การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน

ณัฐพล ภูครองทอง[1*] วิสิทธิ์ ลุมชะเนาว์[2] และธนกร ดุจเพ็ญ[3]
[1*,2] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
[3] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

*ผู้นิพนธ์ประสานงานบทความ อีเมล: Nuttapon.pr@bru.ac.th โทรศัพท์ 08 0354 4554
รับเมื่อ 8 พฤษภาคม 2562 **แก้ไขเมื่อ** 27 พฤษภาคม 2562 **ตอบรับเมื่อ** 10 มิถุนายน 2562

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน 2) เพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน 3) เพื่อเปรียบเทียบความคงทนทางการเรียนรู้ 4) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเกรดเฉลี่ย (Y) กับคะแนนหลังเรียน (X) และรวมทั้งการประเมินระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดทดลองที่สร้างขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในภาคเรียนที่ 1/2560 จำนวน 20 คน เครื่องมือแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านชุดทดลอง และใบงานทดลอง จากนั้นได้หาประสิทธิภาพของชุดทดลอง การเก็บรวบรวมข้อมูล อาศัยการทดสอบก่อนและหลังเรียน และทดสอบอีกครั้งหลังการสอนสิ้นสุดผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ ผลการวิจัย พบว่า ชุดทดลองที่สร้างขึ้น มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 84.62/83.20 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (80/80) ผลเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน $\overline{X}$ = 19.55 (S.D =2.13) สูงกว่าก่อนเรียน $\overline{X}$ = 8.28 (S.D =1.78) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความคงทน พบว่า ผลต่างคะแนนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $\Delta\overline{X}$ = 3.30 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเกรดเฉลี่ย (Y) กับคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (X) มีค่าเท่ากับ .67 ซึ่งอยู่ในระดับสูง และผู้เรียนมีความพึงพอใจที่ได้เรียนด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับมาก $\overline{X}$ =4.42 (S.D = 0.72)

คำสำคัญ: วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ ใบงานทดลอง ความคงทน

A Construction and Finding of the Efficiency of Experimental Set Electronics in the Topic of Operational Transconductance

Nattapon Pookhrongtong[1*] Wisit Lumchanao[2] and Thanakorn Dujpen[3]
[1*,2] Electronics Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University
[3] Electrical Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

*Corresponding author. E-mail: Nuttapon.pr@bru.ac.th Tel. 08 0354 4554
Received: May 8, 2019; **Revised:** May 27, 2019; **Accepted:** June 10, 2019

Abstract

The purposes of this study 1) to construction and finding of the efficiency of experimental set electronics in the Topic of Operational Transconductance Amplifier, 2) to compare the mean scores between the pre-learning and post-learning, 3) to compare the learning Retention, 4) to analyze the correlation of the GPA (Y) and the mean scores post-learning (X) and evaluating Experimental Set satisfaction. The sample of this study was 20 on electronics technology program, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University, in Electronics Circuits course in the semester 1/2017. Which was divided into two parts : experimental Set and laboratory Sheet. Pre-test and post-test were used to collect the data. The subjects were tested again two weeks after the experiment was over. The Results of research found that the efficiency of the Experimental Set was 84.62/83.20, which was higher than the set criteria of 80/80. The comparison of the post-test mean scores was $\overline{X}$ = 19.55 with S.D = 2.13 higher than that of the pre-test scores was $\overline{X}$ = 8.28 with S.D = 1.78 at a significance level of .05. The comparison the learning Retention the difference of the mean scores was $\Delta\ \overline{X}$ = 3.30. Regarding the correlation between the scores GPA (Y) and the mean scores post-learning (X), it was found that the correlation of the scores was 0.67, which was quite high. The student were satisfied in the Experimental set at the mean high level $\overline{X}$ = 4.42 with S.D =0.72.

Keywords: Operational Transconductance Amplifier, Experimental Set Electronics, Laboratory Sheet, Learning Retention.

