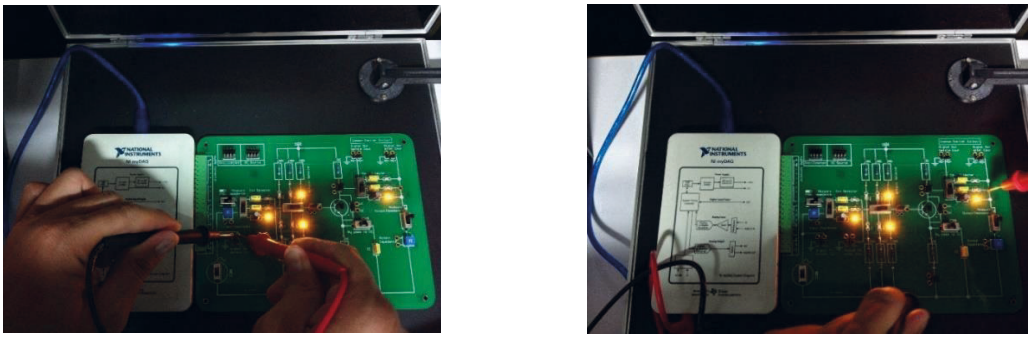
1.4.1.2 ตั้งค่าให้ออสซิลโลสโคป นำสัญญาณช่อง A1 มาแสดงผลด้วย โดยการเลือก Enabled ตรงส่วนการตั้งค่าของช่อง A1 และปรับ Volt/Div ของช่อง A0 และ ช่อง A1 ให้มีค่าเท่ากับ 100 mV และปรับ Time/Div ให้มีค่าเท่ากับ 500 us ดังภาพที่ ฉ.10



ภาพที่ ฉ.10 การกำหนดค่าออสซิลโลสโคป

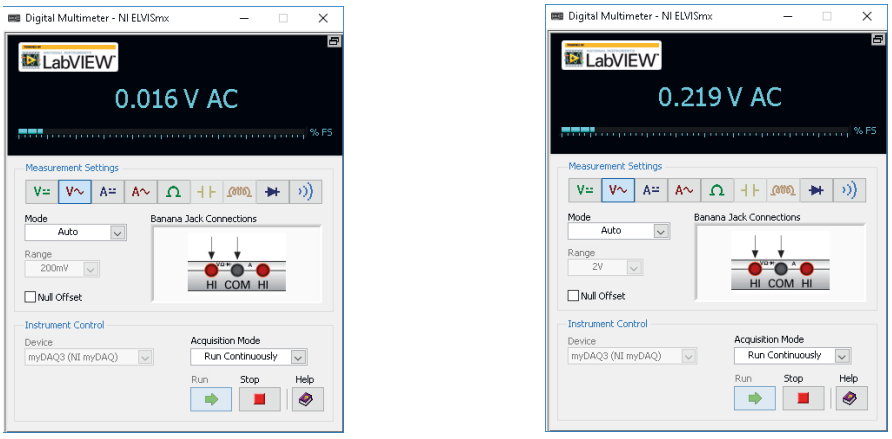
จากภาพที่ ฉ.10 เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าไปในวงจร (เส้นสีเขียว) และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจร (เส้นสีฟ้า) พบว่ามีแรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณ 670 mV_{P-P} และแรงดันอินพุตมีค่าประมาณ 51 mV_{P-P} เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตจะได้อัตราขยายแรงดันประมาณ 13 เท่า

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยวิธีการวัดดังภาพที่ ฉ.11 โดยภาพที่ ฉ.11 (ก) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันอินพุตของวงจร โดยวัดจากสัญญาณอินพุตก่อนที่จะเข้า C_{in} เทียบกับกราวด์ และภาพที่ ฉ.11 (ข) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรโดยวัดสัญญาณที่ออกจากจุด C_{out} เทียบกับกราวด์ โดยได้ผลการวัดแสดงดังภาพที่ ฉ.12



(ก) (ข)

ภาพที่ ฉ.11 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตเพื่อนำไปหาอัตราขยายแรงดัน

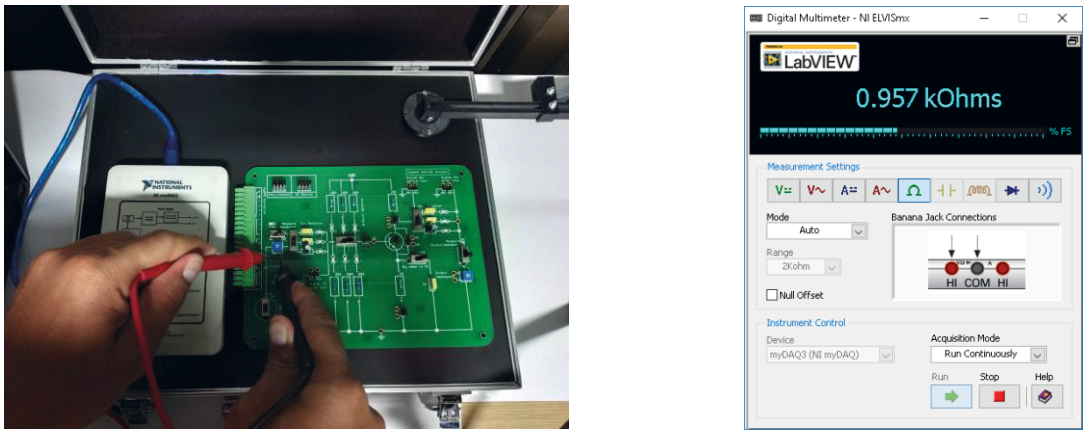


(ก) (ข)

ภาพที่ ฉ.12 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากผลการวัดแรงดันเอาต์พุตในภาพที่ ฉ.12 (ก) และผลการวัดแรงดันอินพุตในภาพที่ ฉ.12 (ข) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต มีค่าประมาณ 13 เท่า

1.4.2 การหาความต้านทานอินพุตของวงจร (R_i) แสดงดังภาพที่ ฉ.13

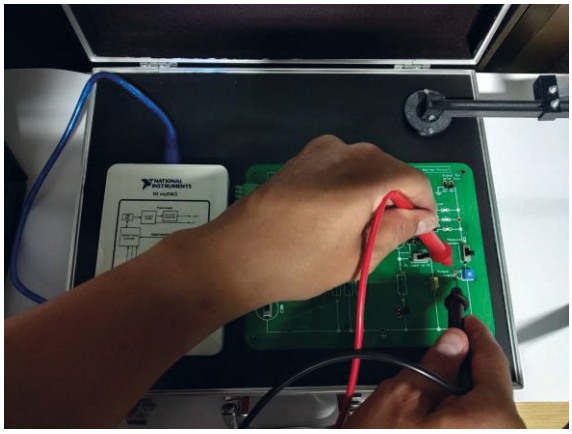


(ก) (ข)

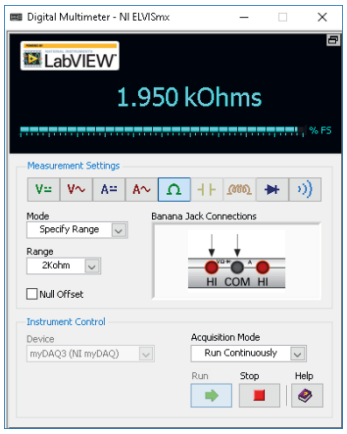
ภาพที่ ฉ.13 การวัดความต้านทานอินพุตของวงจร

จากภาพที่ ฉ.13 เมื่อจะทำการหาความต้านทานอินพุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Input Impedance ไปทางซ้ายมือ จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำการถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค และใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานอินพุตของวงจร

1.4.3 การหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร (R_O)



(ก)



(ข)

ภาพที่ ฉ.14 การวัดความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

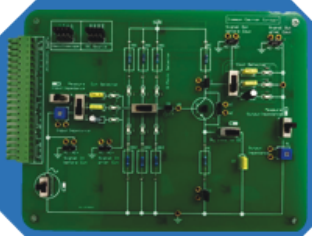
จากภาพที่ ฉ.14 เมื่อจะทำการหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Output Impedance ลงมาด้านล่าง จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาต์พุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค แล้วใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

1.4.4 การหาอัตราขยายกระแสของวงจร (A_i) สามารถหาได้จาก

$$A_i = A_V \times \frac{R_i}{R_L}$$

1.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร

1. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ต่ำ ประมาณ 500Ω - 1 kΩ
2. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) สูงประมาณ 50 kΩ - 100 kΩ
3. เฟสของสัญญาณอินพุตต่างจากเอาท์พุต 180 องศา หรือมีเฟสตรงข้ามกัน (Out of Phase)
4. มีอัตราขยายกระแส (β) สูงประมาณ 19 เท่า ถึง 49 เท่า
5. มีอัตราขยายแรงดันสูงประมาณ 250 เท่า ถึง 300 เท่า
6. มีอัตราขยายกำลัง (P) ไม่น้อยกว่า 40 dB



ใบเนื้อหาการสอน

ชุดสาธิตการสอน
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก
ร่วมกับเอ็นไอมายแด็คและโปรแกรมแลบวิว

บัณฑิตศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สารบัญ

หน้า

ใบเนื้อหาการสอนที่ 1

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิเตอร์ 1

1.1 ลักษณะของวงจร 1

1.2 วงจรไบแอส 2

1.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส 2

1.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal) 5

ใบเนื้อหาการสอนที่ 2

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ 10

2.1 ลักษณะของวงจร 10

2.2 วงจรไบแอส 11

2.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส 11

2.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal) 14

2.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร 18

ใบเนื้อหาการสอนที่ 3

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส 19

3.1 ลักษณะของวงจร 19

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส เป็นวงจรที่มีขาเบส (B) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาอิมิตเตอร์ (E) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรเบสร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 3.1 19

3.2 วงจรไบแอส 20

3.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส 20

3.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal) 23

3.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร 27

สารบัญ (ต่อ(

หน้า

ใบเนื้อหาการสอนที่ 4

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส..... 28

4.1 ลักษณะของวงจร 28

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส เป็นวงจรที่มีขาเบส (B) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาอิมิตเตอร์ (E) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส แสดงดังภาพที่ 4.1..... 28

4.2 วงจรไบแอส 29

4.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส..... 29

4.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)..... 32

4.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร 36

ใบเนื้อหาการสอนที่ 5

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม 37

5.1 ลักษณะของวงจร 37

วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม เป็นวงจรที่มีขาคอลเลคเตอร์ (C) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาเบส (B) มีขาเอาต์พุตออกทางขาอิมิตเตอร์ (E) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 5.1 37

5.2 วงจรไบแอส 38

5.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส..... 38

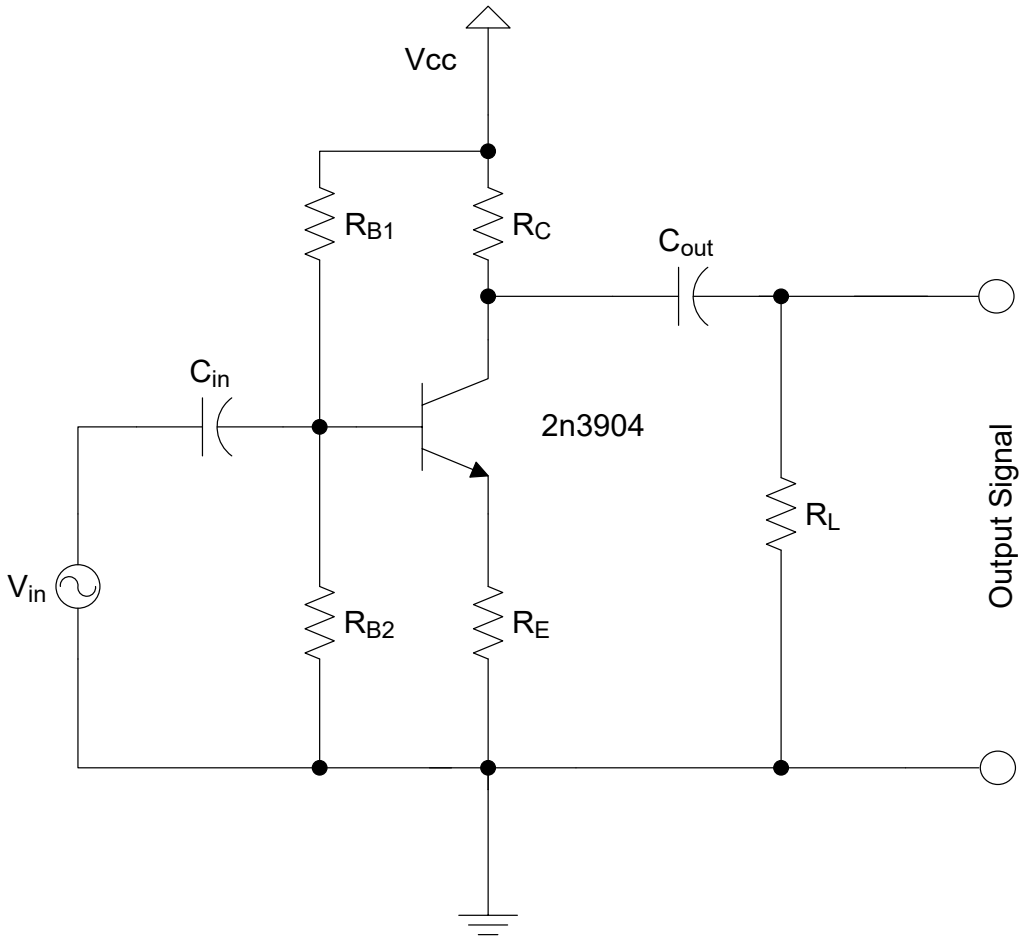
5.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)..... 40

ใบเนื้อหาการสอนที่ 1

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิเตอร์

1.1 ลักษณะของวงจร

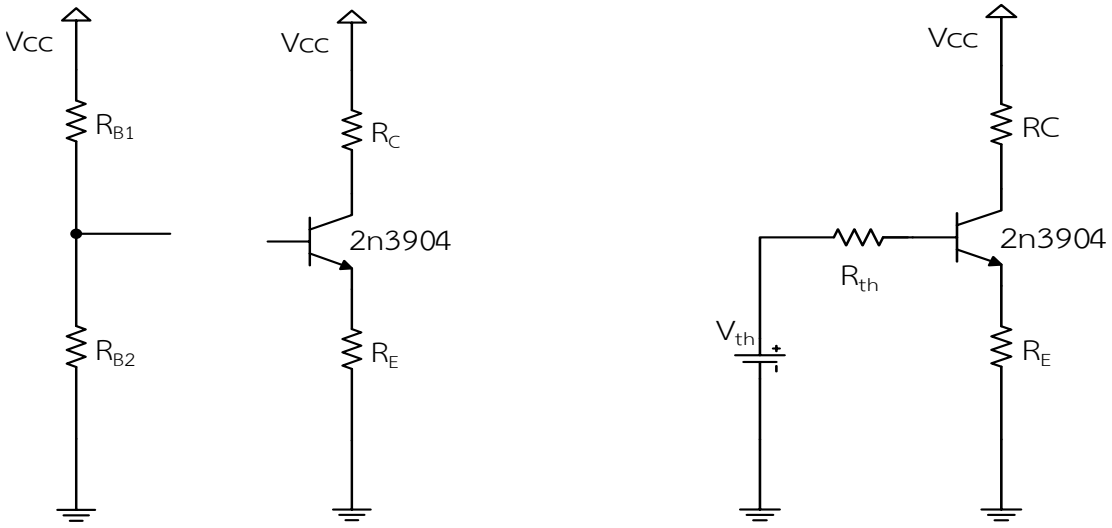
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิเตอร์ เป็นวงจรที่มีขาอิมิตเตอร์ (E) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาเบส (B) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรอิมิตเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

1.2 วงจรไบแอส

วงจรไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิเตอร์แสดง ดังภาพที่ 1.2



(ก) (ข)

ภาพที่ 1.2 วงจรไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิเตอร์

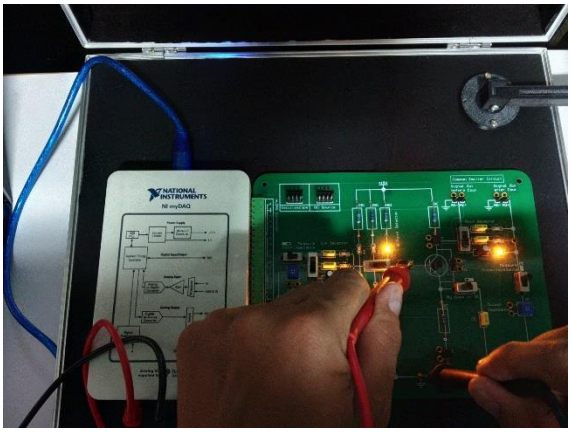
จากภาพที่ 1.2 แสดงวิธีการหาวงจรไบแอสทางด้านดีซี โดยการปลดแหล่งจ่ายสัญญาณเอซีออก และเปิดตัวเก็บ ประจุทุกตัว จะได้วงจรดังภาพที่ 1.2 (ก) โดยเมื่อปลดโหลดแล้วจะได้วงจรสมมูลเทวินินดังภาพที่ 1.2 (ข)

1.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส

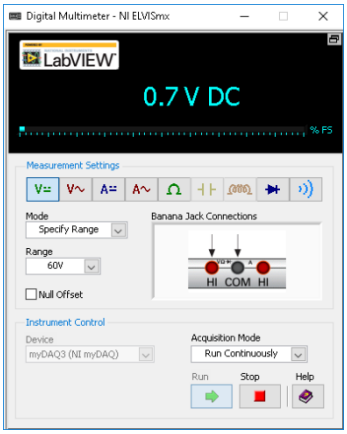
การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุ ที่ขาอิ มิเตอร์มีวิธีการดังนี้