1. บทนำ

การศึกษาเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เพราะการศึกษามีส่วนสำคัญในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีความรู้ ความสามารถทั้งด้านวิชาการและวิชาชีพเพื่อให้มีคุณสมบัติสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วการศึกษาต้องมีการเปลี่ยนแปลงตามยุคสมัยเพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียน ดังนั้นชุดทดลองจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญประการหนึ่งที่จะช่วยให้การเรียนการสอนดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะชุดทดลองช่วยกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนและมีส่วนร่วมในการเรียนช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้อย่างรวดเร็ว ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้มากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการจัดการศึกษายังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรเนื่องจากขาดแคลนชุดทดลอง

เพื่อให้การเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้เน้นการส่งเสริมให้สถานศึกษาพัฒนาปรับปรุงการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อให้นักศึกษามีความคิดริเริ่ม สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และนำไปปฏิบัติได้ ส่งเสริมการผลิตตำรา เอกสารทางวิชาการและสื่อการเรียนการสอนในสาขาต่างๆ โดยเฉพาะหัวข้อเนื้อหาเรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน เป็นหัวข้อหนึ่งของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 5581105) ซึ่งเป็นเรื่องที่ถือว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งของการศึกษาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ โดยเนื้อหาเป็นทฤษฎีที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการทำงาน โครงสร้าง วงจรสมมูลย์ และการประยุกต์ใช้งานในวงจรต่างๆ

จากการสอบถามอาจารย์ผู้สอนและคณาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ พบว่าสภาพการจัดการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ยังไม่เอื้อประโยชน์ และไม่มีความพร้อมต่อการเรียนรู้ ไม่มีรายละเอียดวิธีการทำกิจกรรมที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญเพียงพอ และอาจารย์ผู้สอนยังขาดชุดทดลองที่สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่าย และส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และจากการสัมภาษณ์ผู้เรียนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ พบว่า ผู้เรียนส่วนมากมีความเข้าใจเนื้อหาได้น้อย เพราะผู้เรียนขาดการฝึกปฏิบัติจริงในการทดลองในรายวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และผู้เรียนแสดงความเห็นว่าน่าจะมีชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน ที่เป็นรูปธรรมมาประกอบการสอน

จากปัญหาดังกล่าวนั้นควรจัดแนวทางการศึกษามาใช้ในการเรียนการสอนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยการใช้ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน เพื่อจะได้ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติทดลองวงจรจริงตามเนื้อหาที่กำหนดไว้ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจและทักษะในการทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอนอย่างมีประสิทธิภาพ และจากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญถึงแนวทาง และวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการสร้างชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน วิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน

2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางการเรียนของนักศึกษาก่อนใช้ชุดทดลองกับนักศึกษาหลังใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้น

2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์

3. สมมติฐานของการวิจัย

3.1 ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าเกณฑ์กำหนดร้อยละ 80/80

3.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์สูงกว่านักศึกษาที่เรียนแบบวิธีปกติ ที่ระดับทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ .05

3.3 นักศึกษามีความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับมาก

4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเรื่อง วงจรขยายค่าความนำถ่ายโอน ระดับปริญญาตรี

4.2 เนื้อหาของวิชาที่นำมาใช้ในการสร้างชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ มีขอบเขตดังนี้

ก) วงจรขยายแรงดัน ข) วงจรเลียนแบบค่าความต้านทานแบบลงกราวด์

ค) วงจรคูณและหารสัญญาณกระแส ง) วงจรกรองความถี่ จ) วงจรกำเนิดสัญญาณ

4.3 ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นใช้สำหรับผู้เรียนที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ กลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน

4.4 ตัวแปรที่จะศึกษา

4.4.1 ตัวแปรต้น (Independent Variable) ได้แก่ การเรียนด้วยชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์

4.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา

5. ทฤษฎีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวงจรขยายความนำถ่ายโอน [1]-[3]

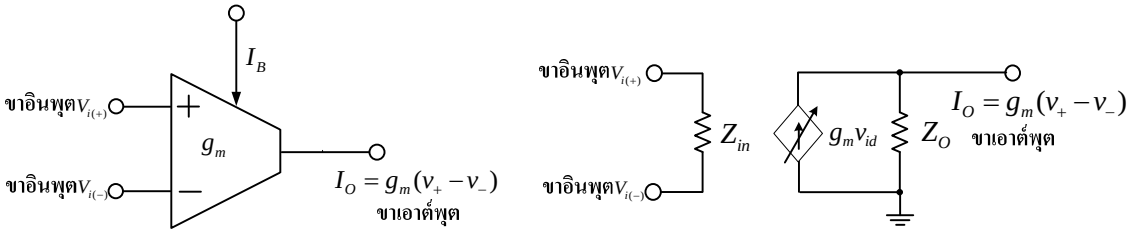
วงจรขยายความนำถ่ายโอน จัดเป็นวงจรขยายอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนผันแรงดันเป็นกระแส จัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์แอคทีฟที่มีการทำงานในลักษณะแรงดันควบคุมแหล่งจ่ายกระแส (Voltage controlled current source: VCCS) อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าเรียกว่า ค่าความนำถ่ายโอน (Transconductance) หรือ gm โดยทั่วไปวงจรขยายความนำถ่ายโอนจะสร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำซึ่งอยู่ในรูปแบบของวงจรและคุณสมบัติพื้นฐานคือ มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์สูง ส่วนค่าความนำถ่ายโอนสามารถควบคลุมได้โดยกระแสไบแอสจากภายนอก ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของวงจรขยายความนำถ่ายโอนแสดงได้ดังนี้ [4]

$$I_O = g_m \left[V_{i(+)} - V_{i(-)} \right] \tag{1}$$

เมื่อ $V_{i(+)}$ คือ แรงดันอินพุตไม่กลับ และ $V_{i(-)}$ แรงดันอินพุตกลับเฟส ส่วน I_0 คือ กระแสเอาต์พุต โดยทั่วไปขั้วกระแสเอาต์พุตของวงจรขยายความนำถ่ายโอนจะมีหลายขั้วก็ได้ซึ่งแต่ละขั้วจะมีขนาดกระแสเท่ากัน สำหรับวงจรขยายความนำถ่ายโอนที่สร้างมาจากไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ค่าความนำถ่ายโอนเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_B}{2V_T} \tag{2}$$

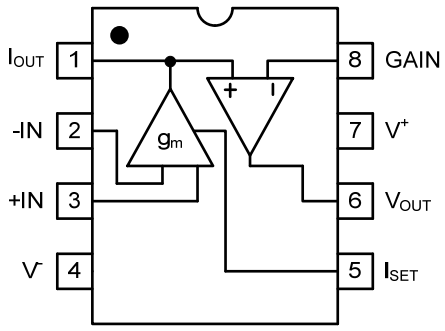
โดยที่ V_T คือ ศักดาความร้อน (Thermal Voltage) มีค่าประมาณ 26mV ที่อุณหภูมิส่วน I_B คือ กระแสไบแอสอินพุตที่ใช้ควบคุมค่าความนำถ่ายโอน สัญลักษณ์และวงจรสมมูลแสดงดังภาพที่ 1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

ภาพที่ 1 วงจรขยายความนำถ่ายโอน

วงจรขยายความนำถ่ายโอนที่ได้ถูกผลิตอยู่ในรูปแบบของวงจรรวมและได้รับความนิยมได้แก่เบอร์ LT1228 [5] ซึ่งมีโครงสร้างภายในดังภาพที่ 2 สำหรับการต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงคู่เข้ากับวงจรขยายความนำถ่ายโอน ให้ต่อ VCC เข้ากับขา 7 และ VEE เข้ากับ 4 ขาอินพุตแบบกลับเฟสและไม่กลับเฟสอยู่ที่ขา 2 และ 3 ตามลำดับ กระแสเอาต์พุตอยู่ที่ขา 1 ส่วนขา 5 เป็นขาสำหรับป้อนกระแสไบแอส นอกจากนี้วงจรขยายความนำถ่ายโอนเบอร์ LT 1228 ยังมีวงจรกันชนอยู่ภายในด้วยซึ่งมีขั้วแรงดันเอาต์พุตอยู่ที่ขา 6