1.3.1 การวัดค่าแรงดันไบแอส

วิธีการวัดค่าแรงดันไบแอส สามารถวัดจากจุด V_B เทียบกับ กราวนด์ ดังภาพที่ 1.3



(ก)

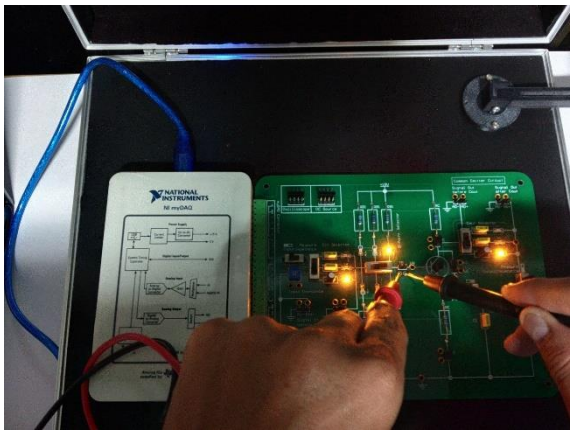


(ข)

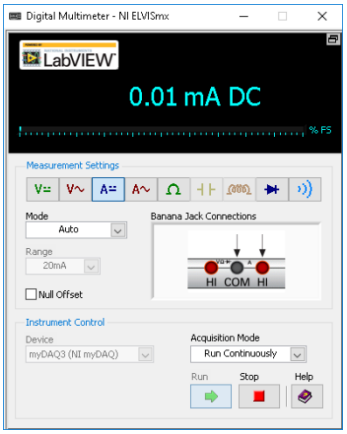
ภาพที่ 1.3 แสดงการวัดค่าแรงดันไบแอส

1.3.2 การวัดค่ากระแสไบแอส

วิธีการวัดค่ากระแสไบแอสแสดงได้ดังภาพที่ 1.4



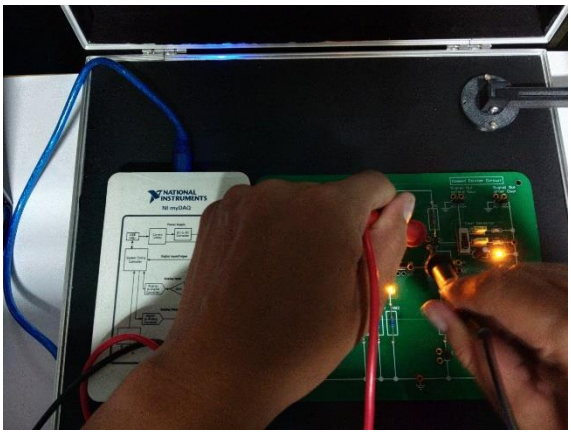
(ก)



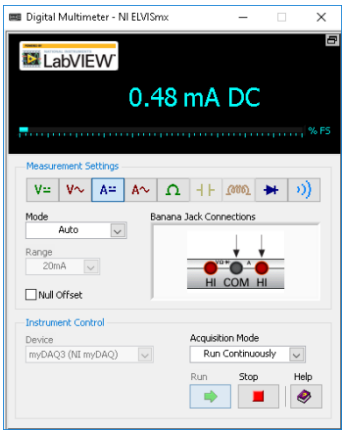
(ข)

ภาพที่ 1.4 แสดงการวัดค่ากระแสไบแอสและผลการวัด

1.3.3 การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C)



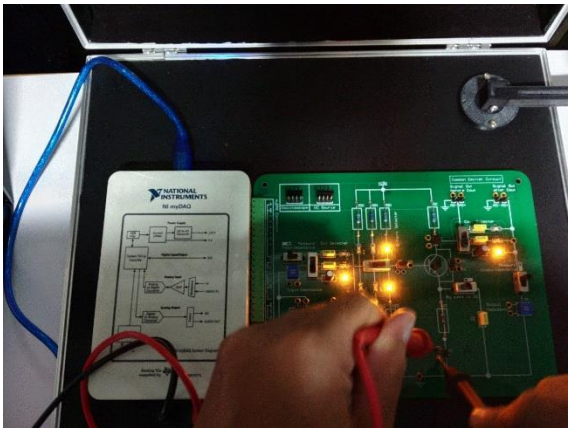
(ก)



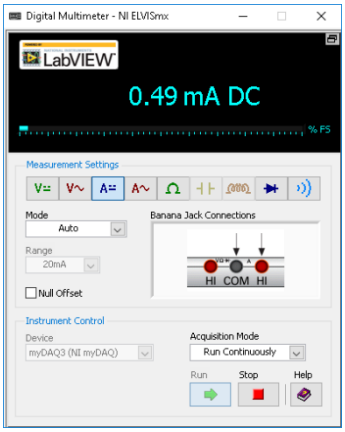
(ข)

ภาพที่ 1.5 แสดงการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์และผลการวัด

1.3.4 การวัดค่ากระแสอิมิเตอร์ (I_E)



(ก)



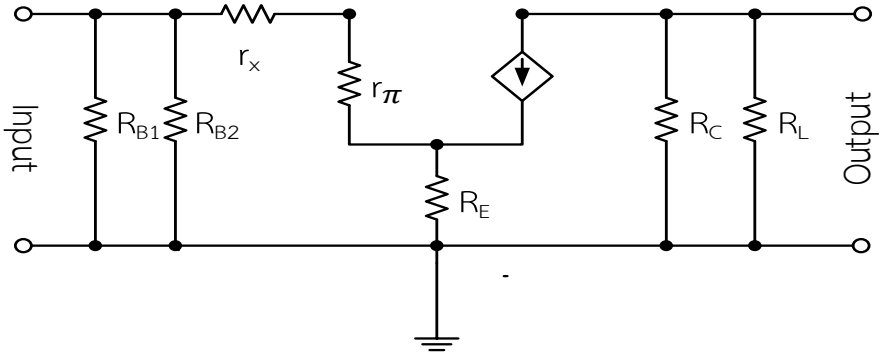
(ข)

ภาพที่ 1.6 แสดงการวัดค่ากระแสอิมิเตอร์และผลการวัด

จากผลการวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านดีซี ในภาพที่ 1.4 (ข) คือค่าของกระแสไบแอสหรือกระแสเบส (I_B) มีค่าเท่ากับ 0.01 mA ภาพที่ 1.5 (ข) คือค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีค่าเท่ากับ 0.48 mA และ ภาพที่ 1.6 (ข) คือค่าของกระแสอิมิเตอร์ (I_E) มีค่าเท่ากับ 0.49 พบว่าค่าที่วัดได้เป็นไปตามสมการ $I_E = I_B + I_C$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

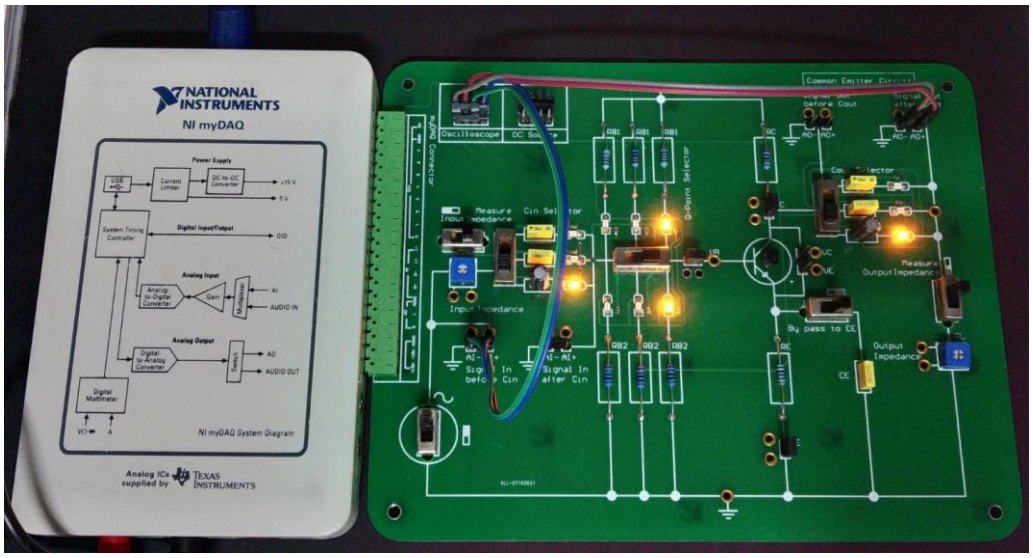
1.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก มีหลักการคือ ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซีและตัวเก็บประจุทุกตัวภายในวงจร ซึ่งส่งผลให้ได้วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 1.7



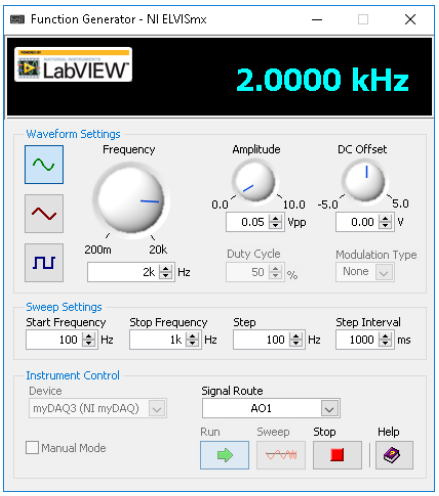
ภาพที่ 1.7 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

1.4.1 การหาอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_V) สามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณเพื่อวัดแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของวงจรดังภาพที่ 1.8



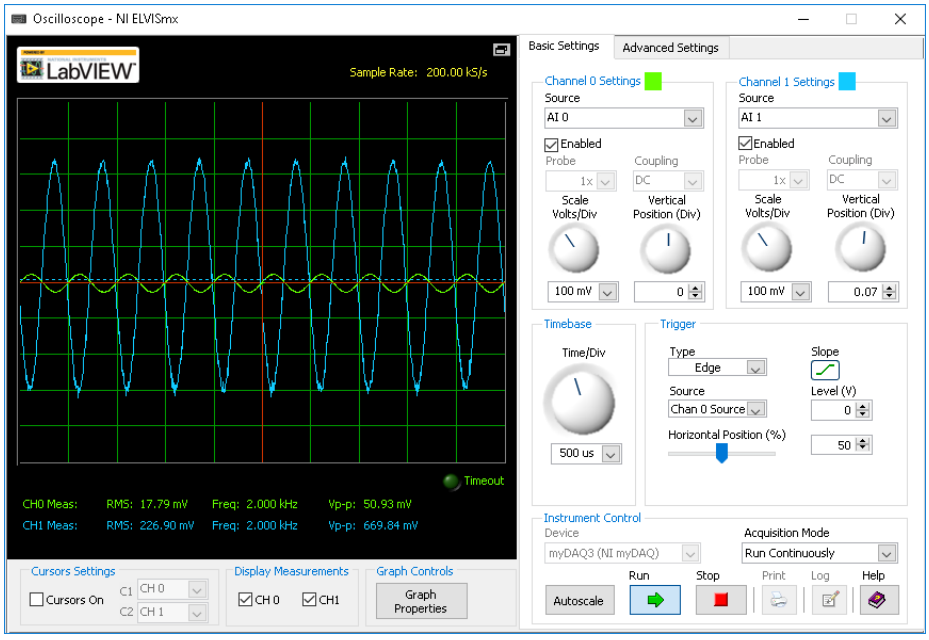
ภาพที่ 1.8 วิธีการต่อสายสัญญาณ

1.4.1.1 เปิดโปรแกรมฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และ กำหนดค่าให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายสัญญาณไซนูซอยดอล ที่ความถี่ 2 KHz แอมพลิจูด 0.05 V_{PP} ดังภาพที่ 1.9



ภาพที่ 1.9 การกำหนดค่าฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

1.4.1.2 ตั้งค่าให้ออสซิลโลสโคป นำสัญญาณช่อง A1 มาแสดงผลด้วย โดยการเลือก Enabled ตรงส่วนการตั้งค่าของช่อง A1 และปรับ Volt/Div ของช่อง A0 และ ช่อง A1 ให้มีค่าเท่ากับ 100 mV และปรับ Time/Div ให้มีค่าเท่ากับ 500 us ดังภาพที่ 1.10



ภาพที่ 1.10 การกำหนดค่าออสซิลโลสโคป

จากภาพที่ 1.10 เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าไปในวงจร (เส้นสีเขียว) และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจร (เส้นสีฟ้า) พบว่ามีแรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณ 670 mV_{P-P} และแรงดันอินพุตมีค่าประมาณ 51 mV_{P-P} เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตจะได้อัตราขยายแรงดันประมาณ 13 เท่า

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยวิธีการวัดดังภาพที่ 1.11 โดยภาพที่ 1.11 (ก) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันอินพุตของวงจร โดยวัดจากสัญญาณอินพุตก่อนที่จะเข้า C_{in} เทียบกับกราวนด์ และภาพที่ 1.11 (ข) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรโดยวัดสัญญาณที่ออกจากจุด C_{out} เทียบกับกราวนด์ โดยได้ผลการวัดแสดงดังภาพที่ 1.12

(ก) (ข)

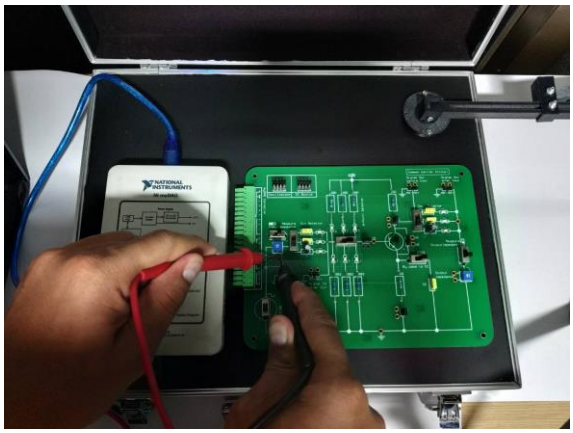
ภาพที่ 1.11 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตเพื่อนำไปหาอัตราขยายแรงดัน

(ก) (ข)

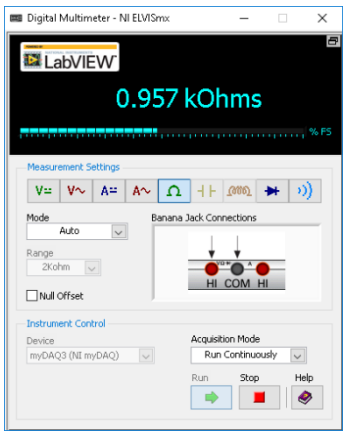
ภาพที่ 1.12 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากผลการวัดแรงดันเอาต์พุตในภาพที่ 1.12 (ก) และผลการวัดแรงดันอินพุตในภาพที่ 1.12 (ข) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต มีค่าประมาณ 13 เท่า

1.4.2 การหาความต้านทานอินพุตของวงจร (R_i) แสดงดังภาพที่ 1.13



(ก)

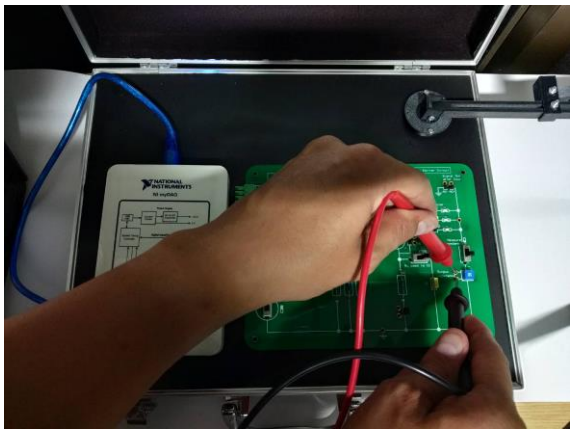


(ข)

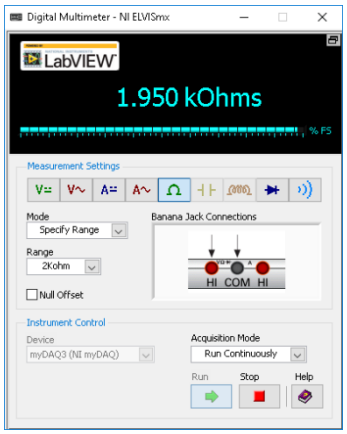
ภาพที่ 1.13 การวัดความต้านทานอินพุตของวงจร

จากภาพที่ 1.13 เมื่อจะทำการหาความต้านทานอินพุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Input Impedance ไปทางซ้ายมือ จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำการถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค และใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานอินพุตของวงจร

1.4.3 การหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร (R_O)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1.14 การวัดความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

จากภาพที่ 1.14 เมื่อจะทำการหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Output Impedance ลงมาด้านล่าง จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาต์พุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค แล้วใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