ภาพที่ 2 โครงสร้างภายในของวงจรขยายความนำถ่ายโอนเบอร์ LT 1228

กรณีของวงจรขายความนำถ่ายโอนเบอร์ LT 1228 ค่าความนำถ่ายโอนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$g_m = \frac{I_B}{3.87V_T} \approx 10I_B \tag{3}$$

5.2 หลักการของวงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่มีบทบาทสำคัญวงจรหนึ่งในทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในสาขาต่างๆ มากมายและเป็นวงจรที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบสื่อสารโทรคมนาคมต่างๆ เช่นในระบบการกระจายเสียง ระบบดาวเทียมสื่อสร เป็นต้น วงจรกรองความถี่สามรรถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท

ได้แก่ วงจรกรองความถี่แบบดิจิตอลหรือสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลาและวงจรกรองความถี่แบบแอนะลอก ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ที่ถูกใช้กับสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลา โดยวงจรกรองแบบแอนะลอกนั้นยังสามารถแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆ ได้อีก 2 ประเภท ได้แก่ วงจรกรองความถี่แบบดิจิตอลหรือสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลาและวงจรกรองความถี่แบบแอนะลอก ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ที่ถูกใช้กับสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลา โดยวงจรกรองแบบแอนะลอกนั้นยังสามารถแบ่งออกเป็นประเภททมย่อยๆ ได้อีก 2 ประเภท คือ วงจรกรองความถี่ประเภทพาสซีฟ ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ที่สร้างจากอุปกรณ์พาสซีฟ เช่น ขดลวดตัวนำและตัวต้านทานหรือสร้างมาจากตัวต้านทานและตัวเก็บประจุและวงจรกรองความถี่อีกประเภทหนึ่งคือ วงจรกรองความถี่ประเภทแอกทีฟ (Active filter) เป็นวงจรกรองความถี่ที่สร้างมาจากอุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ เช่น ออปแอมป์ OTA วงจรสายพานกระแส ฯลฯ ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟ เช่น ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เป็นต้น [6]

6. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ผู้วิจัยได้ดำเนินวิธีการวิจัยตามลำดับดังนี้

6.1 การกำหนดแบบแผนการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้แบบแผนการวิจัยแบบทดสอบก่อนเรียน (Pretest) แบบทดสอบหลังเรียน (Posttest) และหลังสิ้นสุดการเรียนไปแล้ว 2 สัปดาห์ให้ทดสอบอีกครั้ง ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการดำเนินการทดลอง

กลุ่มตัวอย่าง	ทดสอบก่อนเรียน	ทดลอง	ทดสอบหลังเรียน	ทดสอบความคงทน
ER_1	T_1	X	T_2	T_3

เมื่อ ER_1 หมายถึง กลุ่มตัวอย่างที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์

X หมายถึง การเรียนด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้น

T_1 หมายถึง การทดสอบก่อนเรียน

T_2 หมายถึง การทดสอบหลังเรียน

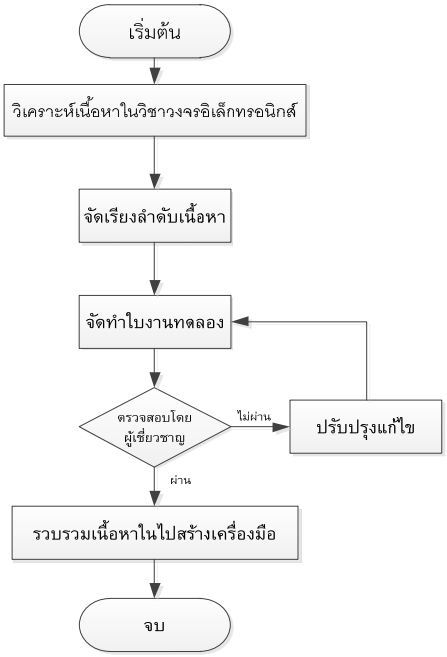
T_3 หมายถึง การทดสอบหลังสิ้นสุดการเรียนไปแล้ว 2 สัปดาห์ให้ทดสอบอีกครั้ง