1.4.4 การหาอัตราขยายกระแสของวงจร (A_i) สามารถหาได้จาก

$$A_i = A_V \times \frac{R_i}{R_L}$$

1.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร

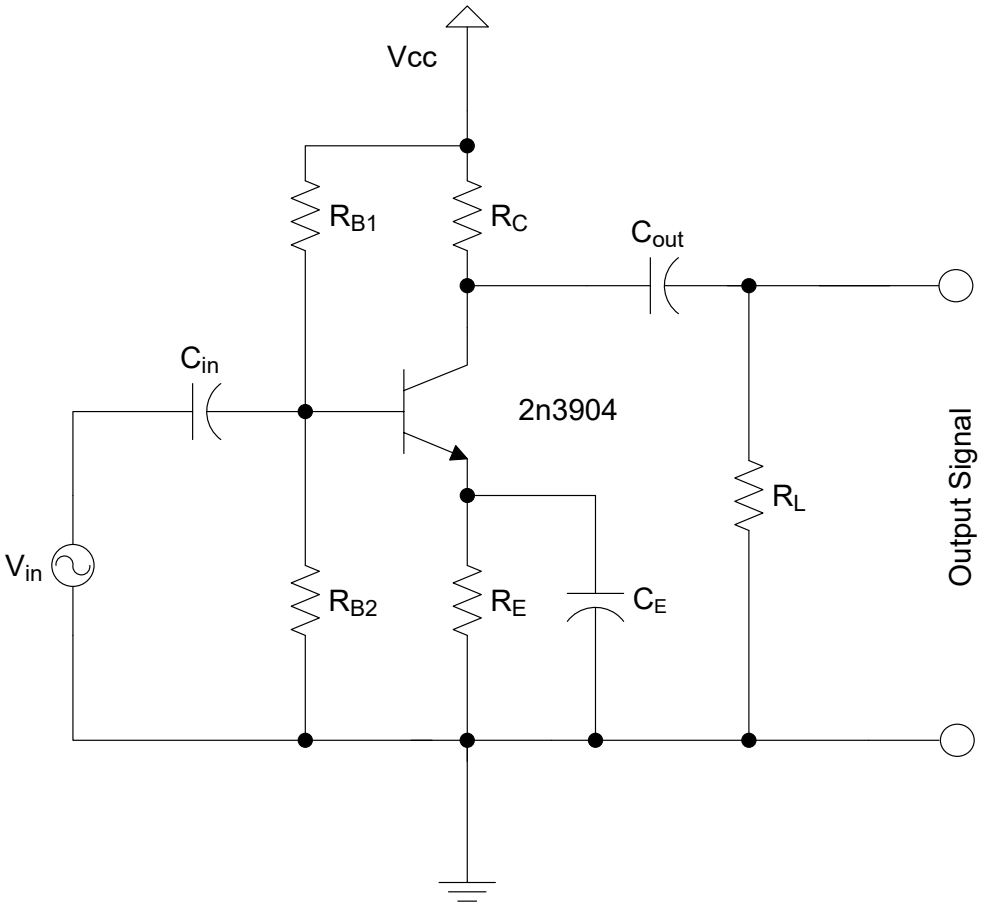
1. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ต่ำ ประมาณ 500Ω - 1 kΩ
2. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) สูงประมาณ 50 kΩ - 100 kΩ
3. เฟสของสัญญาณอินพุตต่างจากเอาท์พุต 180 องศา หรือมีเฟสตรงข้ามกัน (Out of Phase)
4. มีอัตราขยายกระแส (β) สูงประมาณ 19 เท่า ถึง 49 เท่า
5. มีอัตราขยายแรงดันสูงประมาณ 250 เท่า ถึง 300 เท่า
6. มีอัตราขยายกำลัง (P) ไม่น้อยกว่า 40 dB

ใบเนื้อหาการสอนที่ 2

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

2.1 ลักษณะของวงจร

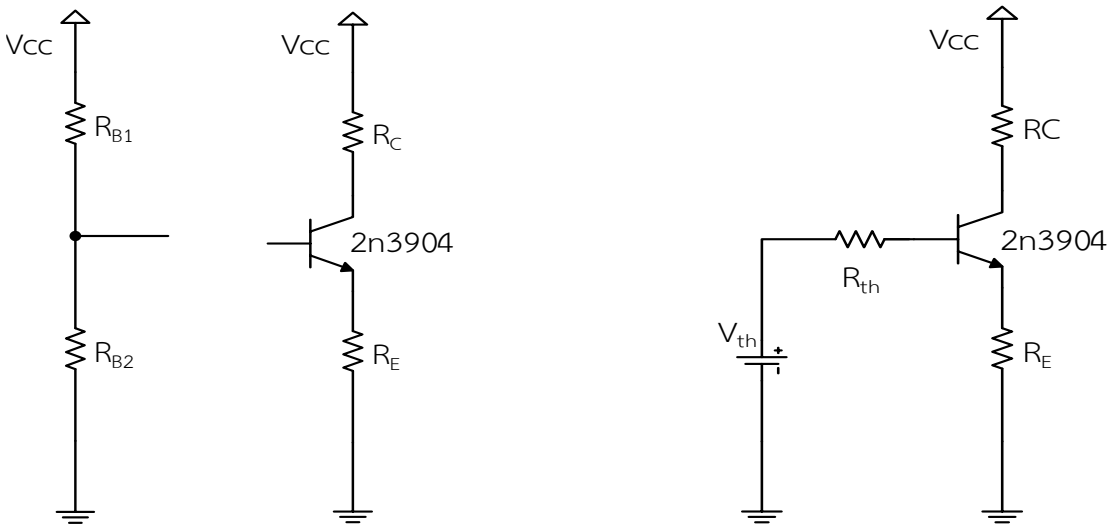
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์ เป็นวงจรที่มีลักษณะคล้ายกับวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์แต่เพิ่ม C_E ขนานกับ R_E แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

2.2 วงจรไบแอส

วงจรไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์แสดง ดังภาพที่ 2.2



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.2 วงจรไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

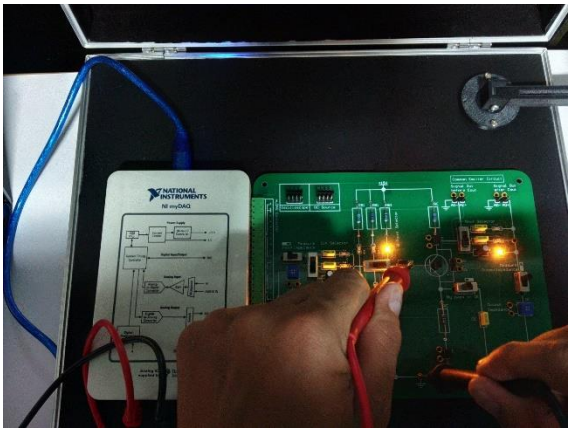
จากภาพที่ 2.2 แสดงวิธีการหาวงจรไบแอสทางด้านดีซี โดยการปลดแหล่งจ่ายสัญญาณเอซีออกและเปิดตัวเก็บ ประจุทุกตัว จะได้วงจรดังภาพที่ 2.2 (ก) โดยเมื่อปลดโหลดแล้วจะได้วงจรสมมูลเทวินินดังภาพที่ 2.2 (ข)

2.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส

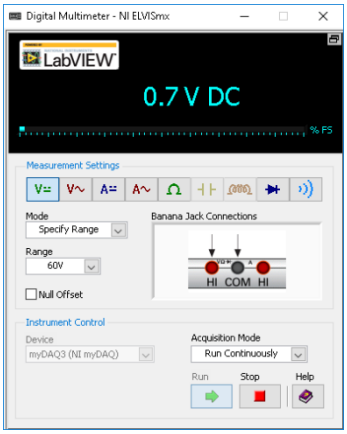
การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์มีวิธีการดังนี้

2.3.1 การวัดค่าแรงดันไบแอส

วิธีการวัดค่าแรงดันไบแอส สามารถวัดจากจุด V_B เทียบกับ กราวนด์ ดังภาพที่ 2.3



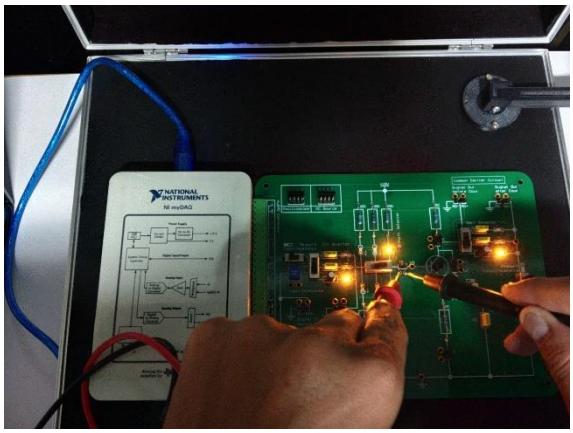
(ก)



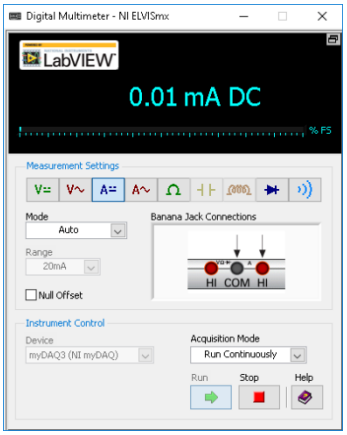
(ข)

ภาพที่ 2.3 แสดงการวัดค่าแรงดันไบแอส

2.3.2 การวัดค่ากระแสไบแอส มีวิธีการวัดดังภาพที่ 2.4



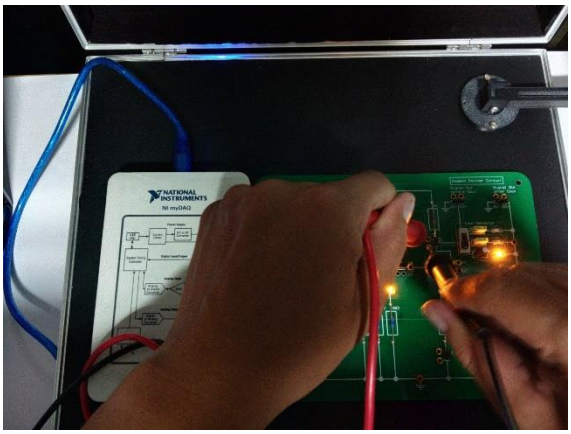
(ก)



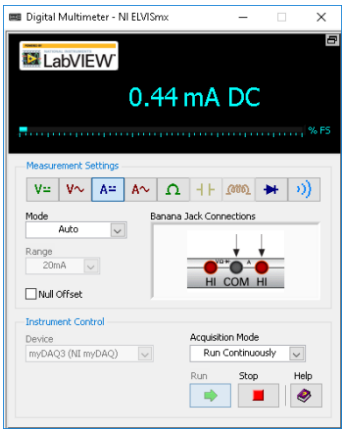
(ข)

ภาพที่ 2.4 แสดงการวัดค่ากระแสไบแอสและผลการวัด

2.3.3 การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีวิธีการวัดดังภาพที่ 2.5



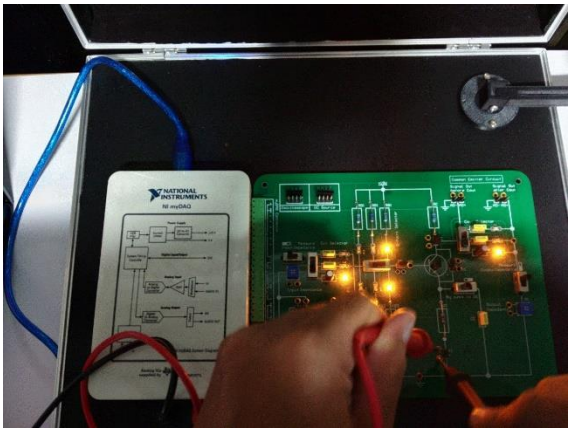
(ก)



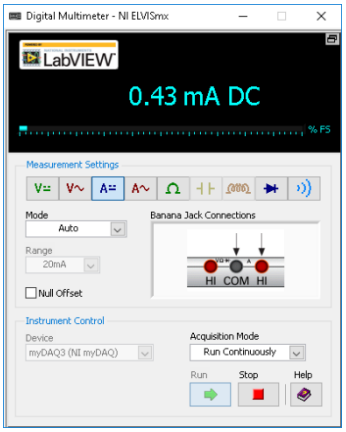
(ข)

ภาพที่ 2.5 แสดงการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์และผลการวัด

2.3.4 การวัดค่ากระแสอิมิตเตอร์ (I_E) มีวิธีการวัดดังภาพที่ 2.6



(ก)



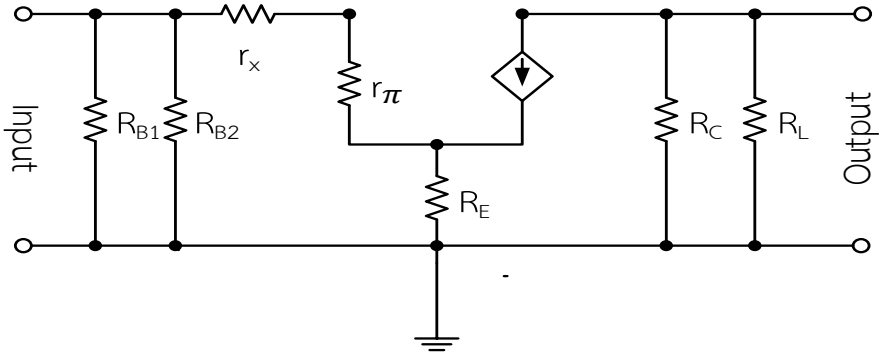
(ข)

ภาพที่ 2.6 แสดงการวัดค่ากระแสอิมิตเตอร์และผลการวัด

จากผลการวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านดีซี ในภาพที่ 2.4 (ข) คือค่าของกระแสไบแอสหรือกระแสเบส (I_B) มีค่าเท่ากับ 0.01 mA ภาพที่ 2.5 (ข) คือค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีค่าเท่ากับ 0.44 mA และ ภาพที่ 2.6 (ข) คือค่าของกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) มีค่าเท่ากับ 0.43 mA พบว่าค่าที่วัดได้เป็นไปตามสมการ $I_E = I_B + I_C$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

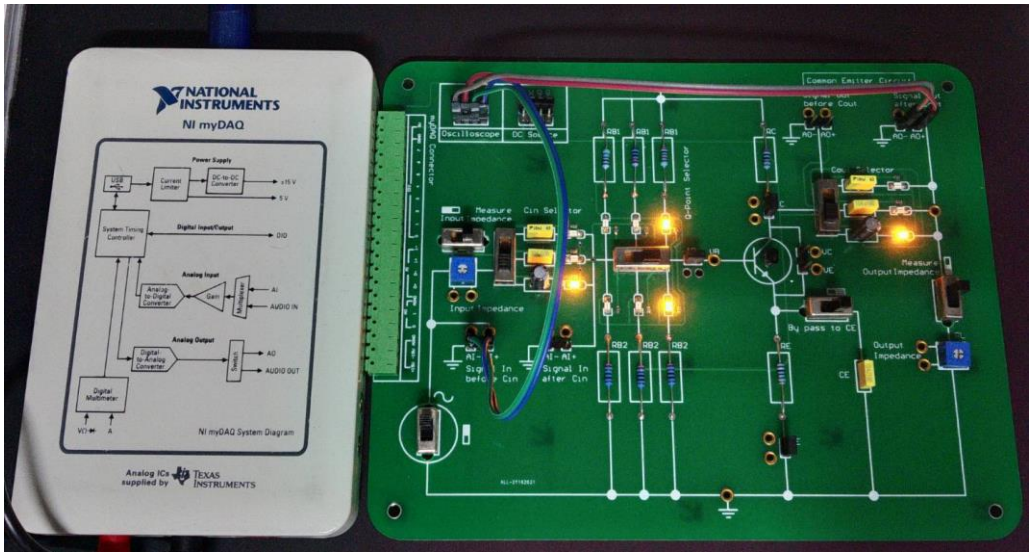
2.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก มีหลักการคือ ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซีและตัวเก็บประจุทุกตัวภายในวงจร ซึ่งส่งผลให้ได้วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 2.7



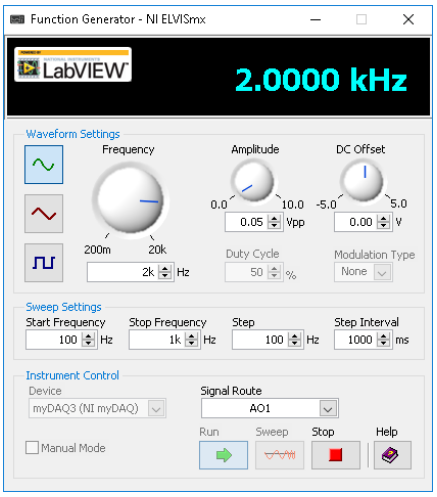
ภาพที่ 2.7 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

2.4.1 การหาอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_V) สามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณเพื่อวัดแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของวงจรดังภาพที่ 2.8



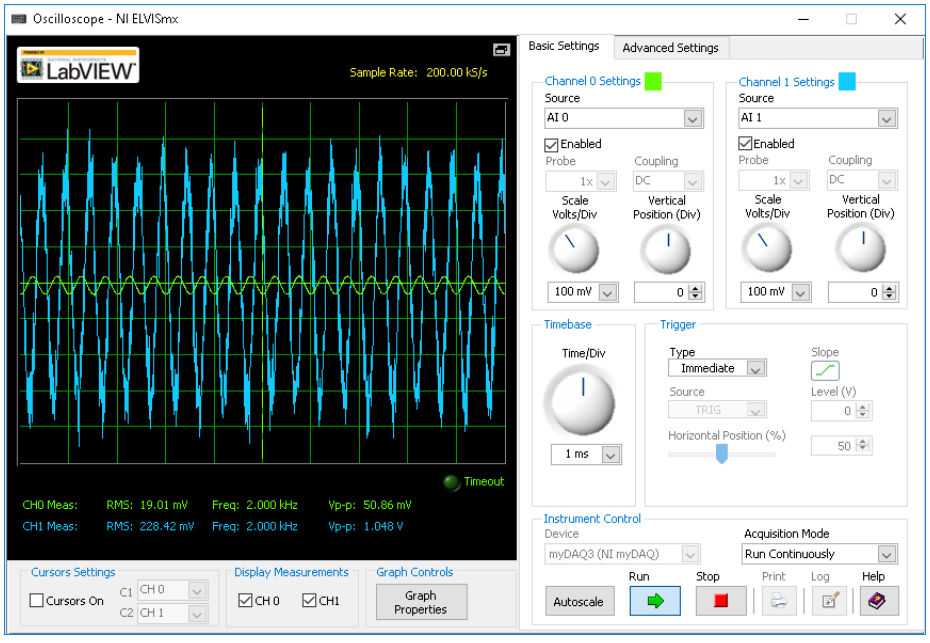
ภาพที่ 2.8 วิธีการต่อสายสัญญาณ

2.4.1.1 เปิดโปรแกรมฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และ กำหนดค่าให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายสัญญาณไซนูซอยดอล ที่ความถี่ 2 KHz แอมพลิจูด 0.05 V_{PP} ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การกำหนดค่าฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

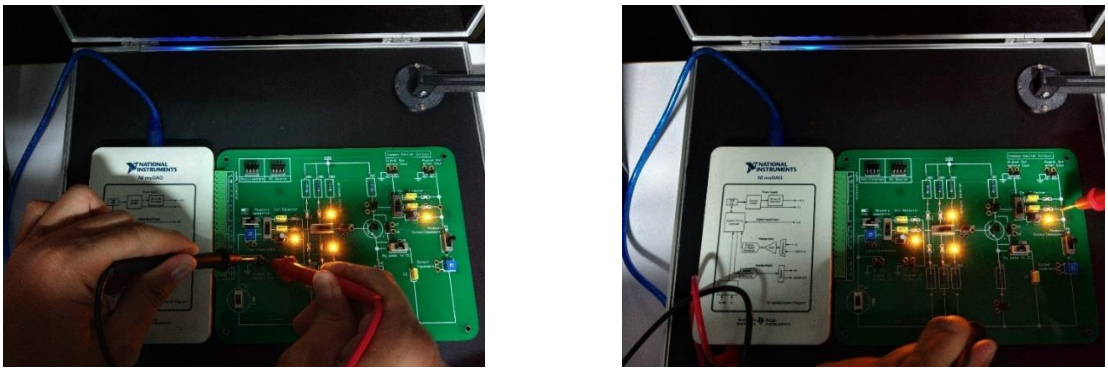
2.4.1.2 ตั้งค่าให้ออสซิลโลสโคป นำสัญญาณช่อง A1 มาแสดงผลด้วย โดยการเลือก Enabled ตรงส่วนการตั้งค่าของช่อง A1 และปรับ Volt/Div ของช่อง A0 และ ช่อง A1 ให้มีค่าเท่ากับ 100 mV และปรับ Time/Div ให้มีค่าเท่ากับ 1ms ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 การกำหนดค่าออสซิลโลสโคป

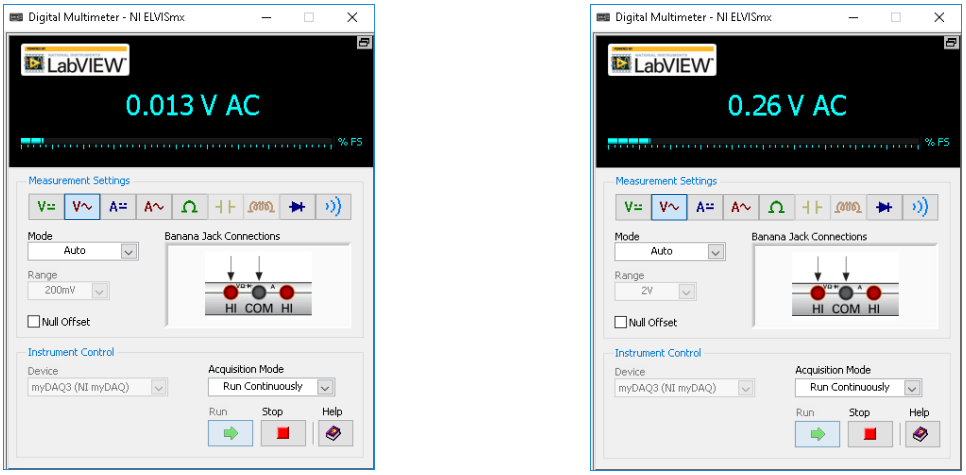
จากภาพที่ 2.10 เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าไปในวงจร (เส้นสีเขียว) และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจร (เส้นสีฟ้า) พบว่ามีแรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณ 1 V_{P-P} และแรงดันอินพุตมีค่าประมาณ 50 mV_{P-P} เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตจะได้อัตราขยายแรงดันประมาณ 20 เท่า

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยวิธีการวัดดังภาพที่ 2.11 โดยภาพที่ 2.11 (ก) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันอินพุตของวงจร โดยวัดจากสัญญาณอินพุตก่อนที่จะเข้า C_{in} เทียบกับกราวนด์ และภาพที่ 2.11 (ข) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรโดยวัดสัญญาณที่ออกจากจุด C_{out} เทียบกับกราวนด์ แสดงวิธีการวัดดังภาพที่ 2.11 และได้ผลการวัดดังภาพที่ 2.12



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.11 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตเพื่อนำไปหาอัตราขยายแรงดัน

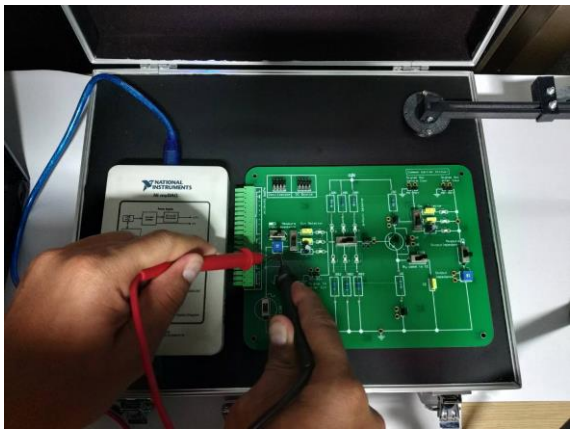


(ก) (ข)

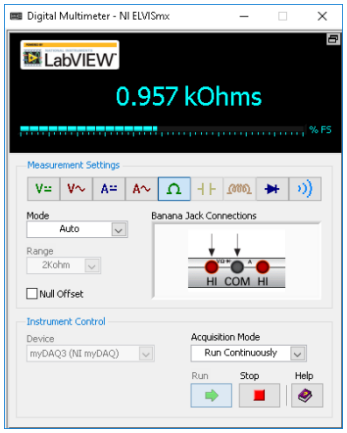
ภาพที่ 2.12 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากผลการวัดแรงดันเอาต์พุตในภาพที่ 2.12 (ก) และผลการวัดแรงดันอินพุตในภาพที่ 2.12 (ข) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต มีค่าประมาณ 20 เท่า

2.4.2 การหาความต้านทานอินพุตของวงจร (R_i) แสดงดังภาพที่ 2.13



(ก)

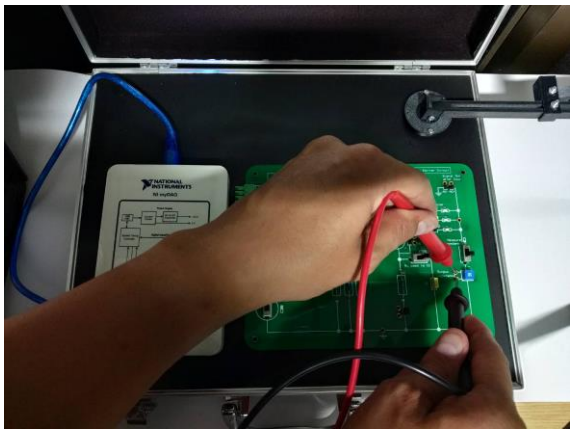


(ข)

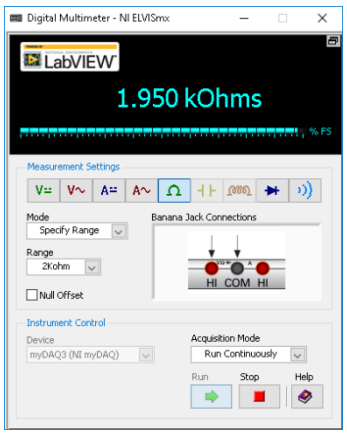
ภาพที่ 2.13 การวัดความต้านทานอินพุตของวงจร

จากภาพที่ 2.13 เมื่อจะทำการหาความต้านทานอินพุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Input Impedance ไปทางซ้ายมือ จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำการถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค และใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานอินพุตของวงจร

2.4.3 การหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร (R_O)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.14 การวัดความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

จากภาพที่ 2.14 เมื่อจะทำการหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Output Impedance ลงมาด้านล่าง จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาต์พุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค แล้วใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

2.4.4 การหาอัตราขยายกระแสของวงจร (A_i) สามารถหาได้จาก

$$A_i = A_V \times \frac{R_i}{R_L}$$

2.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร

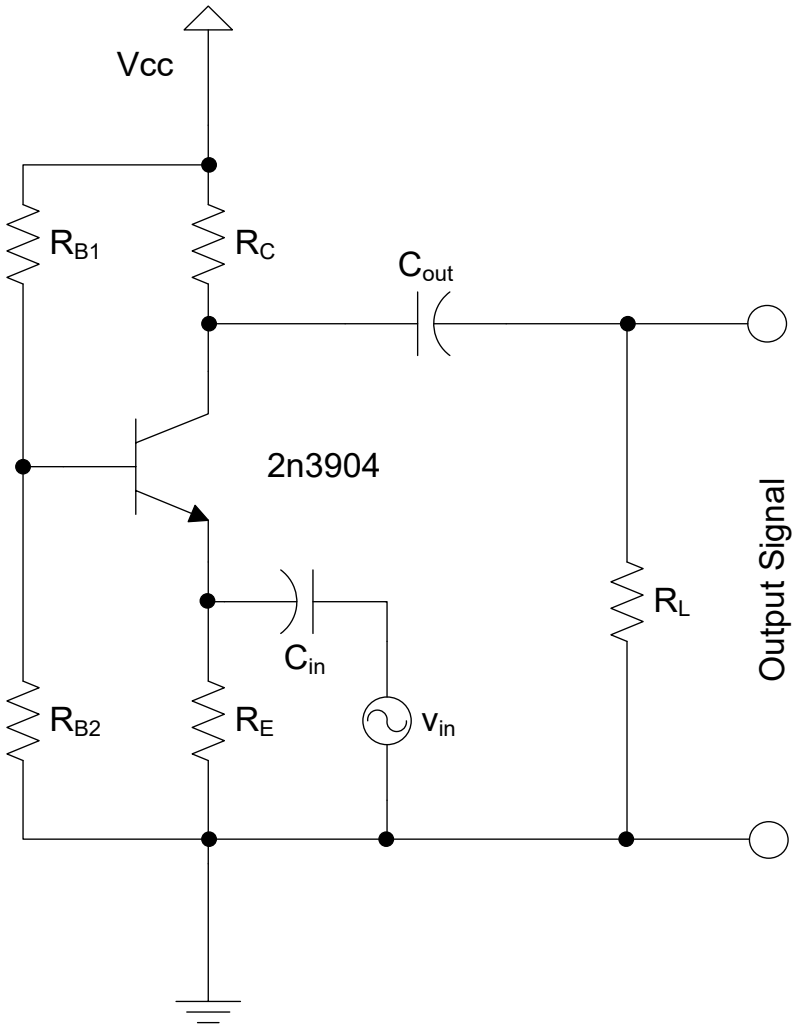
1. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ต่ำ ประมาณ 500Ω - 1 kΩ
2. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) สูงประมาณ 50 kΩ - 100 kΩ
3. เฟสของสัญญาณอินพุตต่างจากเอาท์พุต 180 องศา หรือมีเฟสตรงข้ามกัน (Out of Phase)
4. มีอัตราขยายกระแส (β) สูงประมาณ 19 เท่า ถึง 49 เท่า
5. มีอัตราขยายแรงดันสูงประมาณ 250 เท่า ถึง 300 เท่า
6. มีอัตราขยายกำลัง (P) ไม่น้อยกว่า 40 dB
7. อัตราขยายแรงดันของ วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิตเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์สูงกว่า แบบที่ไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิตเตอร์

ใบเนื้อหาการสอนที่ 3

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

3.1 ลักษณะของวงจร

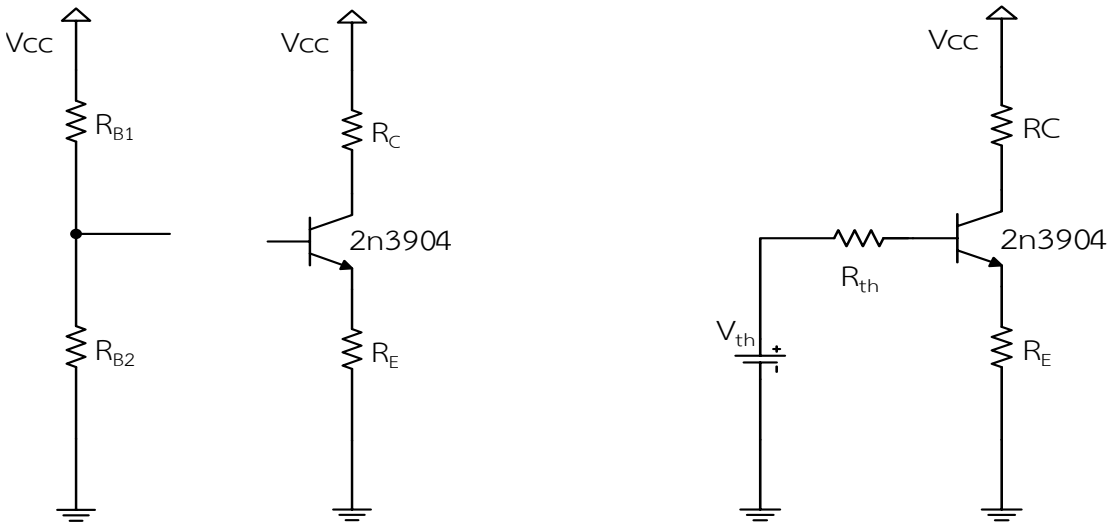
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส เป็นวงจรที่มีขาเบส (B) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาอิมิตเตอร์ (E) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรเบสร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.15 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

3.2 วงจรไบแอส

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส แสดงดังภาพที่ 3.2



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.16 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

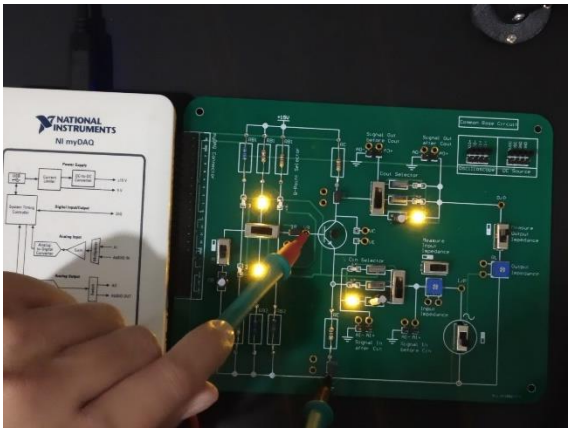
จากภาพที่ 3.2 แสดงวิธีการหาวงจรไบแอสทางด้านดีซี โดยการปลดแหล่งจ่ายสัญญาณเอซีออก และเปิดตัวเก็บ ประจุทุกตัว จะได้วงจรดังภาพที่ 3.2 (ก) โดยเมื่อปลดโหลดแล้วจะได้วงจรสมมูลเทวินินดังภาพที่ 3.2 (ข)

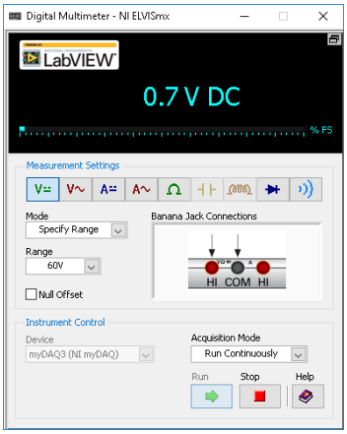
3.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส

การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบสมีวิธีการดังนี้

3.3.1 การวัดค่าแรงดันไบแอส

วิธีการวัดค่าแรงดันไบแอส สามารถวัดจากจุด V_B เทียบกับ กราวนด์ ดังภาพที่ 3.3

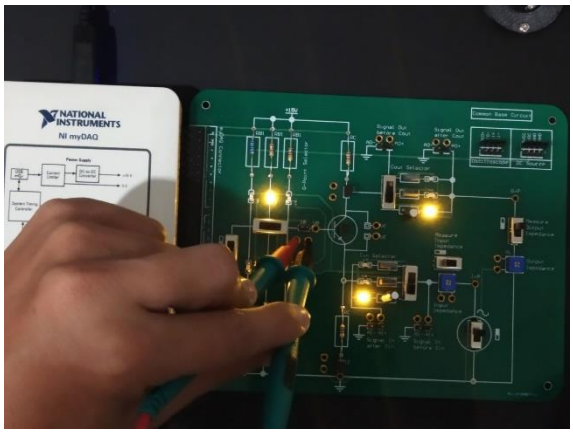


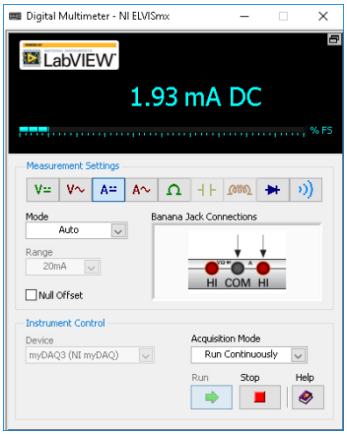


(ก) (ข)