6.2 การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 20 คน

6.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์เนื้อหาและสร้างชุดทดลอง ออกแบบเนื้อหาตามขั้นตอน ดังแสดงไว้ตามภาพที่ 3

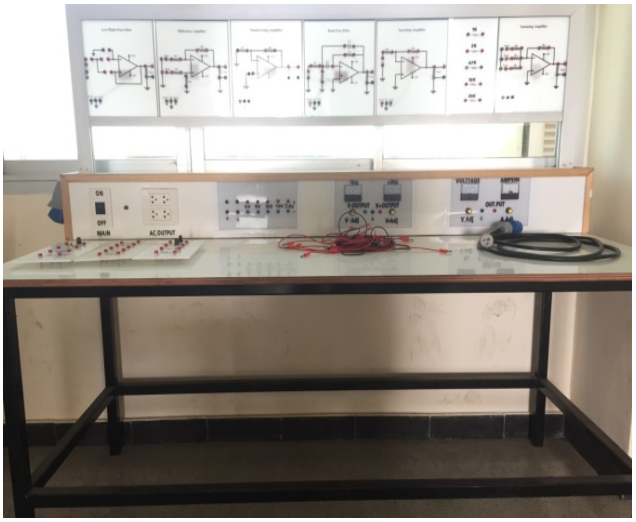


ภาพที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบเนื้อหา

7. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

7.1 ผลการสร้างชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่องวงจรขยายความนำถ่ายโอน

ผลจากการสร้างชุดทดลองและใบงานทดลอง ผู้วิจัยนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติในรายวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการทดลองของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้น

7.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยเก็บคะแนนเฉลี่ยในแต่ละใบงานทดลองระหว่างเรียน และคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบหลังเรียน สรุปผลการวิจัยดังแสดงไว้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

แบบทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	$\overline{X}$	S.D.	ประสิทธิภาพ
ใบงานทดลองระหว่างเรียน (E1)	20	20	16.92	2.43	84.62
แบบทดสอบหลังเรียน (E2)	20	25	19.55	2.13	83.20

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยใบงานทดลองระหว่างเรียนมีค่าเท่ากับ ($\overline{X}$ = 16.92, S.D. =2.43) ค่าประสิทธิภาพ คิดเป็นร้อยละ 84.62 และส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ ($\overline{X}$ = 19.55, S.D. =2.13) ค่าประสิทธิภาพ คิดเป็นร้อยละ 83.20 สรุปได้ว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 84.62/83.20 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

7.3 ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน

การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนดังแสดงไว้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

แบบทดสอบ	N	$\overline{X}$	S.D.	t
ก่อนเรียน	20	8.28	1.78	25.59*
หลังเรียน	20	19.55	2.13	

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, df = 19, t = 2.09

จากตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า เมื่อพิจารณาค่า t จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 25.59 มากกว่าค่า t จากตารางที่ df = 19, α = 2.09 สรุปได้ว่าผลของคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมีความแตกต่างกัน โดยคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ ($\overline{X}$ = 19.55, S.D. =2.13) สูงกว่าผลคะแนนสอบก่อนเรียนมีค่าเท่ากับ ($\overline{X}$ = 8.28, S.D. =1.78) เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

7.4 ผลการเปรียบเทียบความคงทนทางการเรียนด้วยชุดทดลอง

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนกับคะแนนสอบหลังจากสิ้นสุดการเรียนไปแล้ว 2 สัปดาห์ โดยทำการทดสอบอีกครั้ง เพื่อศึกษาผลต่างของคะแนนเฉลี่ย สรุปดังแสดงไว้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบความคงทนทางการเรียนด้วยชุดทดลอง

แบบทดสอบ	N	$\overline{X}$	S.D.	$\Delta\overline{X}$	t
หลังเรียน	20	19.55	2.13	3.30	10.40
หลังเรียน 2 สัปดาห์	20	16.25	2.55		

จากตารางที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า เมื่อพิจารณาค่า t จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 10.40 มากกว่าค่า t จากตารางที่ df = 19, α =2.09 และพบว่าผลคะแนนเฉลี่ยความคงทนหลังสิ้นสุดการเรียนไปแล้ว 2 สัปดาห์ กับผลคะแนนหลังเรียนมีค่าผลต่างเท่ากับ 3.30 คิดเป็นร้อยละ 83.12 สรุปได้ว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ ($\overline{X}$ = 19.55, S.D. = 2.13) และคะแนนเฉลี่ยหลังสิ้นสุดการเรียนไปแล้ว 2 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ ($\overline{X}$ = 16.25, S.D. = 2.55) เป็นไปตามเกณฑ์ค่าร้อยละที่ตั้งไว้

7.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเกรดเฉลี่ย (Y) กับคะแนนจากแบบทดสอบที่เรียนด้วยชุดทดลอง (X) สรุปผลทางสถิติได้ว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกที่ .67 ซึ่งอยู่ในระดับสูง

7.6 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของนักศึกษา

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของชุดทดลอง และความเหมาะสมใบงานทดลอง สรุปผลการวิจัยได้ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 5 ถึง ตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของชุดทดลอง

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลองแสดงรายละเอียดได้ชัดเจนและเหมาะสมในการฝึกปฏิบัติ	4.30	0.80	มาก
2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้งานมีความแข็งแรงต่อการฝึกปฏิบัติ	4.25	0.72	มาก
3. ลักษณะการออกแบบขนาดรูปร่างมีความสวยงาม มีความเหมาะสมในการฝึกปฏิบัติ	4.25	0.79	มาก
4. ขนาดของชุดทดลองมีความเหมาะสมในการฝึกปฏิบัติ	4.55	0.60	มากที่สุด
5. ชุดทดลองมีประสิทธิภาพการใช้งานตรงตามวัตถุประสงค์ของรายวิชา	4.60	0.68	มากที่สุด
6. ชุดทดลองสามารถตรวจเช็คอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซ่อมแซมและการบำรุงรักษาได้ง่าย	4.65	0.67	มากที่สุด
7. จำนวนบอร์ดชุดทดลองมีความเหมาะสมต่อการฝึกปฏิบัติ	4.35	0.81	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.42**	**0.72**	**มาก**

จากตารางที่ 5 ผลจากการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของชุดทดลอง พบว่า มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.42, S.D. =0.72) สรุปได้ว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้น อยู่ในระดับมาก เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ตารางที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของใบงานทดลอง

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
1. มีรายละเอียดเนื้อหาเกี่ยวข้องกับหลักทฤษฎีของการทดลอง	4.55	0.60	มากที่สุด
2. กำหนดวิธีการขั้นตอนการทดลองที่เหมาะสม	4.25	0.72	มาก
3. ใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง	4.30	0.73	มาก
4. ใช้อุปกรณ์ในการทดลองได้อย่างปลอดภัยและเสร็จทันเวลา	4.55	0.69	มากที่สุด
5. มีการบันทึกผลการทดลองที่ถูกต้องและเหมาะสม	4.60	0.60	มากที่สุด
6. มีความเหมาะสมในการวางลำดับการทดลอง	4.55	0.51	มากที่สุด
7. มีความเหมาะสมของการแสดงหัวข้อในการทดลอง	4.30	0.80	มาก
8. รูปวงจร ตาราง มีขนาดที่เหมาะสม	4.25	0.85	มาก
9. รูปแบบสรุปความเข้าใจหลังการทดลองมีความเหมาะสม	4.25	0.72	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.40**	**0.69**	**มาก**

จากตารางที่ 6 ผลจากการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของใบงานทดลอง พบว่า มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.40, S.D. =0.69) สรุปได้ว่าใบงานทดลองที่สร้างขึ้น อยู่ในระดับมาก เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

7.7 สรุปผลการวิจัย

-ผลการหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เรื่องวงจรขยายความนำถ่ายโอน ที่สร้างขึ้นสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด มีค่าเท่ากับ 84.62/83.20

-ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ผลคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมีความแตกต่างกัน มีค่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน ($\overline{X}$ = 19.55, S.D. = 2.13) สูงกว่าผลคะแนนสอบก่อนเรียน ($\overline{X}$ = 8.28, S.D. = 1.78) สรุปได้ว่าผลคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

-ผลการเปรียบเทียบความคงทนทางการเรียน จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระหว่างคะแนนหลังเรียนกับคะแนนสอบหลังสิ้นสุดการเรียนไปแล้ว 2 สัปดาห์ ทำการทดสอบอีกครั้ง พบว่า คะแนนเฉลี่ย หลังสิ้นสุดการเรียนไปแล้ว 2 สัปดาห์ ของกลุ่มตัวอย่างมีค่าผลต่างเท่ากับ 3.30 และค่าที t = 10.40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

-ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเกรดเฉลี่ย (Y) กับคะแนนจากแบบทดสอบที่เรียนด้วยชุดทดลอง (X) พบว่า มีความสัมพันธ์ทางบวกที่ .67 ซึ่งมีค่าในระดับสูง

-ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของนักศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของชุดทดลอง จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ผลจากการสอบถามความพึงพอใจมีคะแนนเฉลี่ย $\overline{X}$ = 4.42 สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก

-ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของนักศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของใบงานการทดลอง จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ผลจากการสอบถามความพึงพอใจมีคะแนนเฉลี่ย $\overline{X}$ = 4.40 สรุปได้ว่าใบงานทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างนักศึกษากลุ่มคะแนนสูง กลุ่มคะแนนปานกลาง และกลุ่มคะแนนต่ำ เพื่อวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้วยการทดสอบค่าทีของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้เห็นถึงการพัฒนาการของนักศึกษาทุกระดับความรู้ ความสามารถของแต่ละกลุ่ม

8.2 ควรมีการวิจัยเพื่อการศึกษาเปรียบเทียบการเรียนการสอนด้วยชุดทดลองกับการเรียนการสอนผ่านบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในรายวิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากการได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์สุวัฒน์ มณีวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เดวิทย์ ศิริพจน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสิทธิ์ ลุมชะเนาว์ ผู้ช่วยวิจัยพร้อมข้อมูลที่เกี่ยวกับการดำเนินงานอันมีค่ายิ่งตลอดจนความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ที่ให้การสนับสนุนในการใช้อาคารและสถานที่ในการทำงานวิจัยฉบับนี้สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Jongkunstidchai. C. Fongsamut, K. Kumwachara and W. Surakampontorn. “Full–wave rectifiers based on operational transconductance amplifiers.” Int. J. Electron. Commun (AEU), vol. 61. 2007, pp. 195-201.

[2] M. Siripruchyanun and P. Wardkein. “Temperature-insensitive, power supply-invariant and electronically adjustable square/triangular wave generator.” Proceedings of 2001 International Symposium on Communications and Information Technology, pp. 167-170, November 2001.

[3] K. Kaewdang, W. Surakampontom and N. Fujii. “A design of CMOS tunable current anplifiers.” IEEE International Symposium on Communications and Information Technology 2004, vol. l. pp. 519-522, 2004.

[4] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. “การวิจัยและพัฒนาต้นแบบชุดสาธิตการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์โหมดกระแส.” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) 2552.

[5] Linear Technology Corporation. “Linear products data book.” Milpitas, CA, 1994.

[6] จีรสุดา เกสร. “วงจรกรองความถี่และวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมได้ในเชิงอิเลคทรอนิคส์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเหล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2452.