ภาพที่ 3.17 แสดงการวัดค่าแรงดันไบแอส

3.3.2 การวัดค่ากระแสไบแอส มีวิธีการวัดดังภาพที่ 3.4

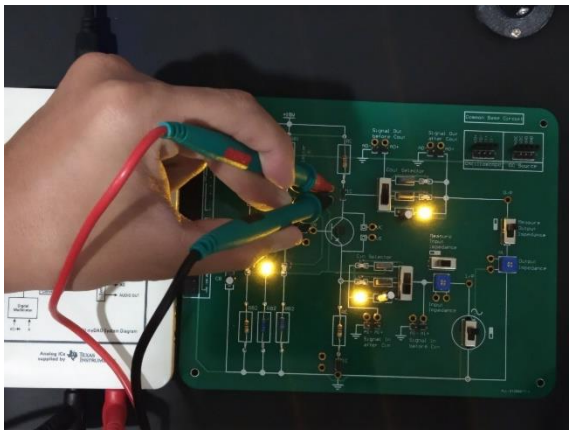




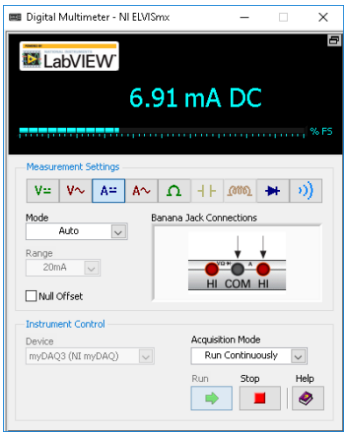
(ก) (ข)

ภาพที่ 3.18 แสดงการวัดค่ากระแสไบแอสและผลการวัด

3.3.3 การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีวิธีการวัดดังภาพที่ 3.5



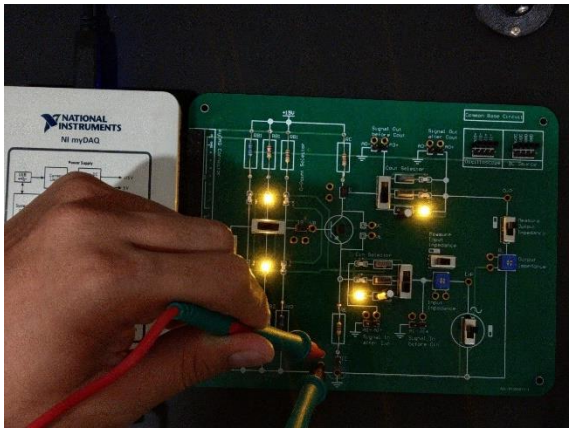
(ก)



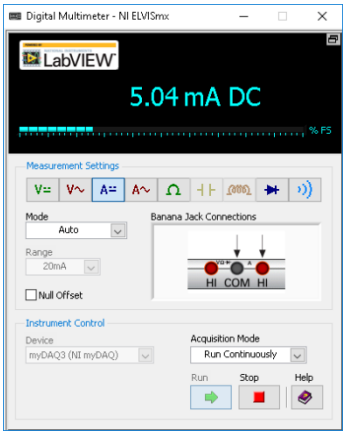
(ข)

ภาพที่ 3.19 แสดงการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์และผลการวัด

3.3.4 การวัดค่ากระแสอิมิเตอร์ (I_E) มีวิธีการวัดดังภาพที่ 3.6



(ก)



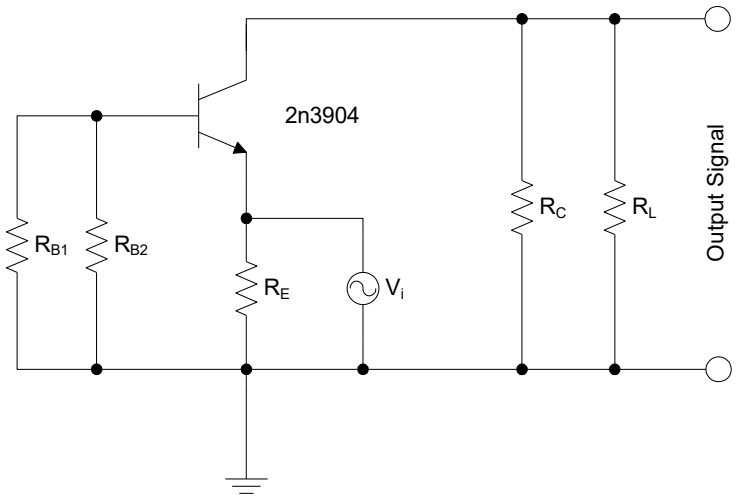
(ข)

ภาพที่ 3.20 แสดงการวัดค่ากระแสอิมิเตอร์และผลการวัด

จากผลการวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านดีซี ในภาพที่ 3.4 (ข) คือค่าของกระแสไบแอสหรือกระแสเบส (I_B) มีค่าเท่ากับ 1.93 mA ภาพที่ 3.5 (ข) คือค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีค่าเท่ากับ 6.91 mA และ ภาพที่ 3.6 (ข) คือค่าของกระแสอิมิเตอร์ (I_E) มีค่าเท่ากับ 5.04 mA พบว่าค่าที่วัดได้เป็นไปตามสมการ $I_E = I_B + I_C$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

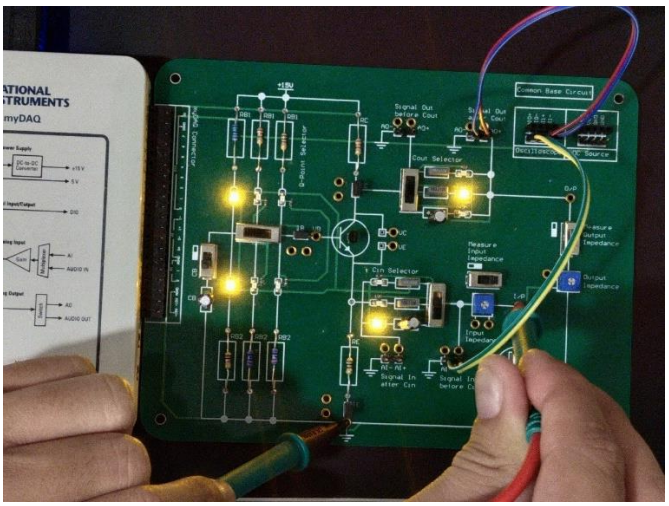
3.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก มีหลักการคือ ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซีและตัวเก็บประจุทุกตัวภายในวงจร ซึ่งส่งผลให้ได้วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 3.7



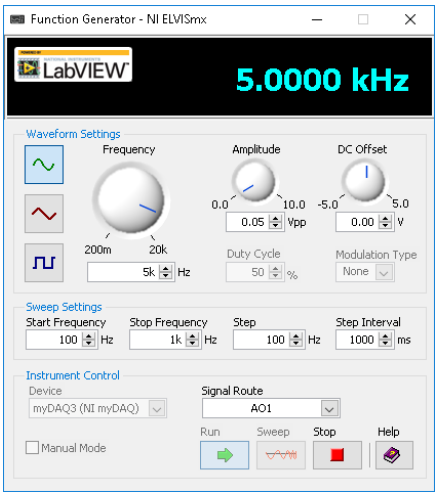
ภาพที่ 3.21 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

3.4.1 การหาอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_V) สามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณเพื่อวัดแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของวงจรดังภาพที่ 3.8



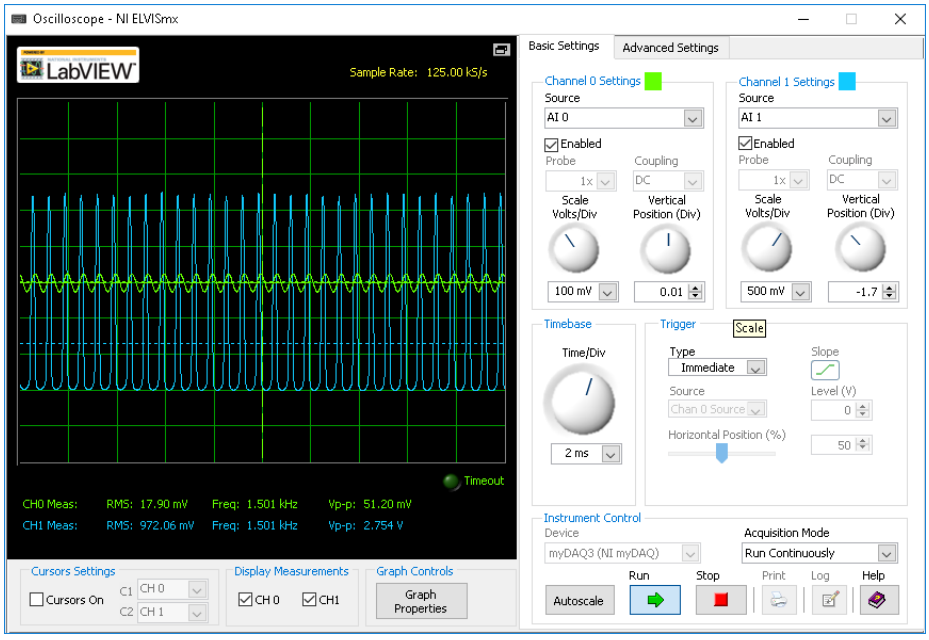
ภาพที่ 3.22 วิธีการต่อสายสัญญาณ

3.4.1.1 เปิดโปรแกรมฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และ กำหนดค่าให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายสัญญาณไซนูซอยดอล ที่ความถี่ 5 KHz แอมพลิจูด 0.05 V_{PP} ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 2.23 การกำหนดค่าฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

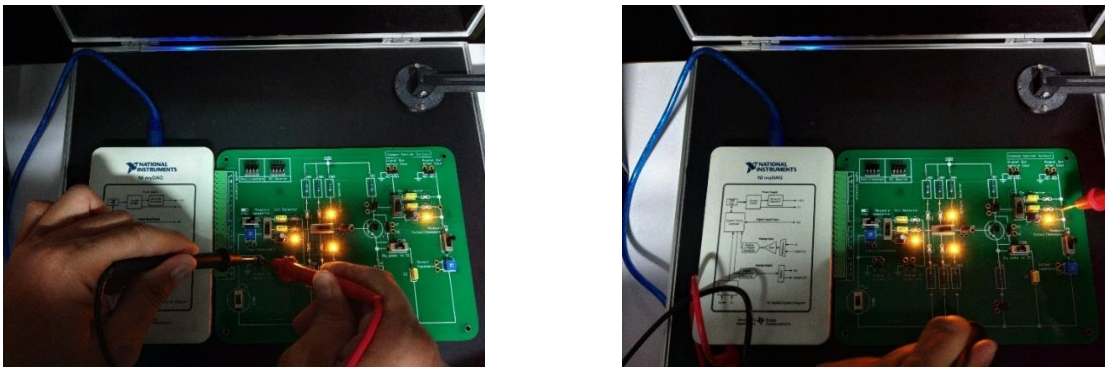
3.4.1.2 ตั้งค่าให้ออสซิลโลสโคป นำสัญญาณช่อง A1 มาแสดงผลด้วย โดยการเลือก Enabled ตรงส่วนการตั้งค่าของช่อง A1 และปรับ Volt/Div ของช่อง A0 ให้มีค่า 100 mV และ ช่อง A1 ให้มีค่าเท่ากับ 1 V และปรับ Time/Div ให้มีค่าเท่ากับ 500 us ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.24 การกำหนดค่าออสซิลโลสโคป

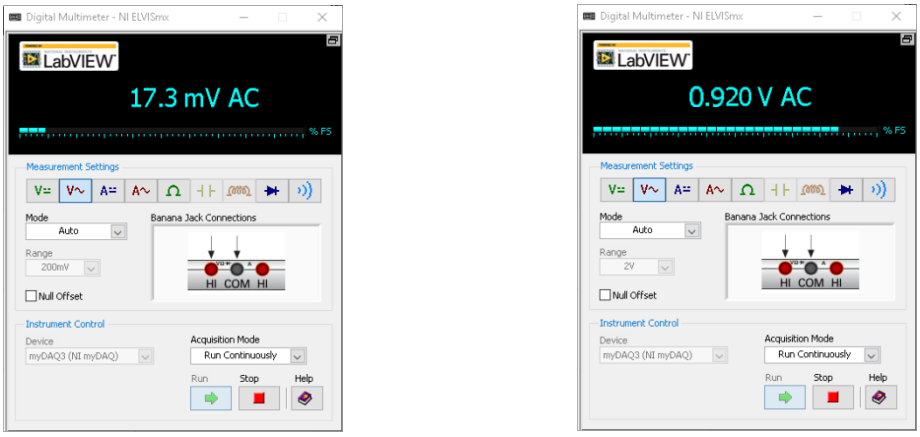
จากภาพที่ 3.10 เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าไปในวงจร (เส้นสีเขียว) และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจร (เส้นสีฟ้า) พบว่ามีแรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณ 5.4 V_{P-P} และแรงดันอินพุตมีค่าประมาณ 50 mV_{P-P} เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตจะได้อัตราขยายแรงดันประมาณ 54 เท่า

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยวิธีการวัดดังภาพที่ 3.11 โดยภาพที่ 3.11 (ก) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันอินพุตของวงจร โดยวัดจากสัญญาณอินพุตก่อนที่จะเข้า C_{in} เทียบกับกราวนด์ และภาพที่ 3.11 (ข) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรโดยวัดสัญญาณที่ออกจากจุด C_{out} เทียบกับกราวนด์ แสดงวิธีการวัดดังภาพที่ 3.11 และได้ผลการวัดดังภาพที่ 3.12



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.25 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตเพื่อนำไปหาอัตราขยายแรงดัน

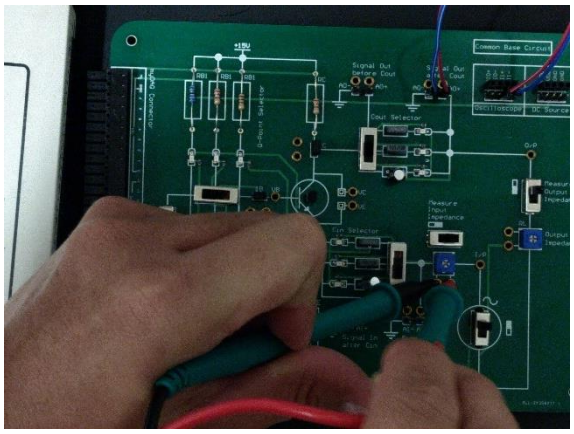


(ก) (ข)

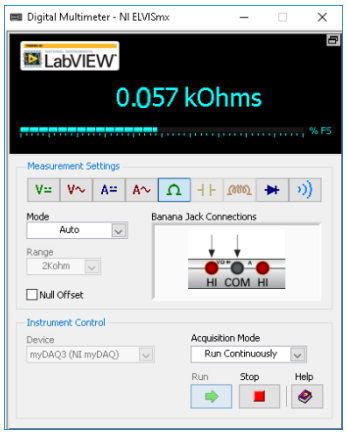
ภาพที่ 3.26 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากผลการวัดแรงดันเอาต์พุตในภาพที่ 3.12 (ก) และผลการวัดแรงดันอินพุตในภาพที่ 3.12 (ข) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต มีค่าประมาณ 53 เท่า

3.4.2 การหาความต้านทานอินพุตของวงจร (R_i) แสดงดังภาพที่ 3.13



(ก)

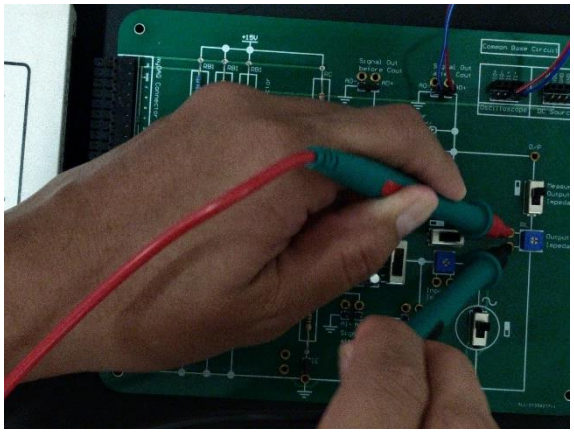


(ข)

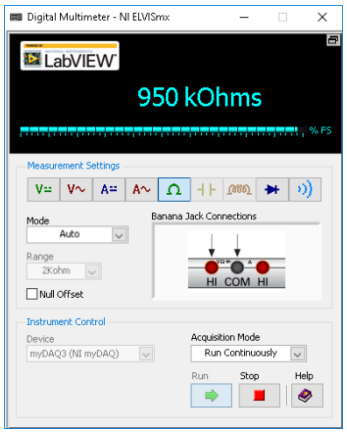
ภาพที่ 3.27 การวัดความต้านทานอินพุตของวงจร

จากภาพที่ 3.13 เมื่อจะทำการหาความต้านทานอินพุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Input Impedance ไปทางขวามือ จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำการถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค และใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานอินพุตของวงจร

3.4.3 การหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร (R_O)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.28 การวัดความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

จากภาพที่ 3.14 เมื่อจะทำการหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Output Impedance ลงมาด้านล่าง จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาต์พุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค แล้วใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

3.4.4 การหาอัตราขยายกระแสของวงจร (A_i) สามารถหาได้จาก

$$A_i = A_V \times \frac{R_i}{R_L}$$

3.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร

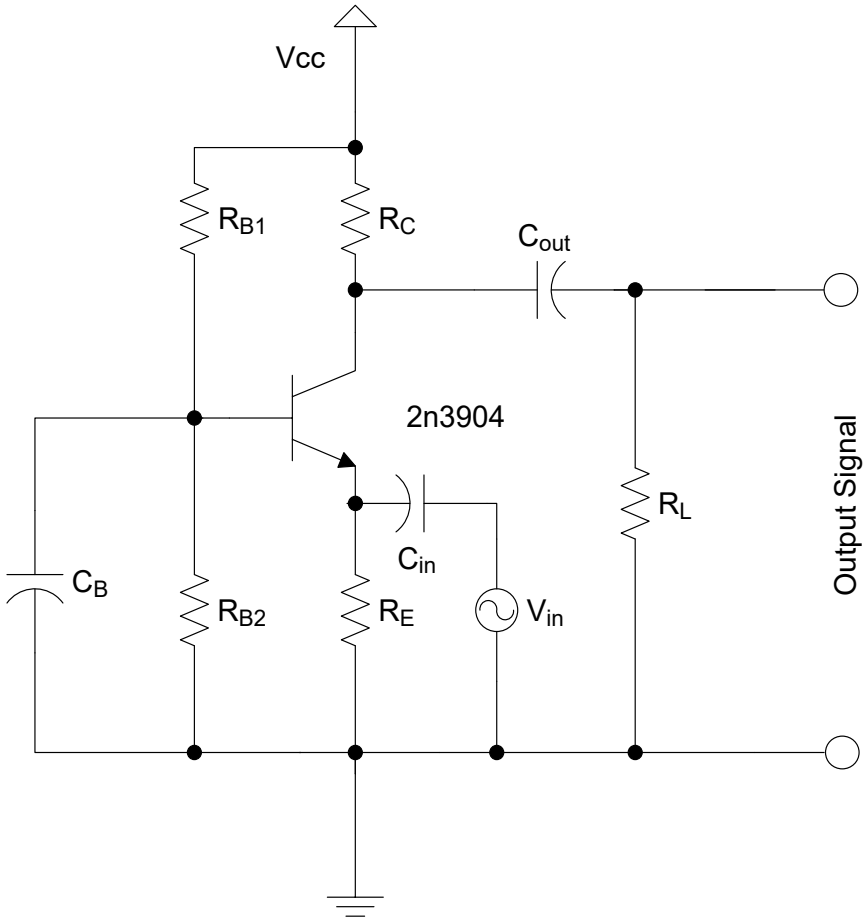
1. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ต่ำ ประมาณ 50 Ω
2. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) สูงประมาณ 1MΩ
3. ให้สัญญาณเอาต์พุตที่ไม่กลับเฟส
4. มีอัตราขยายแรงดันสูง แต่ไม่ขยายกระแส
6. มีอัตราขยายกำลัง (P) ไม่น้อยกว่า 40 dB

ใบเนื้อหาการสอนที่ 4

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

4.1 ลักษณะของวงจร

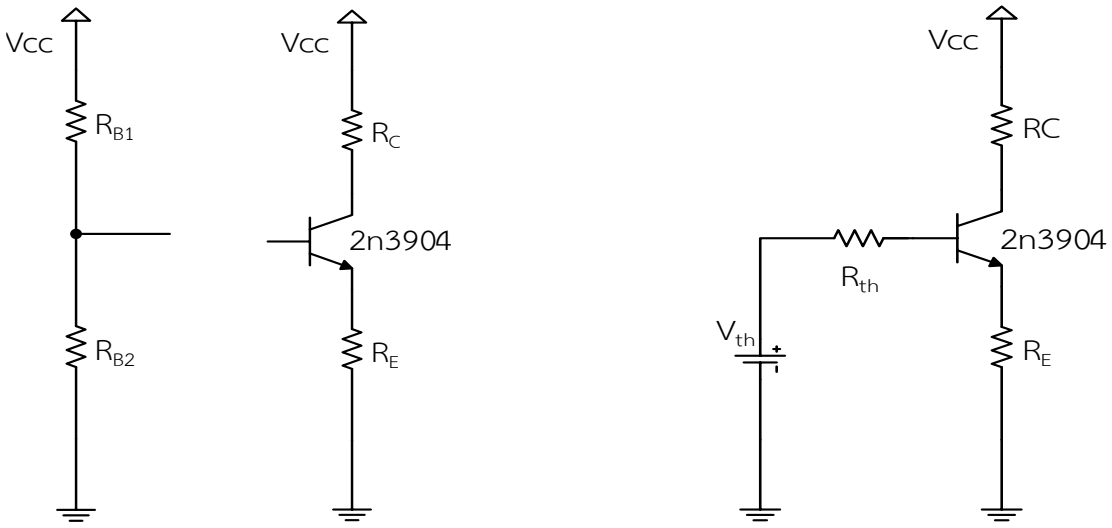
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส เป็นวงจรที่มีขาเบส (B) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาอิมิตเตอร์ (E) มีขาเอาต์พุตออกทางขาคอลเลคเตอร์ (C) วงจรเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.29 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

4.2 วงจรไบแอส

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบไม่มีตัวเก็บประจุที่ขาเบส แสดงดังภาพที่ 3.2



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.30 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาเบส

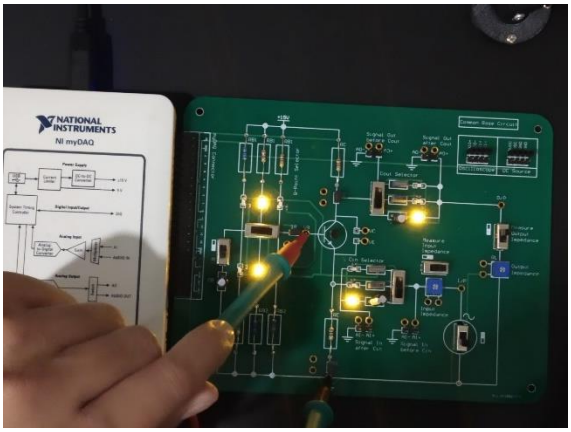
จากภาพที่ 4.2 แสดงวิธีการหาวงจรไบแอสทางด้านดีซี โดยการปลดแหล่งจ่ายสัญญาณเอซีออก และเปิดตัวเก็บ ประจุทุกตัว จะได้วงจรดังภาพที่ 4.2 (ก) โดยเมื่อปลดโหลดแล้วจะได้วงจรสมมูลเทวินินดังภาพที่ 4.2 (ข)

4.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส

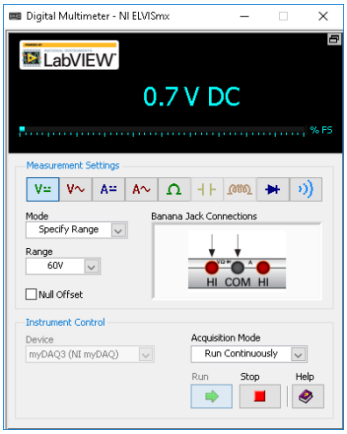
การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเบสร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่เบสมีวิธีการดังนี้

4.3.1 การวัดค่าแรงดันไบแอส

วิธีการวัดค่าแรงดันไบแอส สามารถวัดจากจุด V_B เทียบกับ กราวนด์ ดังภาพที่ 4.3



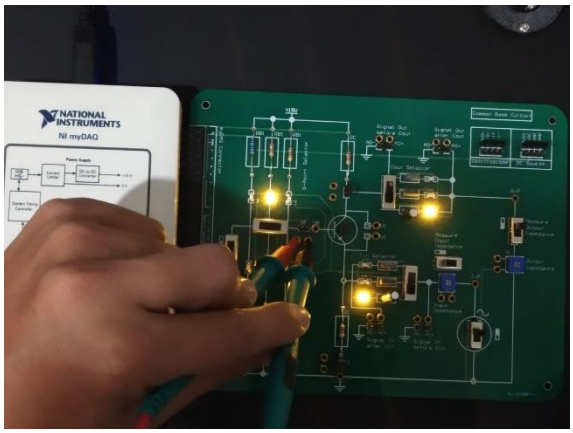
(ก)



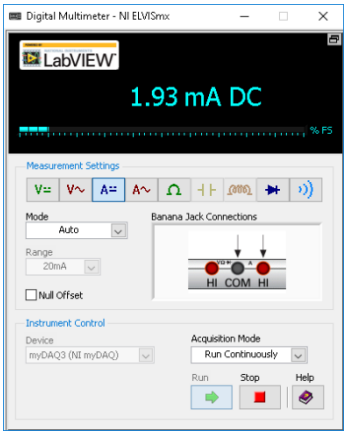
(ข)

ภาพที่ 4.31 แสดงการวัดค่าแรงดันไบแอส

4.3.2 การวัดค่ากระแสไบแอส มีวิธีการวัดดังภาพที่ 4.4



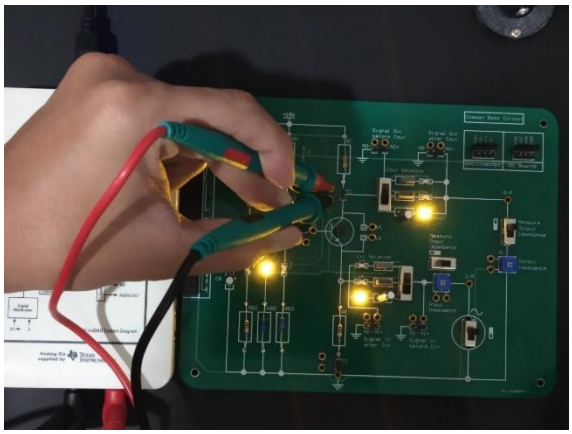
(ก)



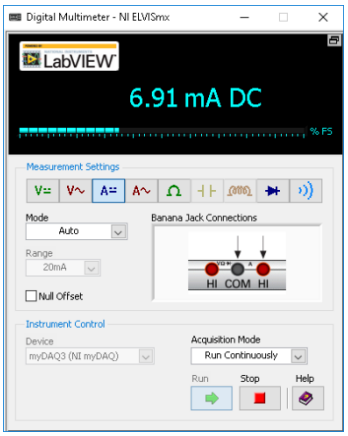
(ข)

ภาพที่ 4.32 แสดงการวัดค่ากระแสไบแอสและผลการวัด

4.3.3 การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีวิธีการวัดดังภาพที่ 4.5



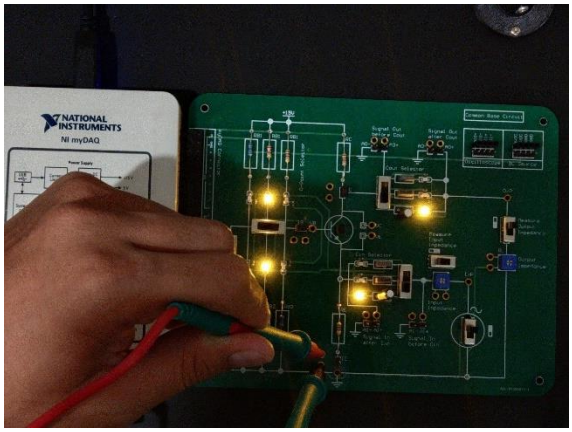
(ก)



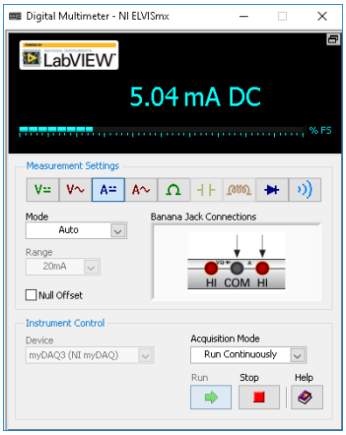
(ข)

ภาพที่ 4.33 แสดงการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์และผลการวัด

4.3.4 การวัดค่ากระแสอิมิเตอร์ (I_E) มีวิธีการวัดดังภาพที่ 4.6



(ก)



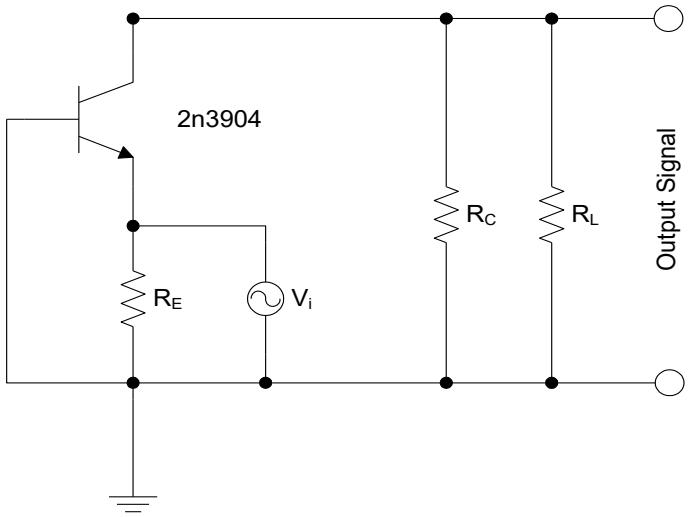
(ข)

ภาพที่ 4.34 แสดงการวัดค่ากระแสอิมิเตอร์และผลการวัด

จากผลการวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านดีซี ในภาพที่ 4.4 (ข) คือค่าของกระแสไบแอสหรือกระแสเบส (I_B) มีค่าเท่ากับ 1.93 mA ภาพที่ 4.5 (ข) คือค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) มีค่าเท่ากับ 6.91 mA และ ภาพที่ 4.6 (ข) คือค่าของกระแสอิมิเตอร์ (I_E) มีค่าเท่ากับ 5.04 mA พบว่าค่าที่วัดได้เป็นไปตามสมการ $I_E = I_B + I_C$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

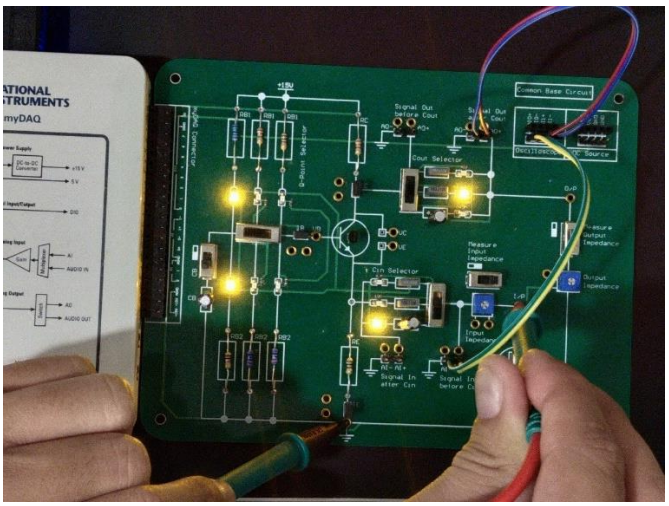
4.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก มีหลักการคือ ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซีและตัวเก็บประจุทุกตัวภายในวงจร ซึ่งส่งผลให้ได้วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 4.7



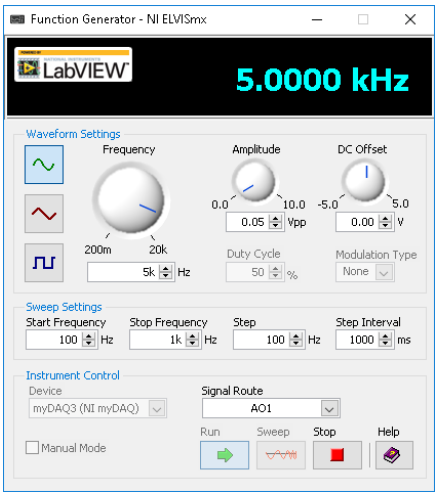
ภาพที่ 4.35 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

4.4.1 การหาอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_V) สามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณเพื่อวัดแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของวงจรดังภาพที่ 4.8 และเลื่อนสวิตช์ CB ลงมาด้านล่าง



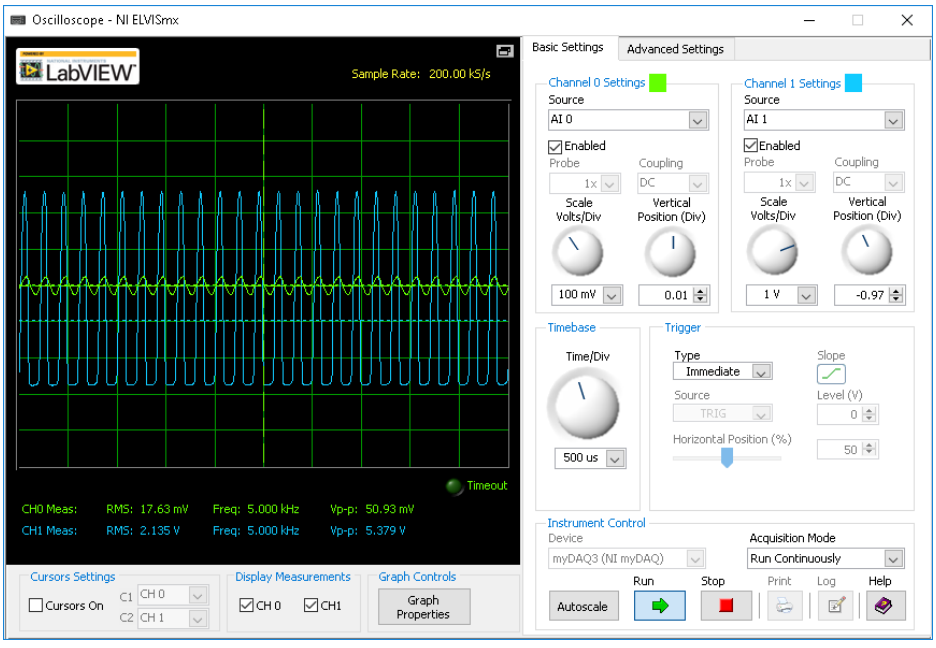
ภาพที่ 4.36 วิธีการต่อสายสัญญาณ

4.4.1.1 เปิดโปรแกรมฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และ กำหนดค่าให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายสัญญาณไซนูซอยดอล ที่ความถี่ 5 KHz แอมพลิจูด 0.05 V_{PP} ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.37 การกำหนดค่าฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

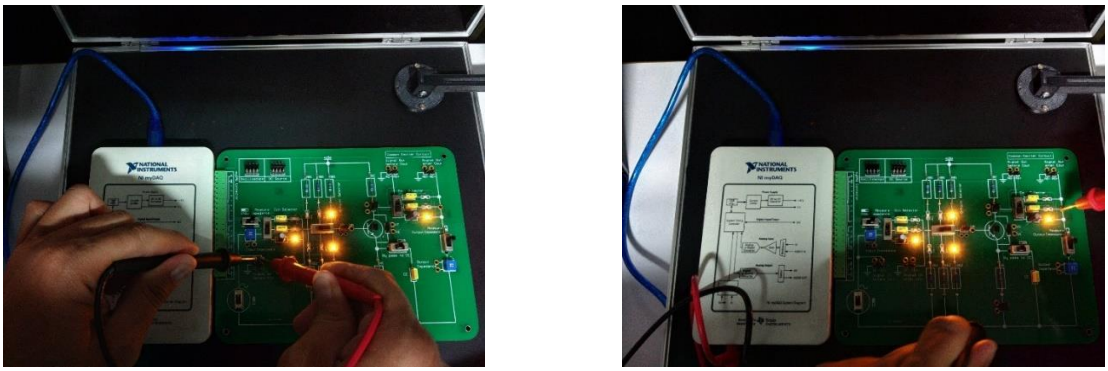
4.4.1.2 ตั้งค่าให้ออสซิลโลสโคป นำสัญญาณช่อง A1 มาแสดงผลด้วย โดยการเลือก Enabled ตรงส่วนการตั้งค่าของช่อง A1 และปรับ Volt/Div ของช่อง A0 ให้มีค่า 100 mV และ ช่อง A1 ให้มีค่าเท่ากับ 1 V และปรับ Time/Div ให้มีค่าเท่ากับ 500 us ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.38 การกำหนดค่าออสซิลโลสโคป

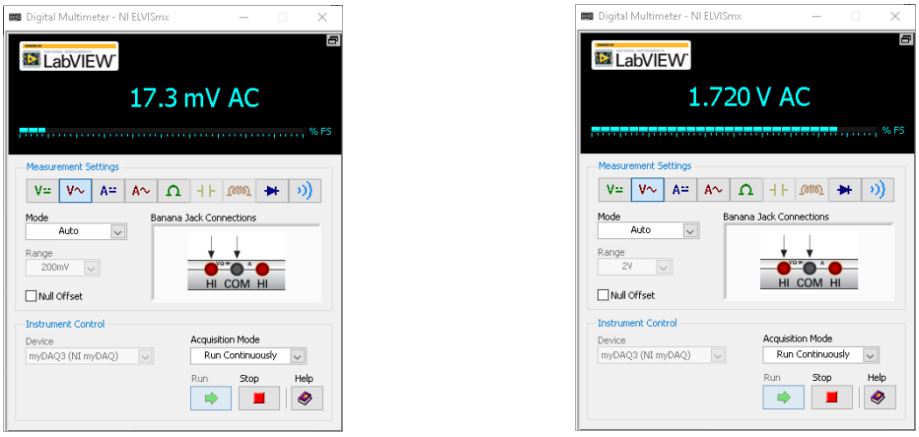
จากภาพที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าไปในวงจร (เส้นสีเขียว) และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจร (เส้นสีฟ้า) พบว่ามีแรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณ 5.4 V_{P-P} และแรงดันอินพุตมีค่าประมาณ 50 mV_{P-P} เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตจะได้อัตราขยายแรงดันประมาณ 108 เท่า

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยวิธีการวัดดังภาพที่ 4.11 โดยภาพที่ 4.11 (ก) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันอินพุตของวงจร โดยวัดจากสัญญาณอินพุตก่อนที่จะเข้า C_{in} เทียบกับกราวนด์ และภาพที่ 4.11 (ข) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรโดยวัดสัญญาณที่ออกจากจุด C_{out} เทียบกับกราวนด์ แสดงวิธีการวัดดังภาพที่ 4.11 และได้ผลการวัดดังภาพที่ 4.12



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.39 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตเพื่อนำไปหาอัตราขยายแรงดัน

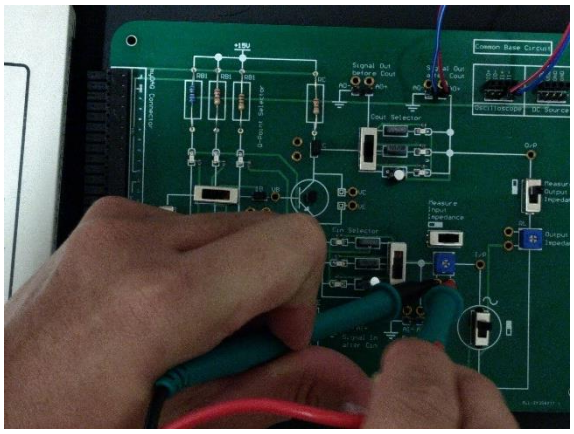


(ก) (ข)

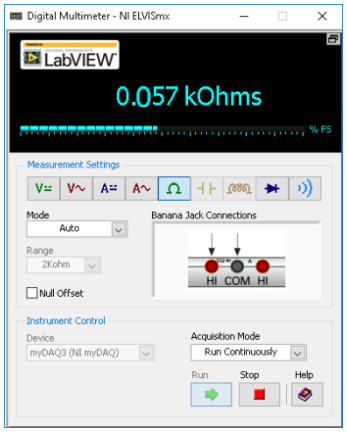
ภาพที่ 4.40 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากผลการวัดแรงดันเอาต์พุตในภาพที่ 4.12 (ก) และผลการวัดแรงดันอินพุตในภาพที่ 4.12 (ข) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต มีค่าประมาณ 100 เท่า

4.4.2 การหาความต้านทานอินพุตของวงจร (R_i) แสดงดังภาพที่ 4.13



(ก)

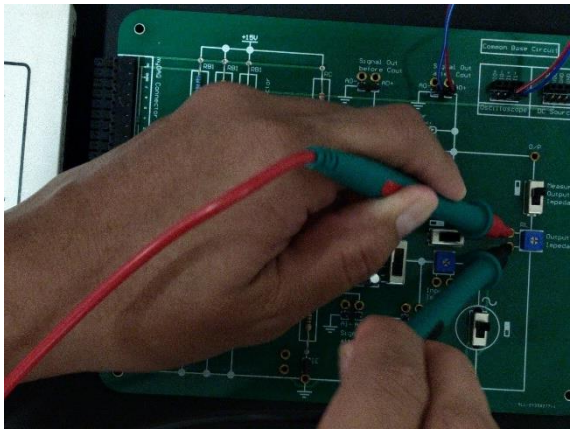


(ข)

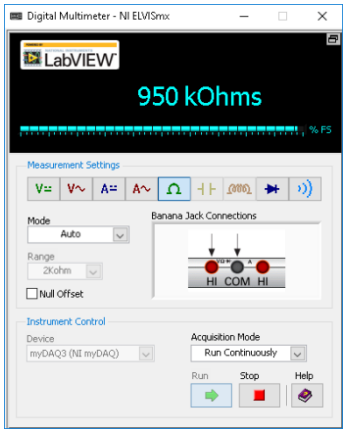
ภาพที่ 4.41 การวัดความต้านทานอินพุตของวงจร

จากภาพที่ 4.13 เมื่อจะทำการหาความต้านทานอินพุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Input Impedance ไปทางขวามือ จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำการถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค และใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานอินพุตของวงจร

4.4.3 การหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร (R_O)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.42 การวัดความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

จากภาพที่ 4.14 เมื่อจะทำการหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Output Impedance ลงมาด้านล่าง จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาต์พุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค แล้วใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

4.4.4 การหาอัตราขยายกระแสของวงจร (A_i) สามารถหาได้จาก

$$A_i = A_V \times \frac{R_i}{R_L}$$

4.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร

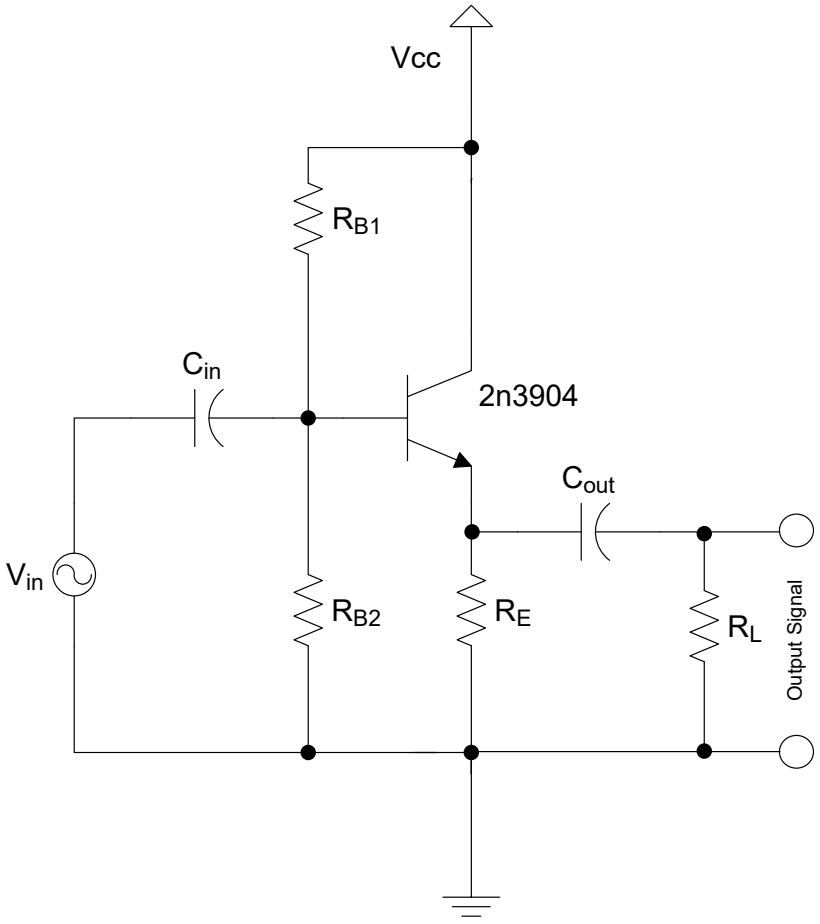
1. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ต่ำ ประมาณ 50 Ω
2. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) สูงประมาณ 1MΩ
3. ให้สัญญาณเอาต์พุตที่ไม่กลับเฟส
4. มีอัตราขยายแรงดันสูง แต่ไม่ขยายกระแส
6. มีอัตราขยายกำลัง (P) ไม่น้อยกว่า 40 dB

ใบเนื้อหาการสอนที่ 5

เรื่อง วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

5.1 ลักษณะของวงจร

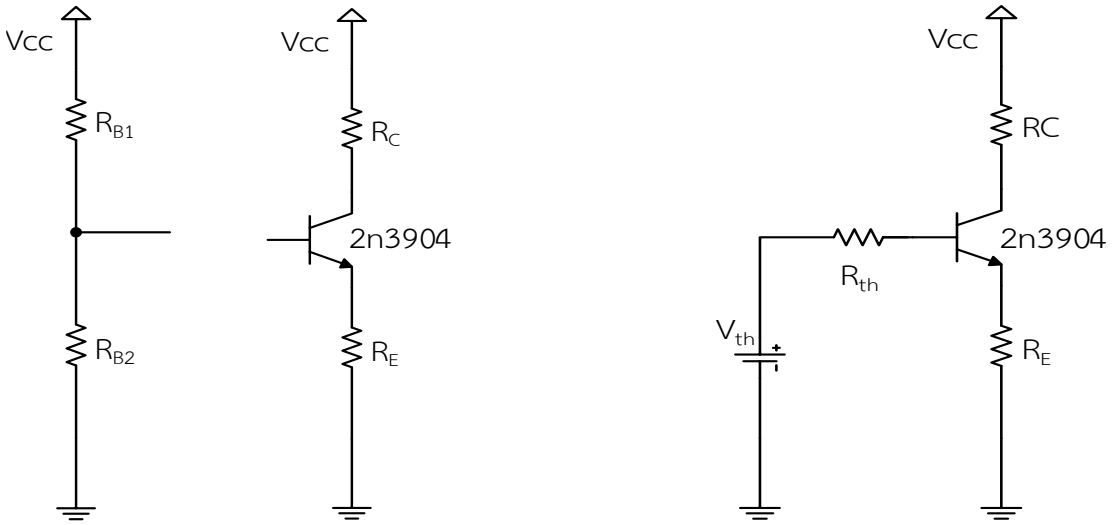
วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม เป็นวงจรที่มีขาคอลเลคเตอร์ (C) เป็นขาร่วมทางอินพุตและเอาต์พุต มีขาอินพุตเข้าทางขาเบส (B) มีขาเอาต์พุตออกทางขาอิมิตเตอร์ (E) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมแบบพื้นฐานแสดงดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.43 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

5.2 วงจรไบแอส

วงจรไบแอสวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม แสดงดังภาพที่ 5.2



(ก) (ข)

ภาพที่ 5.44 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กคอลเล็กเตอร์ร่วม

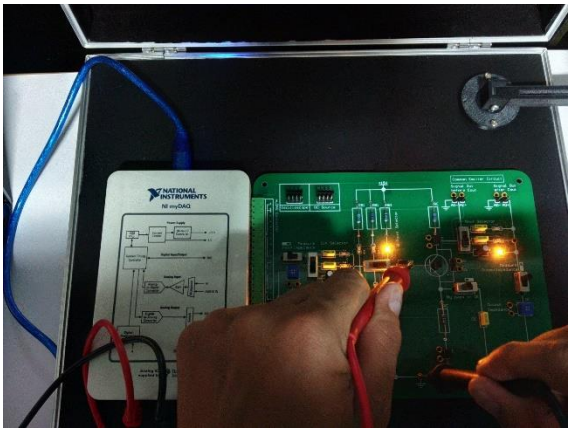
จากภาพที่ 5.2 แสดงวิธีการหาวงจรไบแอสทางด้านดีซี โดยการปลดแหล่งจ่ายสัญญาณเอซีออก และเปิดตัวเก็บ ประจุทุกตัว จะได้วงจรดังภาพที่ 5.2 (ก) โดยเมื่อปลดโหลดแล้วจะได้วงจรสมมูลเทวินินดังภาพที่ 5.2 (ข)

5.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอส

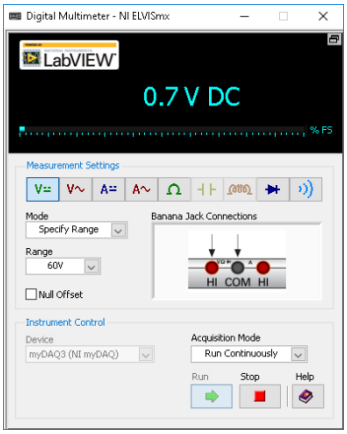
การวัดค่าแรงดันและกระแสไบแอสของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กอิมิเตอร์ร่วมแบบมีตัวเก็บประจุที่ขาอิมิเตอร์มีวิธีการดังนี้

5.3.1 การวัดค่าแรงดันไบแอส

วิธีการวัดค่าแรงดันไบแอส สามารถวัดจากจุด V_B เทียบกับ กราวนด์ ดังภาพที่ 5.3



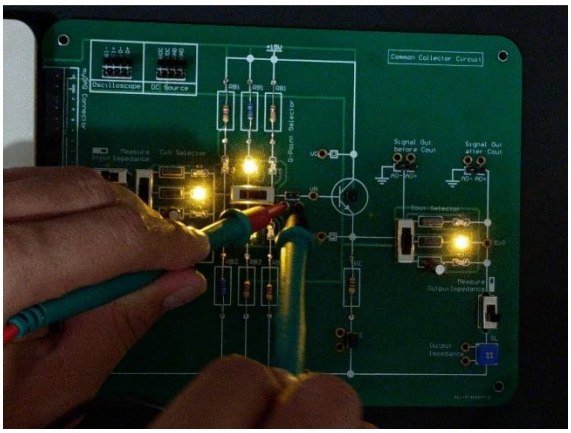
(ก)



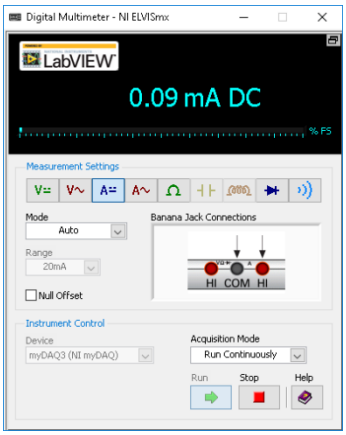
(ข)

ภาพที่ 5.45 แสดงการวัดค่าแรงดันไบแอส

5.3.2 การวัดค่ากระแสไบแอส มีวิธีการวัดดังภาพที่ 5.4



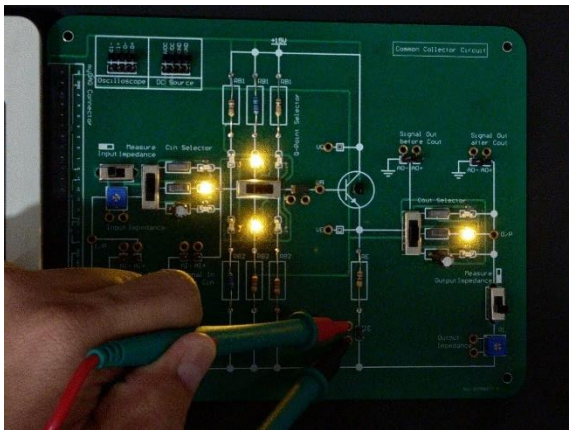
(ก)



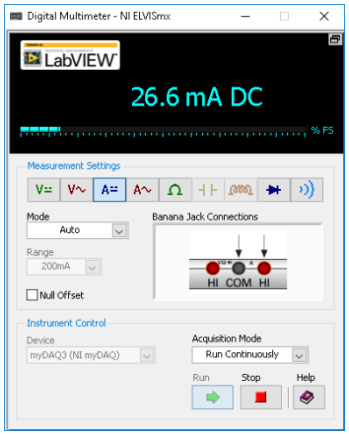
(ข)

ภาพที่ 5.46 แสดงการวัดค่ากระแสไบแอสและผลการวัด

5.3.3 การวัดค่ากระแสอิมิเตอร์ (I_E) มีวิธีการวัดดังภาพที่ 5.5



(ก)



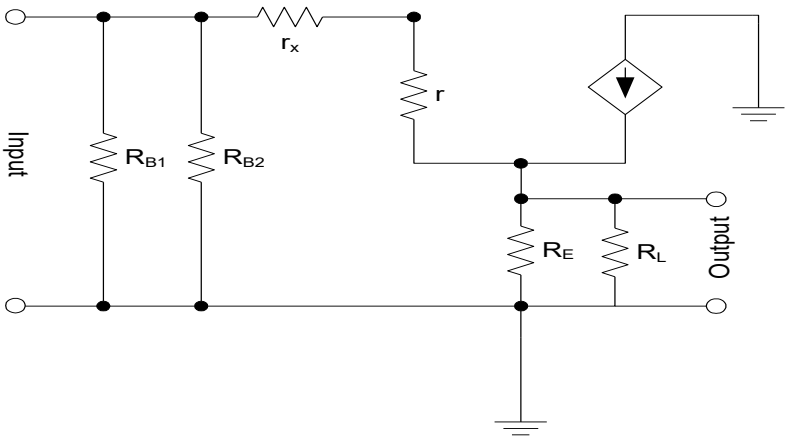
(ข)

ภาพที่ 5.5 แสดงการวัดค่ากระแสอิมิเตอร์และผลการวัด

จากผลการวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านดีซี ในภาพที่ 5.4 (ข) คือค่าของกระแสไบแอสหรือกระแสเบส (I_B) มีค่าเท่ากับ 0.09 mA ภาพที่ 5.5 (ข) คือค่าของกระแสอิมิเตอร์ (I_E) มีค่าเท่ากับ 26.6 mA

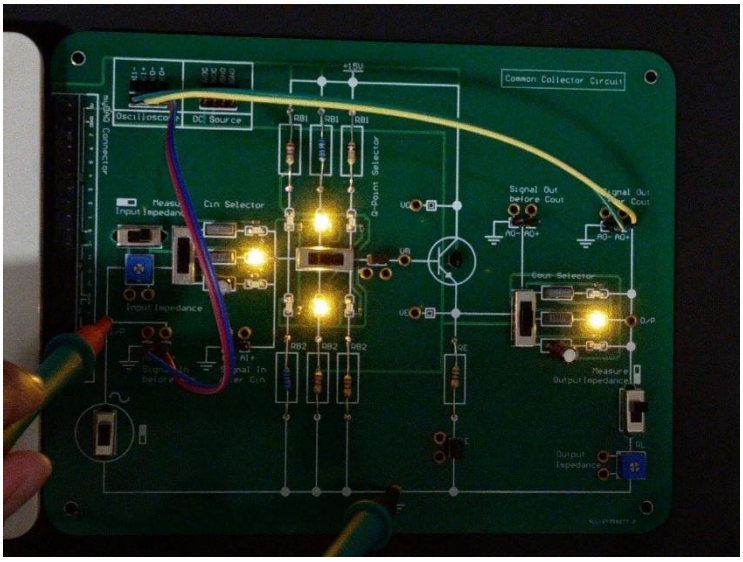
5.4 การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal)

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรด้านการขยายสัญญาณขนาดเล็ก มีหลักการคือ ลัดวงจรแหล่งจ่ายดีซีและตัวเก็บประจุทุกตัวภายในวงจร ซึ่งส่งผลให้ได้วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ดังภาพที่ 5.6



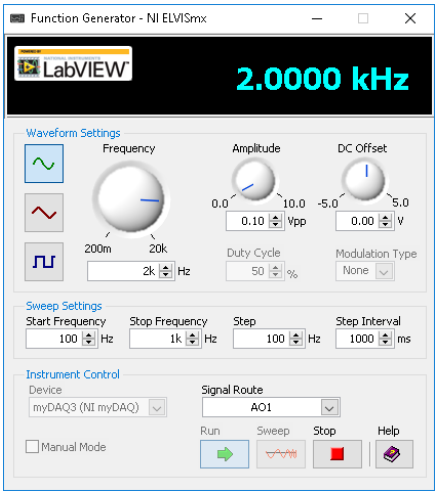
ภาพที่ 5.6 วงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

5.4.1 การหาอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_V) สามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณเพื่อวัดแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของวงจรดังภาพที่ 5.7



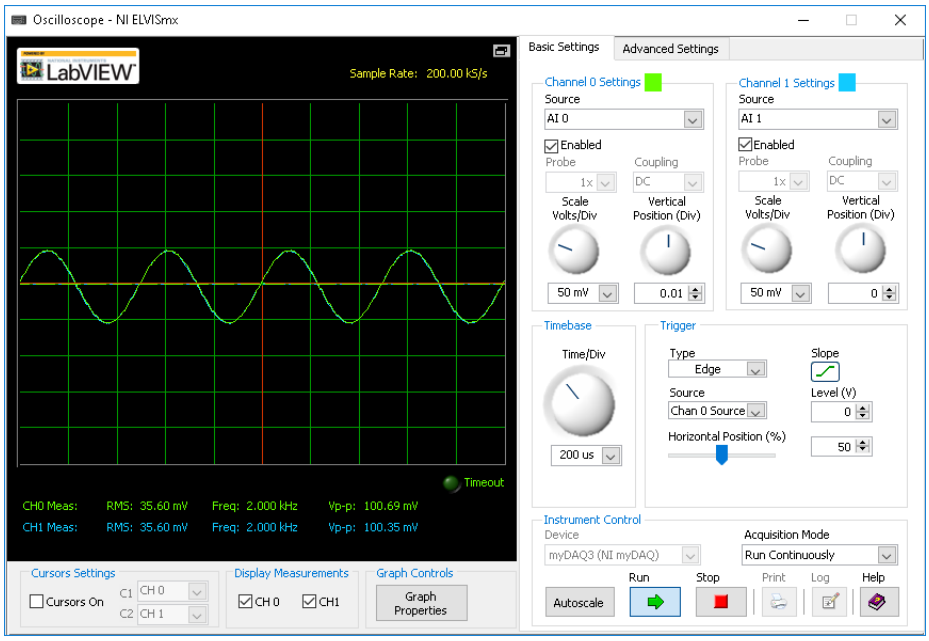
ภาพที่ 5.7 วิธีการต่อสายสัญญาณ

5.4.1.1 เปิดโปรแกรมฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และ กำหนดค่าให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายสัญญาณไซนูซอยดอล ที่ความถี่ 2 KHz แอมพลิจูด 0.10 V_{PP} ดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 การกำหนดค่าฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

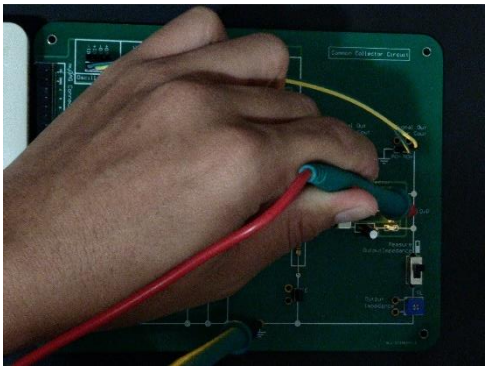
5.4.1.2 ตั้งค่าให้ออสซิลโลสโคป นำสัญญาณช่อง A1 มาแสดงผลด้วย โดยการเลือก Enabled ตรงส่วนการตั้งค่าของช่อง A1 และปรับ Volt/Div ของช่อง A0 และ ช่อง A1 ให้มีค่าเท่ากับ 50 mV และปรับ Time/Div ให้มีค่าเท่ากับ 200 us ดังภาพที่ 5.9



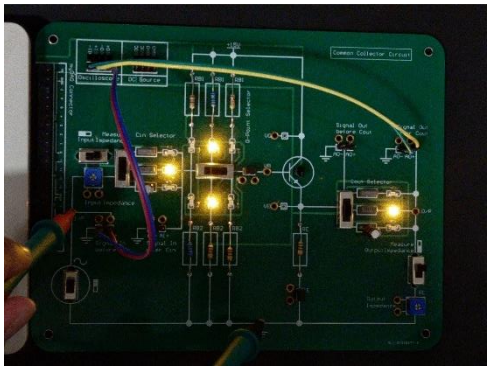
ภาพที่ 5.9 การกำหนดค่าออสซิลโลสโคป

จากภาพที่ 5.9 เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าไปในวงจร (เส้นสีเขียว) และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจร (เส้นสีฟ้า) พบว่ามีแรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณ 100 mV_{P-P} และ แรงดันอินพุตมีค่าประมาณ 100 mV_{P-P} เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตจะได้อัตราขยายแรงดันน้อยกว่า 1 เท่า (ประมาณ 0.99)

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยวิธีการวัดดังภาพที่ 5.10 โดยภาพที่ 5.10 (ก) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันอินพุตของวงจร โดยวัดจากสัญญาณอินพุตก่อนที่จะเข้า C_{in} เทียบกับกราวนด์ และภาพที่ 5.10 (ข) แสดงวิธีการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรโดยวัดสัญญาณที่ออกจากจุด C_{out} เทียบกับกราวนด์ แสดงวิธีการวัดดังภาพที่ 5.10 และได้ผลการวัดดังภาพที่ 5.11

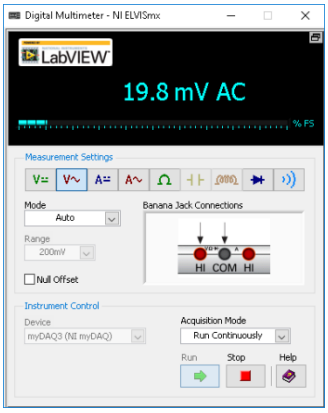


(ก)

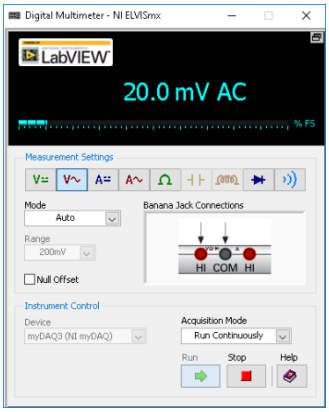


(ข)

ภาพที่ 5.10 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตเพื่อนำไปหาอัตราขยายแรงดัน



(ก)

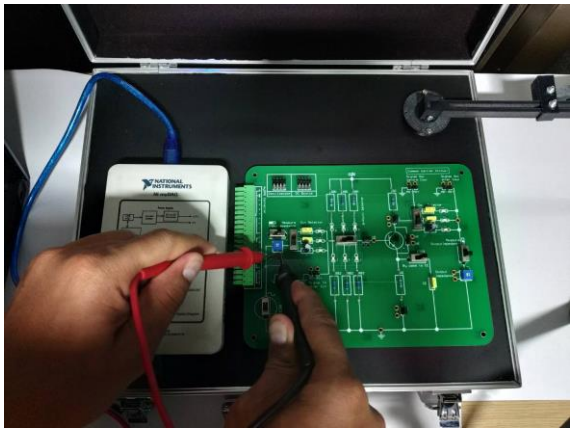


(ข)

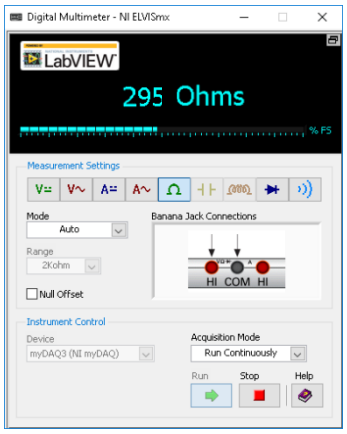
ภาพที่ 5.11 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากผลการวัดแรงดันเอาต์พุตในภาพที่ 5.11 (ก) และผลการวัดแรงดันอินพุตในภาพที่ 5.11 (ข) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต มีค่าน้อยกว่า 1 เท่า (ประมาณ 0.99)

5.4.2 การหาความต้านทานอินพุตของวงจร (R_i) แสดงดังภาพที่ 5.12



(ก)

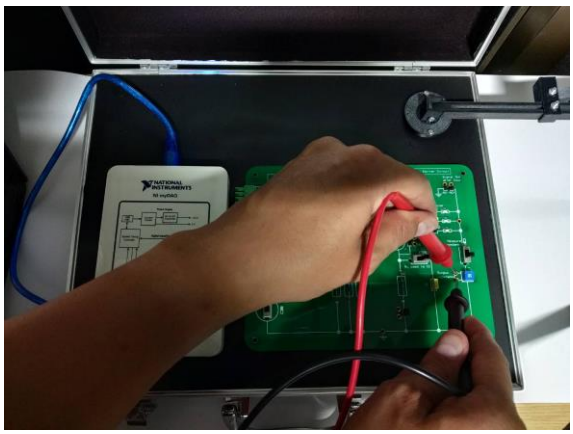


(ข)

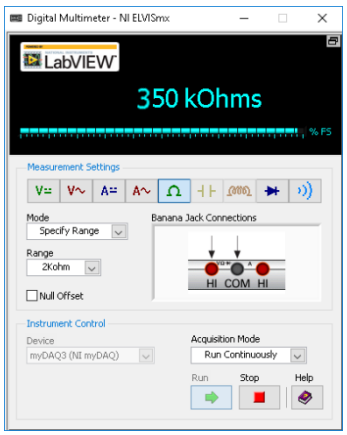
ภาพที่ 5.12 การวัดความต้านทานอินพุตของวงจร

จากภาพที่ 5.12 เมื่อจะทำการหาความต้านทานอินพุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Input Impedance ไปทางซ้ายมือ จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำการถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค และใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานอินพุตของวงจร

5.4.3 การหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร (R_O)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5.13 การวัดความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

จากภาพที่ 5.13 เมื่อจะทำการหาความต้านทานเอาต์พุตของวงจร ให้เลื่อนสวิตช์ Measure Output Impedance ลงมาด้านล่าง จากนั้นให้ทำการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วใช้ไขควงหมุนจนกว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาต์พุต เมื่อปรับค่าได้แล้ว ให้ทำถอดบอร์ดวงจรออกจากเอ็นไอมายแด็ค แล้วใช้โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความต้านทานเอาต์พุตของวงจร

5.4.4 การหาอัตราขยายกระแสของวงจร (A_i) สามารถหาได้จาก

$$A_i = A_V \times \frac{R_i}{R_L}$$

5.5 สรุปและอภิปรายผลการทำงานของวงจร

1. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ต่ำ ประมาณ 300Ω

2. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) สูงประมาณ 300 kΩ

3. เฟสของสัญญาณเอาต์พุตไม่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต

4. มีอัตราขยายกระแสสูงมาก จากการวัดค่ากระแสอิมิตเตอร์เทียบกับกระแสเบสพบว่า กระแสอิมิตเตอร์มีค่ามากกว่ากระแสเบสไม่น้อยกว่า 290 เท่า

5. มีอัตราขยายแรงดันไม่เกิน 1 เท่า

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายธิชานนท์ ร่มสายหยุด
วัน-เดือน-ปีเกิด	14 พฤศจิกายน 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	397/88 หมู่บ้านราชพฤกษ์ สุวรรณภูมิ-ลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวง ลำปลาทิว เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10520
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมาเรียลัย ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชา ครุศาสตร์วิศวกรรม (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (ค.อ.ม.) สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2557 ทำงานตำแหน่งโปรแกรมเมอร์ บริษัท หาญเอ็นจิเนียริ่งโซลูชั่นส์ จำกัด (มหาชน) พ.ศ. 2560 ทำงานตำแหน่ง Applications Engineer บริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด