

ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

AN OP-AMP AND LINEAR ICs LABORATORY SET
FOR HIGHER VOCATIONAL CERTIFICATE CURRICULUM B.E. 2557

พัชรินทร์ วิลัยโรจน์
PATCHARIN WILAIROJE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะครุศาสตรบัณฑิตและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-ED-M-232-069

ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

AN OP-AMP AND LINEAR ICs LABORATORY SET
FOR HIGHER VOCATIONAL CERTIFICATE CURRICULUM B.E. 2557

พัชรินทร์ วิลัยโรจน์
PATCHARIN WILAIROJE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-ED-M-232-069

AN OP-AMP AND LINEAR ICs LABORATORY SET
FOR HIGHER VOCATIONAL CERTIFICATE CURRICULUM B.E. 2557

PATCHARIN WILAIROJE

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-232-069

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
นักศึกษา	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
รหัสประจำตัว	นางพัชรินทร์ วัลย์โรจน์
ปริญญา	58603058
สาขาวิชา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
พ.ศ.	อิเล็กทรอนิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.กิติพงศ์ มะโน
	รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ที่มีคุณภาพ ประสิทธิภาพและหาความพึงพอใจของนักศึกษา กลุ่มประชากร คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีวศึกษานครนายก จำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ใบงานจำนวน 6 ใบงาน แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบประเมินความพึงพอใจ เครื่องมือได้ผ่านการประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงาน มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.50$, S.D. = 0.54) ด้านแฟงทดลองมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.48) และชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 82.08/81.20 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 และนักศึกษามีความพึงพอใจต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.65$, S.D. = 0.49)

Thesis Title	An Op-Amp and Linear ICs Laboratory Set for Higher Vocational Certificate Curriculum B.E. 2557
Student	Mrs.Patcharin Wilairoje
Student ID.	58603058
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 Supavarasuwat

ABSTRACT

This research study aimed to create and determine the quality and efficiency of an op-amp and linear ICs laboratory set for higher vocational certificate curriculum B.E. 2557. It also aimed to measure student satisfaction. The sample consisted of ten first year diploma students majoring in Electronics from Nakhonnayok Industrial and Community Education College. The tools used in this study were six labsheets for the op-amp and linear ICs laboratory set, an evaluative form for student practical work, a learning achievement test, and an evaluative questionnaire on student satisfaction. All research instrument were validated by five experts. The statistics utilized for data analysis were mean and standard deviation. The findings indicated that the quality of the labsheets was at the great level ($\bar{X} = 4.50$, S.D. = 0.54) and the experimental panel was at the good level ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.48). Efficiency of the laboratory set or E_1/E_2 was 82.08/81.20, in accordance with the specified hypothesis 80/80. Learner satisfaction was at the most level ($\bar{X} = 4.65$, S.D. = 0.49).

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	6
2.2 การออกแบบอุปกรณ์ทดลอง-สาริต.....	20
2.3 การประเมินสื่อการสอน.....	23
2.4 การหาประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน.....	26
2.5 การหาคุณภาพของเครื่องมือวัดผล.....	31
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 ประชากร.....	37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	50
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย.....	53
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
4.1 การประเมินหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	55
4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	57
4.3 การประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์ และลิเนียร์ไอซี.....	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	63
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก หนังสือราชการ.....	69
ภาคผนวก ข ใบงานประกอบชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	76
ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	128
ภาคผนวก ง แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	136
ภาคผนวก จ แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน.....	162
ภาคผนวก ฉ แบบสรุปประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์.....	169
ภาคผนวก ช แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์ และลิเนียร์ไอซี.....	174
ภาคผนวก ซ คู่มือใช้งานชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์.....	178
ประวัติผู้เขียน.....	182

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง และหลักสูตร พุทธศักราช 2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557	6
3.1 วิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม.....	38
4.1 คุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงาน.....	55
4.2 คุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านแผนทดลอง.....	56
4.3 ผลการทดลองระหว่างเรียนและผลการทดลองหลังเรียน.....	58
4.4 ประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	58
4.5 ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	59
ค.1 ความสอดคล้องด้านการออกแบบสร้างชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ด้านใบงาน	133
ค.2 ความสอดคล้องด้านการออกแบบสร้างชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ด้านแผนทดลอง	133
ค.3 ผลการวิเคราะห์ แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงาน	134
ค.4 ผลการวิเคราะห์ แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านแผนทดลอง.....	135
ง.1 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน.....	140
ง.2 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ เรื่องวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน.....	141
ง.3 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรแปลงแรงดันเป็น.....	145
ง.4 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ เรื่องวงจร แปลงแรงดันเป็นความถี่	146
ง.5 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรตั้งเวลา.....	150
ง.6 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ เรื่องวงจรตั้งเวลา	151

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.7 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรเฟสรีดิวซ์.....	155
ง.8 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ เรื่องเฟสรีดิวซ์	156
ง.9 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม.....	160
ง.10 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ เรื่องวงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม	161
ฉ.1 คะแนนผลการทดลองระหว่างเรียน	170
ฉ.2 คะแนนผลการทดลองหลังเรียน	171
ฉ.3 กำหนดการทดลองชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	172
ช.1 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อ ชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับจุดประสงค์.....	177
ช.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์ และลิเนียร์ไอซี.....	177

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งขาของไอซี LM331.....	8
2.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ โดยใช้ไอซี LM331.....	8
2.3 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน โดยใช้ไอซี LM331.....	9
2.4 ตำแหน่งขาของไอซี 555.....	10
2.5 โครงสร้างภายในของไอซี 555.....	10
2.6 วงจรอะอสซิลเลชันต่อไวรเบเรเตอร์ ด้วยไอซี 555.....	12
2.7 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 และ V_{C1} ที่ขา 2 และ ขา6.....	12
2.8 วงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์.....	14
2.9 กราฟแสดงการทำงานของวงจรวจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์.....	14
2.10 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบเฟสล็อกกลูป.....	15
2.11 ย่านความถี่การทำงานของเฟสล็อกกลูป.....	16
2.12 ตำแหน่งขาไอซีเฟสล็อกกลูปเบอร์ LM565.....	17
2.13 วงจรเฟสล็อกกลูป โดยใช้ไอซี LM565.....	17
2.14 แสดงหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมคัปเปิล.....	19
2.15 แสดงการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลอย่างง่าย.....	20
2.16 แสดงรูปร่างลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ.....	20
3.1 ขั้นตอนการสร้างแผงทดลอง.....	41
3.2 ขั้นตอนการสร้างใบงาน.....	43
3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและด้านแผงทดลอง.....	44
3.4 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	46
3.5 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินการปฏิบัติงาน.....	48
3.6 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ.....	49
ฉ.1 กิจกรรมนักศึกษาทดลองชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.....	173

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ปรับปรุงพุทธศักราช 2557 พบว่า รายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี รหัสวิชา 3105-2004 ใช้เวลาเรียน 3 คาบต่อสัปดาห์ ทฤษฎี 1 คาบ ปฏิบัติ 2 คาบ มีคำอธิบายรายวิชาและ/หรือเนื้อหาเพิ่มเติม คือ วงจรแปลงแรงดัน เป็นความถี่ วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน วงจรตั้งเวลา และการประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม อนึ่ง ความหมายของออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี คือ “เป็นวงจรรวมชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในกลุ่มของวงจรรวมเชิงเส้น (Linear Integrator Circuit : ICs) ซึ่งมีความสำคัญมากในการประยุกต์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ในระบบเสียง ระบบการสื่อสารข้อมูล ระบบอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ ระบบเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ และระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น และใช้แหล่งจ่ายไฟต่ำราคาถูก” (สุรียัน บุษศิริ. 2549 : 3)

อย่างไรก็ตาม จากการสัมภาษณ์ครูผู้สอนวิชาดังกล่าว จำนวน 6 วิทยาลัย เกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนรายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีดังกล่าวข้างต้น จะพบว่า มีปัญหาซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ ด้านเนื้อหาที่มีจำนวนมากและบางส่วนค่อนข้างยากสำหรับนักศึกษา เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอนทำให้การสอนไม่สามารถครอบคลุมตามหลักสูตร ด้านครูผู้สอนจะต้องพัฒนาให้นักศึกษามีสมรรถนะตามรายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีที่สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากำหนดไว้ คือ การให้นักศึกษาสามารถแสดงความรู้เกี่ยวกับการออกแบบ การสร้าง การวัด การทดสอบ และการประยุกต์ใช้งานวงจรออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีในงานอุตสาหกรรม (สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. 2557 : 55-56) ส่วนด้านชุดปฏิบัติการเกี่ยวกับวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี จะเน้นเนื้อหาที่สอดคล้องกับหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 อีกทั้งไม่ครอบคลุมทุกหน่วยการเรียนรู้ ทำให้นักศึกษาไม่ได้รับการพัฒนาด้านความรู้และทักษะตามหลักสูตร ส่งผลต่อการนำความรู้และประสบการณ์ไปใช้ในการเรียนรายวิชาอื่นที่สัมพันธ์กัน

จากการศึกษาเอกสารข้อมูลงานวิจัย เกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดการเรียนการสอน และจากประสบการณ์การสอนของผู้วิจัย สรุปแนวทางในการแก้ปัญหาได้ดังนี้ ครูผู้สอนควรเลือกสื่อการสอนที่มีคุณภาพและให้เหมาะสมมีเนื้อหาครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชา สื่อการสอนที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหามากที่สุด คือ ชุดปฏิบัติการ ประกอบด้วยแผงทดลองและใบงาน โดยจัดรูปแบบกิจกรรมให้นักศึกษาประกอบวงจร วัดและทดสอบการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจร มีการปรับเปลี่ยน

ค่าอุปกรณ์ในวงจรและ/หรือปรับค่าสัญญาณอินพุต เพื่อพิสูจน์การทำงานของวงจรและอุปกรณ์หลักในวงจร ซึ่งจะช่วยให้นักศึกษาได้รับประสบการณ์ตรงในการค้นคว้าหาข้อเท็จจริงจากการทดลองสังเกตและวัดทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต ได้คิดวิเคราะห์การทำงานของวงจรได้ถูกต้อง บันทึกผลการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน และสามารถทดลองซ้ำได้ ทั้งนี้การสร้างชุดปฏิบัติการที่มีคุณภาพ ประสิทธิภาพ และมีความคุ้มค่านำไปใช้แก้ปัญหาการเรียนการสอนนั้นสิ่งสำคัญ คือ การกำหนดเนื้อหาและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมให้ครอบคลุมทุกหน่วยการเรียนรู้ มีความสอดคล้องกับหลักสูตรที่ใช้ในปัจจุบันและสมรรถนะรายวิชา ใบงานและแผนทดลองมีความสัมพันธ์กันและสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม นักศึกษาสามารถใช้ได้ตามเวลาที่กำหนด

จากความสำคัญ ปัญหา และแนวทางการแก้ปัญหา ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าวจึงได้ศึกษาและพัฒนาชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพ เพื่อนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 มีคุณภาพ

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

1.2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 มีคุณภาพจัดอยู่ในระดับดี ($\bar{X} \geq 3.50$)ขึ้นไป

1.3.2 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 หรือ E_1/E_2 ไม่ต่ำกว่า 80/80

1.3.3 ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี พุทธศักราช 2557 จัดอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} \geq 3.50$)ขึ้นไป

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 มีกรอบแนวคิดดังนี้ คือ

1.4.1 การออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ผู้วิจัยได้นำแนวคิดของ วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 110-114) มาประยุกต์ใช้ในการสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยมีแนวทางในการออกแบบและสร้างตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจุดประสงค์ในการนำอุปกรณ์ทดลอง-สาธิตไปใช้ในการสอน
2. กำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์ โดยกำหนดรายการหน้าที่ของอุปกรณ์
3. ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามรายการหน้าที่
4. วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์
5. สร้างต้นแบบและตรวจสอบ
6. เขียนแบบงาน
7. เตรียมเอกสารประกอบ

1.4.2 การหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ได้แนวคิดมาจาก ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2556 : 6-19) โดยเกณฑ์ประสิทธิภาพหาได้จากการประเมินพฤติกรรมของนักศึกษา E_1 (Efficiency of Process) หรือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ เทียบกับ E_2 (Efficiency of Product) หรือ ประสิทธิภาพผลลัพธ์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากร ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพนครนายก จำนวน 10 คน

1.5.2 ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น คือ ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

2. ตัวแปรตาม คือ คุณภาพ ประสิทธิภาพ และความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

1.5.3. เนื้อหาชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี เป็นส่วนหนึ่งของวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี รหัสวิชา 3105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย

1. วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่
2. วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน
3. วงจรตั้งเวลา
4. วงจรเฟสล็อกกลุ๊ป
5. วงจรประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หมายถึง ใบงาน แผงทดลอง และคู่มือใช้งาน ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนปฏิบัติในรายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

1.6.2 ใบงาน หมายถึง เอกสารที่ประกอบด้วยรายละเอียดที่เกี่ยวกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เนื้อหาสำคัญ เครื่องมือที่ใช้ ขั้นตอนการปฏิบัติงาน การบันทึกผลการปฏิบัติ คำถามสรุปผล และเอกสารอ้างอิง เพื่อนำไปใช้ร่วมกับแผงทดลองมีจำนวน 6 ใบงาน

1.6.3 แผงทดลอง หมายถึง แผงวงจรและอุปกรณ์สำหรับต่อวงจรที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติตามลำดับขั้นการทดลองใบงาน มีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบค่าคงที่และแบบปรับค่าได้

1.6.4 แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการ หมายถึง แบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและแบบประเมินคุณภาพด้านแผงทดลอง โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ

1.6.5 คุณภาพของชุดปฏิบัติการ หมายถึง ผลการประเมินใบงานและแผงทดลอง โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

1. คุณภาพของใบงาน หมายถึง จุดประสงค์ของใบงานมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ความสัมพันธ์ระหว่างรูปวงจร ตาราง กราฟ กับการทดลอง ความเหมาะสมในการกำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจร การทดลองสอดคล้องกับจุดประสงค์ ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นขั้นตอนการทดลอง การบันทึกผลการทดลองสัมพันธ์กับขั้นตอนการทดลอง กระตุ้นให้นักศึกษาเกิดการคิดวิเคราะห์ การใช้เวลาได้ตามกำหนดเวลา ความเหมาะสมกับระดับความรู้ของนักศึกษา

2. คุณภาพของแผงทดลอง หมายถึง ความสัมพันธ์ของแผงทดลองกับใบงาน ขนาด รูปร่างของแผงทดลองมีความเหมาะสมในการปฏิบัติ ความแข็งแรง คงทน วัสดุที่นำมาใช้มี ความเหมาะสม

น้ำหนักเหมาะสม การขยับยั้ง การนำไปใช้ในการทดลองได้สะดวก ความเหมาะสมในการวางตำแหน่ง อุปกรณ์ ลักษณะจูงใจ ความน่าสนใจในการเรียนรู้ ความปลอดภัยในขณะทดลอง ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา และความสะดวกในการดูแลรักษา

1.6.6 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ที่ผ่านการประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และทดลองใช้เพื่อหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1.6.7 แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน หมายถึง แบบประเมินผลการปฏิบัติการทำงาน โดยกำหนดเกณฑ์เป็นแบบรูบริค 3 ระดับ

1.6.8 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ หมายถึง ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) กับ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) ไม่ต่ำกว่า 80/80

E_1 หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียนร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 1-5 และการประเมินผลการปฏิบัติงานร้อยละ 60

E_2 หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 6 และการประเมินผลการปฏิบัติงานร้อยละ 60

1.6.9 แบบประเมินความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการ วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินเป็นแบบมาตรฐานประเมินค่า 5 ระดับ

1.6.10 คู่มือใช้งาน หมายถึง เอกสารสำหรับแนะนำขั้นตอนการใช้งาน ใบงานและแผนทดลอง

1.6.11 ผู้ทรงคุณวุฒิ หมายถึง ผู้ที่มีประสบการณ์การสอนในวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หรือวิชาที่มีเนื้อหาสัมพันธ์กัน มีประสบการณ์ไม่ต่ำกว่า 5 ปี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารายละเอียดข้อมูล เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเรียงลำดับความสำคัญ ดังนี้

1. วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
2. การออกแบบอุปกรณ์ทดลอง-สาธิต
3. การประเมินสื่อการสอน
4. การหาประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน
5. การหาคุณภาพของเครื่องมือวัดผล
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

2.1.1 รหัสวิชา 3105 - 2004 วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี (Op-Amp and Linear IC)

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา โดยสำนักมาตรฐานการอาชีวศึกษาและวิชาชีพ ได้กำหนดรายละเอียดวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 และ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 รายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 และ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
จุดประสงค์รายวิชา 1. เพื่อให้สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติ วงจรออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 2. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานออกแบบและ ทดสอบวงจรออปแอมป์ในงานอิเล็กทรอนิกส์	จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้ 1. เข้าใจหลักการวิเคราะห์คุณสมบัติ วงจรออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 2. สามารถออกแบบและทดสอบ วงจรออปแอมป์ในงานอิเล็กทรอนิกส์

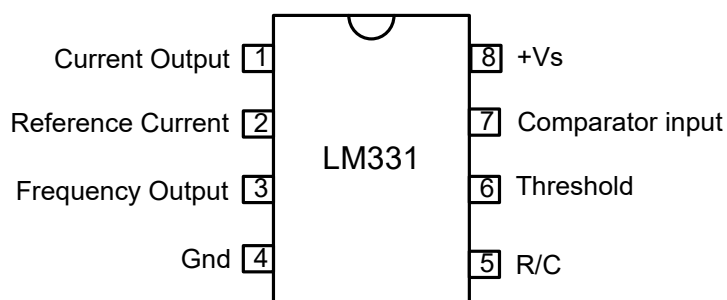
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

<p>หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546</p>	<p>หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557</p>
<p>3. เพื่อให้มีทัศนคติในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย ตระหนักถึงคุณภาพของงาน และมีจริยธรรมในงานอาชีพ</p> <p>มาตรฐานรายวิชา</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ออกแบบวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 2. สร้างวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 3. วัดและทดสอบวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 4. ประยุกต์ใช้วงจรออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับงานอุตสาหกรรม <p>คำอธิบายรายวิชา</p> <p>ศึกษาและปฏิบัติ วงจรดิฟเฟอเรนเชียล แอมพลิไฟเออร์ ออกแบบวงจรกรองความถี่ วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า วงจรสวิตช์ ชมิตต์ ทริกเกอร์ วงจรเกต วงจรขยายสัญญาณหลายช่อง วงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ รูปสแควร์ รูปแรมพ์ วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่และกระแสไฟฟ้าคงที่ วงจรแปลงรูปคลื่นสัญญาณ วงจรเฟสล็อกกลุ่ม วงจรซินทีไซเซอร์ และวงจรเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า</p>	<p>3. มีทัศนคติในการทำงานด้วยความปราณีต รอบคอบและปลอดภัย ตระหนักถึงคุณภาพของงานและมีจริยธรรมในงานอาชีพ</p> <p>สมรรถนะรายวิชา</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการออกแบบวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 2. สร้างวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 3. วัด ทดสอบวงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี 4. ประยุกต์ใช้วงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีในงานอุตสาหกรรม <p>คำอธิบายรายวิชา</p> <p>ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับวงจรดิฟเฟอเรนเชียล แอมพลิไฟเออร์ การออกแบบวงจรกรองความถี่ วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า วงจรสวิตช์ ชมิตต์ ทริกเกอร์ วงจรเกต วงจรขยายสัญญาณหลายช่อง วงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ รูปสแควร์ รูปแรมพ์ วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่และกระแสไฟฟ้าคงที่ วงจรแปลงแรงดัน เป็นความถี่ วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน วงจรตั้งเวลา วงจรเฟสล็อกกลุ่ม วงจรซินทีไซเซอร์ และประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม</p>

เนื้อหาวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

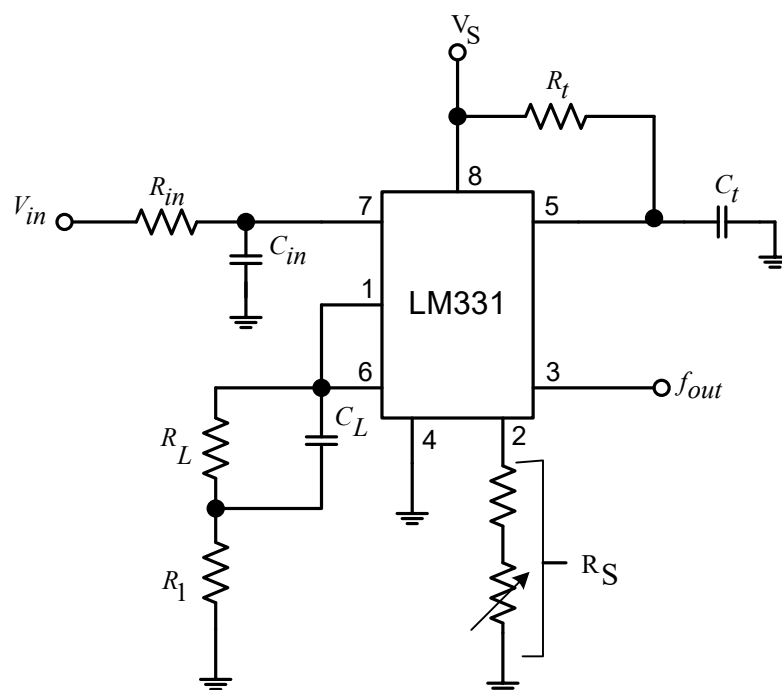
2.1.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

จากศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการนำลิเนียร์ไอซีมาประยุกต์ใช้งานจากแหล่งข้อมูล Texas Instrument (2015 : 1-13) ไอซีรวมเบอร์ LM331 เป็นวงจรรวมประเภทลิเนียร์ไอซี นำไปประยุกต์ใช้งานในด้านวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ และวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน มีตำแหน่งการจัดวางขาของไอซี ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งขาของไอซี LM331

วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ (Voltage to Frequency Converter : VFC) ในวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ มีไอซีหลายเบอร์ที่ใช้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซี LM331 เนื่องจากมีความเป็นเชิงเส้นสูง ราคาถูก ใช้ได้ในย่านความถี่ 1 Hz ถึง 100 kHz วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ เป็นออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้า ใช้งานกับวงจรที่มีความถี่ต่ำ ที่ผลิตสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นคลื่นไซน์ คลื่นสามเหลี่ยม คลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งความถี่มักถูกเปลี่ยนเป็นจำนวนพัลส์ที่สร้างขึ้นต่อหน่วยเวลา การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เกิดขึ้นกับแอมพลิจูดแรงดันอินพุตสัญญาณอินพุต และมีการนำมาใช้งานด้านสื่อสารในส่วนวงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator : VCO)



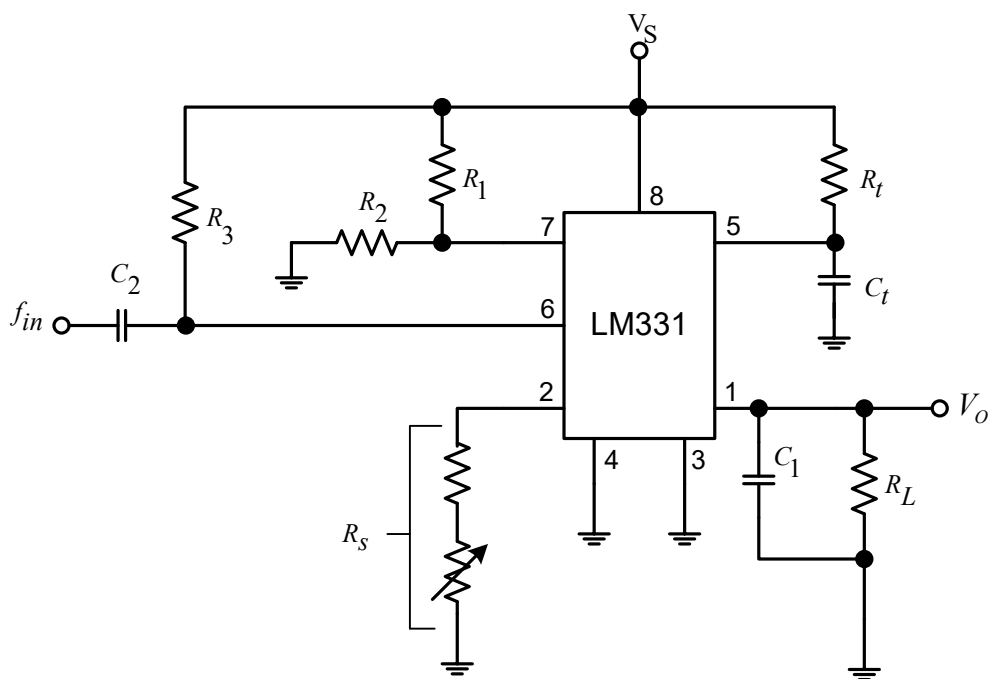
ภาพที่ 2.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ โดยใช้ไอซี LM331

วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ โดยใช้ไอซี LM331 ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นความถี่ ความถี่ขึ้นอยู่กับค่า R_t, C_t ที่ต่อในวงจรดังภาพที่ 2.2 ขา 8 ป้อนแรงดันกระแสตรง VDC เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตเป็นศูนย์ทำให้ความถี่เอาต์พุตจะเป็นศูนย์ และสามารถคำนวณหาความถี่เอาต์พุตได้ดังนี้

$$f_{out} = V_{in} \times \frac{R_s}{2.09R_L R_t C_t} \quad (2.1)$$

2.1.3 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน (Frequency to Voltage Converter : FVC)

Texas Instrument (2015 : 15) วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน สัญญาณในรูปคลื่นซายน์ คลื่นสแควร์ โดยแอมพลิจูดของสัญญาณจะเปลี่ยนตามความถี่ของสัญญาณอินพุต วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันนำมาใช้งานในการส่งข้อมูลที่จะต้องส่งในระยะไกล โดยการแปลงความถี่ที่ได้รับออกมาเป็นแรงดันเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



ภาพที่ 2.3 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน โดยใช้ไอซี LM331

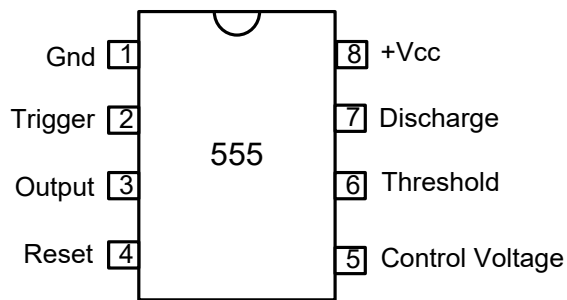
วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน โดยใช้ไอซี LM331 เป็นวงจรที่แปลงความถี่ของสัญญาณอินพุตให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นอยู่กับค่า R_t, C_t ที่ต่อในวงจรดังภาพที่ 2.3 ความถี่อินพุตที่กำหนดให้กับตัวแปลงสัญญาณนี้สามารถอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 kHz และเอาต์พุตอาจอยู่ระหว่าง

0 ถึง 10 V ความถี่ของสัญญาณอินพุต (f_{in}) จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันเอาต์พุต (V_{out}) และสามารถหาค่า V_{out} ได้ดังสมการ 2.2

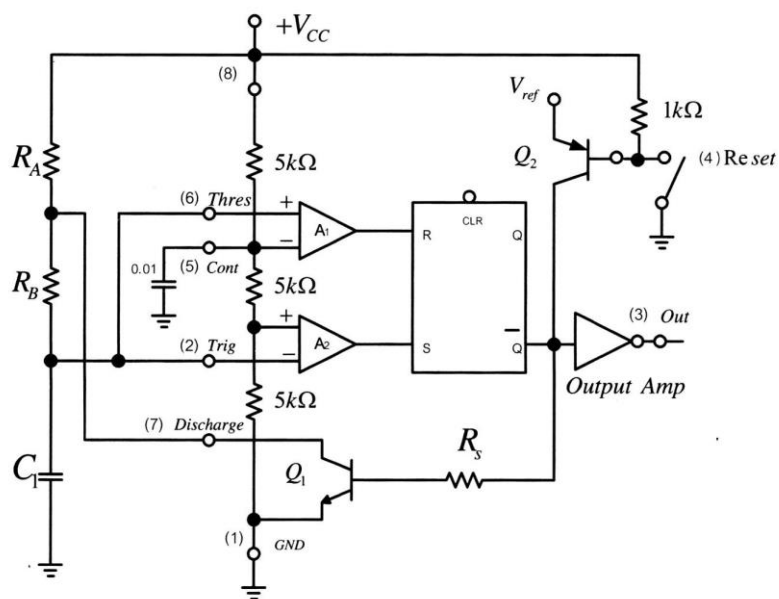
$$V_{out} = f_{in} \times \frac{2.09R_L R_t C_t}{V_O} \quad (2.2)$$

2.1.4 ไอซี 555

มนตรี ศิริปรัชญานันท์ และ ธนุศักดิ์ อรุณไพโร (2558 : 166-168) ไอซีเบอร์ 555 เป็นไอซีที่นิยม ใช้กันมากในการนำมาสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Wave) สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Wave) สัญญาณลาดเอียง (Ramp) และวงจรตั้งเวลา (Timer Electronics) การวางตำแหน่งของขาไอซี NE555 ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ตำแหน่งขาของไอซี 555



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างภายในของไอซี 555

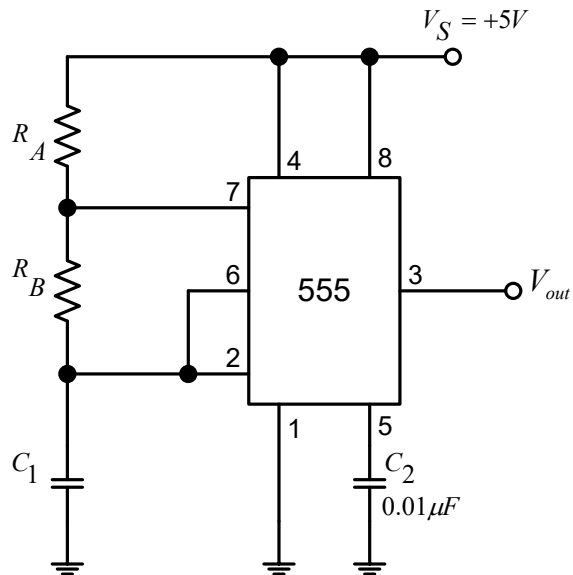
ที่มา : มนตรี ศิริปรัชญานันท์ และ ธนุศักดิ์ อรุณไพโร (2558 : 166)

อธิบายการทำงานจากภาพที่ 2.5 จากโครงสร้างภายใน อธิบายการทำงานได้ดังนี้ สภาวะเริ่มต้นแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 , $V_{C1} = 0$ ตัวต้านทาน R_A และ R_B ตัวเก็บประจุ C_1 เป็นอุปกรณ์ที่ต่ออยู่นอกตัวไอซี

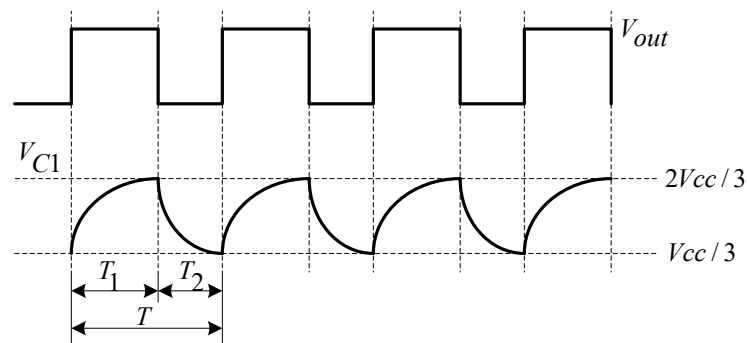
1. ตัวต้านทาน $R = 5k\Omega$ 3 ตัวเป็นตัวต้านทานแบ่งแรงดันจากแหล่งจ่ายเป็น $\frac{1}{3}V_{CC}$ และ $\frac{2}{3}V_{CC}$
2. ที่ A_2 เป็นออปแอมป์ใช้เปรียบเทียบแรงดันที่อินพุตบวกมากกว่าขาอินพุตลบ เอาต์พุตของ A_2
3. ที่ A_1 เป็นออปแอมป์ใช้เปรียบเทียบแรงดันที่ขาอินพุตลบมากกว่าขาอินพุตบวก เอาต์พุตของ A_1 เป็น R-S ฟลิปฟลอป $R=0$, $S=1$ แรงดันบวก R-S อยู่ในสภาวะเซต (Set) $Q=1$, $Q=0$ ทราจิสเตอร์ไม่ทำงานเอาต์พุตขา 3 มีแรงดันบวก $V_{out} = V_{CC}$
4. ตัวเก็บประจุ C_1 เริ่มเก็บประจุ กระแสไหลผ่าน R_A , R_B จนกระทั่งแรงดัน $V_{C1} = \frac{1}{3}V_{CC}$ เอาต์พุต A_2 มีค่าแรงดันเป็นศูนย์ เนื่องจากแรงดันที่ขาอินพุตลบมากกว่าขาอินพุตบวก เอาต์พุตของฟลิปฟลอปยังคงสภาวะเดิม
5. ตัวเก็บประจุ C_1 เก็บประจุต่อไปจนกระทั่งแรงดันตกคร่อมมีค่าประมาณ $V_{C1} = \frac{2}{3}V_{CC}$ เอาต์พุต A_1 มีค่าเป็นแรงดันบวก เนื่องจากแรงดันที่ขาอินพุตบวกมากกว่าขาอินพุตลบ ฟลิปฟลอป อยู่ในสภาวะรีเซต $Q=1$, $Q=1$ ทราจิสเตอร์ทำงานเอาต์พุต ขา 3 แรงดันเป็นศูนย์
6. กระแสจะไม่ไหลผ่านไปยังตัวเก็บประจุ C_1 แต่จะไหลผ่าน R_A เป็นกระแส I_C ของทราจิสเตอร์ และในขณะเดียวกัน ตัวเก็บประจุ C_1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_B ไหลผ่านทราจิสเตอร์ลงกราวด์
7. เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 ทำให้แรงดันตกคร่อม V_{C1} ลดลงที่ A_1 แรงดันที่ขาอินพุตลบมากกว่าขาอินพุตบวก เอาต์พุตแรงดันเป็นศูนย์ $V_{out} = 0$
8. เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1, V_{C1} จนกระทั่งแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ $C_1 \leq \frac{1}{3}V_{CC}$ ที่ A_2 แรงดันที่ขาอินพุตบวกมากกว่า ขาอินพุตลบ เอาต์พุตมีค่าเป็นแรงดันบวก
9. กลับไปทำงานในข้อที่ 3 อีกครั้ง

2.1.5 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555

มนตรี ศิริปรัชญานันท์และธนุศักดิ์ อรุณไพโร (2558 : 169-170) วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ในภาพที่ 2.6 เป็นวงจรสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเกิดจากการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุ C_1 ทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณ ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555



ภาพที่ 2.7 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 และ V_{C1} ที่ 2 และ ขา 6

เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 เก็บประจุ (Charge) จะได้สัญญาณ T_1

$$T_1 = (R_A + R_B) \times C_1 \ln \frac{V_{CC} - (-V_{CC})}{V_{CC} - V_{C1}}$$

$V_{C1} = 0 \text{ V}$ (เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 ยังไม่เก็บตัวเก็บประจุ)

$$T_1 = (R_A + R_B) \cdot C_1 \ln \frac{(V_{CC} + V_{CC})}{V_{CC} - 0}$$

$$T_1 = (R_A + R_B) C_1 \ln 2$$

$$T_1 = 0.693(R_A + R_B) \cdot C_1 \quad (2.3)$$

เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 คายประจุ จะได้สัญญาณ T_2

$$T_2 = 0.693(R_B)(R_1) \quad (2.4)$$

ค่าระยะคาบเวลา (Period) ของสัญญาณ 1 ไชเคิล จะได้

$$T = T_1 + T_2$$

$$T = 0.693(R_A + 2R_B)C_1 \quad (2.5)$$

ความถี่ (Frequency) หรืออัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ หาได้จากสมการ

$$f_o = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.693(R_A + 2R_B) \cdot C_1}$$

$$f_o = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) \cdot C_1} \quad (2.6)$$

ค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่สัญญาณเอาต์พุตของไอซีเป็น T_1 ต่อช่วงระยะเวลา 1 คาบ เรียกว่า ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) นิยมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 2.7

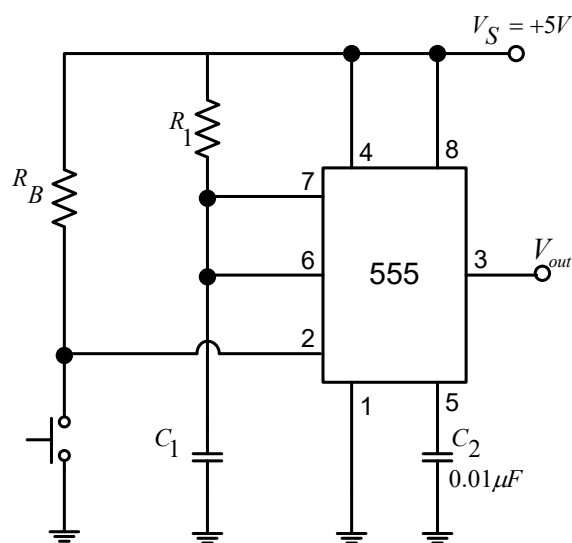
$$\text{Dutycycle} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \times 100\% \quad (2.7)$$

$$\text{Dutycycle} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \times 100\% \quad (2.8)$$

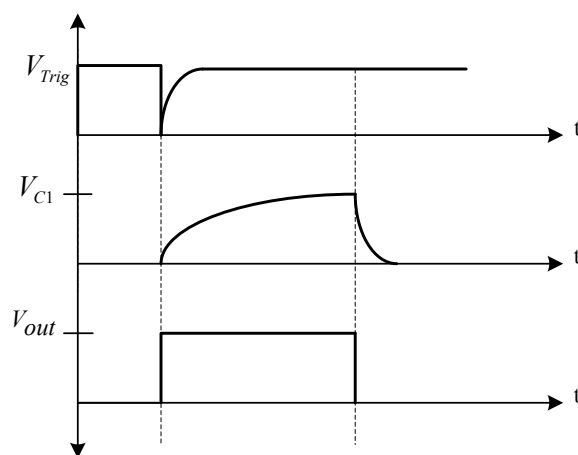
จากภาพที่ 2.7 จะเห็นว่า ในช่วงเวลา T_1 ตัวเก็บประจุ C_1 จะเก็บประจุผ่าน R_A และ R_B และในช่วงเวลา T_2 ตัวเก็บประจุ C_1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_B เพียงตัวเดียว ถ้าตัวต้านทาน R_A และ R_B มีค่าเท่ากันจะได้ดิวตี้ไซเคิลประมาณ 66.67%

2.1.6 วงจรโมโนสเตเบิลไมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555

มนตรี ศิริปรัชญานันท์และธนศักดิ์ อรุณไพโร (2558 : 174-176) วงจรโมโนสเตเบิลไมัลติไวเบรเตอร์คือ วงจรที่ทำการสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) 1 ลูกหลังจากมีการกระตุ้นที่ขาทรigger ความกว้างของพัลส์สามารถปรับค่าได้ที่ R_1 และ C_1 ดังวงจรในภาพที่ 2.8 และแสดงกราฟสถานะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลไมัลติไวเบรเตอร์ ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 วงจรโมโนสเตเบิลไมัลติไวเบรเตอร์



ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงสถานะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลไมัลติไวเบรเตอร์

คำนวณหาค่าช่วงเวลา T คำนวณได้จากสมการสะสมประจุของ C_1 ตั้งแต่ $2V_{CC}/3$ สมการเก็บประจุ C_1 ตั้งแต่ 0 ถึง $2V_{CC}/3$

$$\begin{aligned} VC_1 &= V_{CC}(1 - e^{-t/R_1C_1}) \\ \frac{2}{3}V_{CC} &= V_{CC}(1 - e^{-t/R_1C_1}) \\ \frac{2}{3} &= (1 - e^{-t/R_1C_1}) \\ -\frac{1}{3} &= -e^{-t/R_1C_1} \\ -\frac{t}{R_1C_1} &= \ln \frac{1}{3} = -1.1 \end{aligned}$$

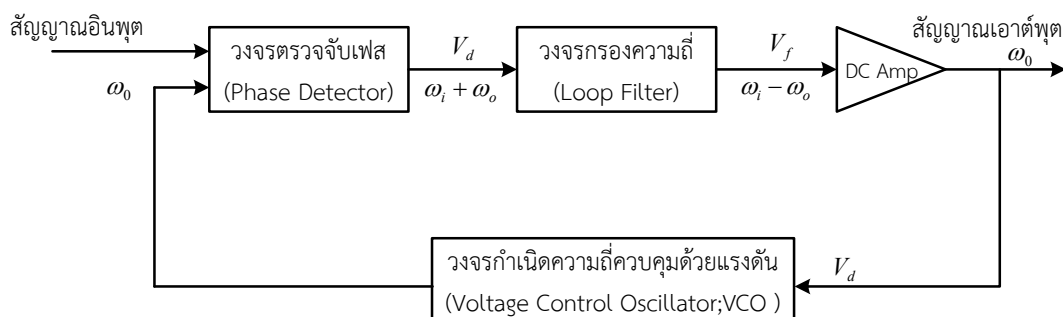
$$t = 1.1R_1C_1 \quad (2.9)$$

ดังนั้นค่าช่วงเวลามีค่าเท่ากับเมื่อ $t = T = 1.1R_1C_1$

2.1.7 วงจรเฟสล็อกกลุ๊ป (Phase Lock Loop)

มนตรี ศิริปรัชญานันท์และธนศักดิ์ อรุณไพโร (2558 : 180-181) วงจรเฟสล็อกกลุ๊ปทำหน้าที่รักษาสถานะการทำงานของเครื่องมืออุปกรณ์ให้คงที่ เช่น วงจรชุดควบคุม วงจรโทรศัพท์มือถือ วงจรวิทยุสื่อสาร วงจรเฟสล็อกกลุ๊ปจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยมาก และถ้าเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นอีก วงจรก็จะทำการลดเฟสของความคลาดเคลื่อนจนกระทั่งให้มิต่ำน้อยที่สุด ดังนั้น เฟสของระบบดังกล่าวจึงถูกล็อกไว้ให้มีค่าตรงกับเฟสของสัญญาณอ้างอิง

เฟสล็อกกลุ๊ปเป็นระบบป้อนกลับที่บังคับให้วงจรออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงความถี่ไปตามความถี่หรือเฟสของสัญญาณความถี่อ้างอิง (Reference Frequency ; f_r) จากภายนอก



ภาพที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบเฟสล็อกกลุ๊ป

จากภาพที่ 2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบเฟสล็อกกลุ๊ป สมมติว่ามีสัญญาณความถี่ภายนอกเข้ามาที่อินพุต ภาคเปรียบเทียบ (Phase Detector ; PD) จะทำการเปรียบเทียบเฟสระหว่างความถี่จากภายนอกกับความถี่ที่มาจาก VCO ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์สัญญาณผิดพลาด (Error Pulse) แรงดันผิดพลาดที่ได้จะถูกส่งไปให้วงจรลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter) และลูปฟิลเตอร์จะกรองสัญญาณพัลส์ให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรง เพื่อเอาแรงดันไฟกระแสตรงไปบังคับ VCO ผลิตความถี่ให้ตรงกับความถี่อ้างอิงที่มาจากภายนอก เมื่อลูปอยู่ในสภาวะล็อกความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตพอดี แต่เฟสอาจต่างกันซึ่งค่าความต่างเฟสที่ได้จะมีค่าคงที่กรณีที่เฟสจะคลาดเคลื่อนออกไปภาคเฟสดีเทคเตอร์จะจ่ายแรงดันความคลาดเคลื่อน (Error Pulse Voltage) ไปควบคุมการทำงานของวงจรถักกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน VCO เพื่อปรับให้ความต่างเฟสกลับมาคงที่ เพื่อให้ความถี่ของสัญญาณ VCO ตรงกับความถี่อ้างอิงตลอดเวลาโดยทั่วไป แบ่งวงจรเฟสล็อกกลุ๊ป มี 3 ภาวะ คือ

1. ภาวะทำงานเป็นอิสระ (Free Running) คือ ความถี่ของ VCO ถูกกำหนดจากโครงสร้างวงจรของ VCO

2. ภาวะแคปเจอร์ (Capture) คือ ความถี่ f_0 ของ VCO กำลังวิ่งเข้าหาความถี่อินพุต : f_i

3. ภาวะเฟสล็อก(Phase Locked) คือ ความถี่ f_0 ของ VCO เท่ากับความถี่อินพุต : f_i

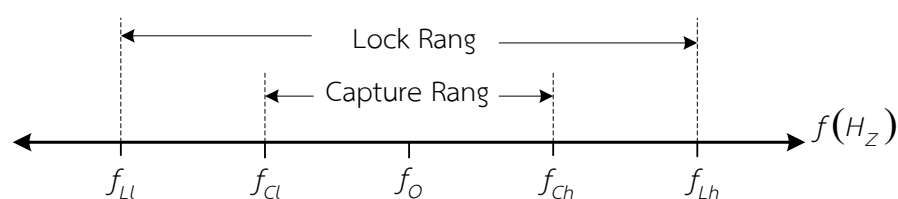
ย่านความถี่การทำงานของเฟสล็อกกลุ๊ป ดังภาพที่ 2.11 ได้แก่

ย่านความถี่ ซึ่งในระบบสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุตได้ เราเรียกว่า

“ ย่านล็อก (Lock Range) ”

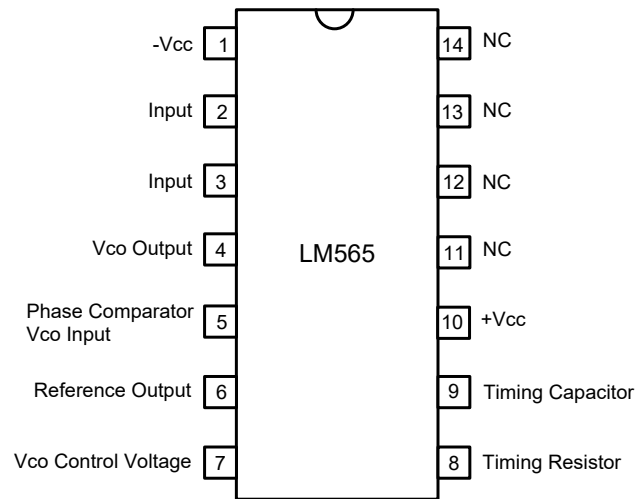
ย่านความถี่ ซึ่งระบบลูปสามารถเข้าถึงภาวะเฟสล็อกได้ เรียกว่า “ ย่านแคปเจอร์

(Capture Range) ” ซึ่งจะมีย่านแคบกว่า Lock Range



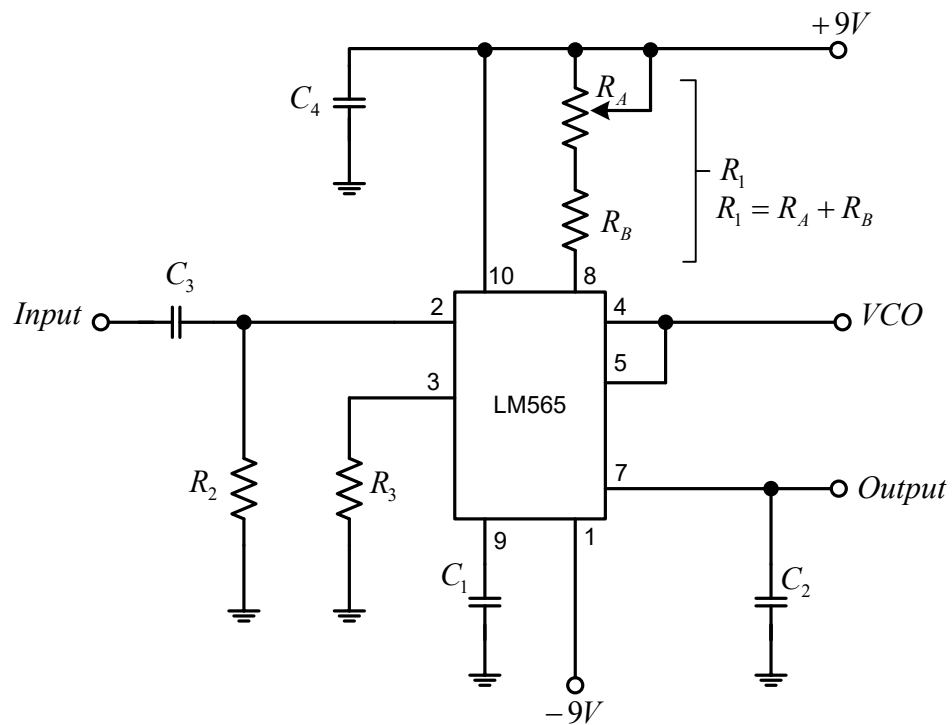
ภาพที่ 2.11 ย่านความถี่การทำงานของเฟสล็อกกลุ๊ป

National Semiconductor (1999 : 1-8) การใช้งานไอซีเฟสล็อกกลุ๊ป ในวงจรเฟสล็อกกลุ๊ป มีไอซีเบอร์ LM565 มีตำแหน่งการจัดวางขาของไอซีดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ตำแหน่งขาไอซีเฟสล็อกัลูปเบอร์ LM565

โครงสร้างภายในจะมีตัวต้านทานเชื่อมต่อภายในขา 7 คือ มีความต้านทาน 3.6 k Ω ที่ต่อร่วมกับวงจรรองความถี่ โดยมีตัวเก็บประจุภายนอกต่อคร่อมระหว่างขา 7 ในการออกแบบการใช้งานด้วยไอซีเฟสล็อกัลูป การนำไอซีเฟสล็อกัลูปมาต่อใช้งานได้ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 วงจรเฟสล็อกัลูป โดยใช้ไอซี LM565

จากภาพที่ 2.13 มีพารามิเตอร์และสมการที่สำคัญดังนี้
ความถี่กลางเอาต์พุตของวงจร (Free Running Frequency : f_o)

$$f_o = \frac{0.3}{R_1 C_1} \quad (2.10)$$

ย่านความถี่ล็อก (Lock Frequency : f_L)

$$f_L = \pm \frac{8f_o}{V} \quad (2.11)$$

โดยที่

$$V = +V - (-V)$$

ย่านความถี่แคปเจอร์ (Capture Frequency : f_C)

$$k_o k_D = \frac{33.6f_o}{V} \quad (2.12)$$

$$f_C = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_o k_D}{R_2 C_2}} \quad (2.13)$$

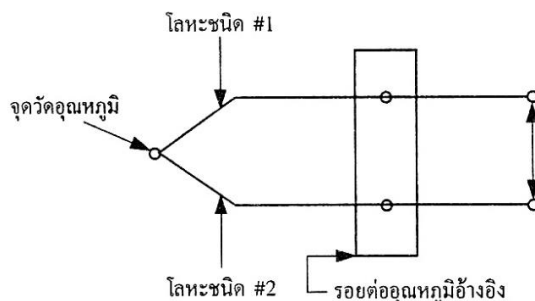
- เมื่อ R_1 คือ Timing Resistor (ที่ขา 8)
 R_2 คือ ความต้านทานภายในมีค่า 3.6 k Ω
 C_1 คือ Timing Capacitor (ที่ขา 9)
 C_2 คือ ตัวเก็บประจุรองความถี่ (ที่ขา 7)
 V คือ แรงดันไฟเลี้ยงตัวไอซี แรงดันบวกและลบ

2.1.8 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ทางด้านอุตสาหกรรม

อนันท์ คัมภีรานนท์ (2542 : 25-27) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นตัวแปลงที่มีความไวต่ออุณหภูมิและสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเทอร์โมคัปเปิลจึงมีบทบาทที่สำคัญเกี่ยวกับการวัดอุณหภูมิในงานทางด้านวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาหรืออาจจะใช้เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ นอกจากนั้นในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ยังใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิของเหลวและแก๊สภายในที่จัดเก็บ หรือการไหลภายในท่อ

หลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Effect) นี้เกิดจากคู่ของเส้นลวดที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะถูกต่อเข้าด้วยกันที่เป็นรอยต่อการรับรู้ (Sensing Junction) หรืออาจเรียกว่า “รอยต่อร้อน” (Hot Junction) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะเรียกว่า “รอยต่อเย็น” (Cold Junction) เมื่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างปลายรอยต่อร้อนกับรอยต่อเย็น

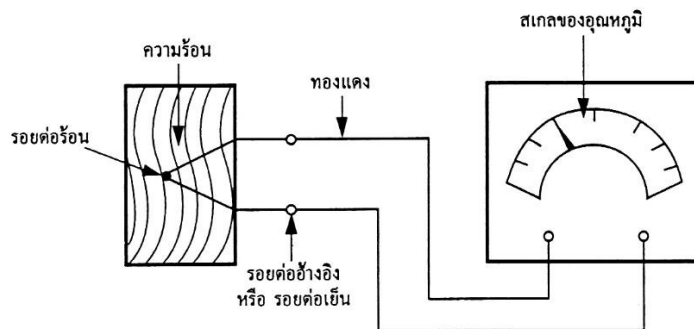
ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดขึ้นได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.14 ซึ่งค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ใช้ทำเส้นลวด และจำนวนของอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างปลายรอยต่อร้อนกับรอยต่อเย็น



ภาพที่ 2.14 แสดงหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมคัปเปิล

ที่มา : อนันท์ คัมภีรานนท์ (2542 : 25)

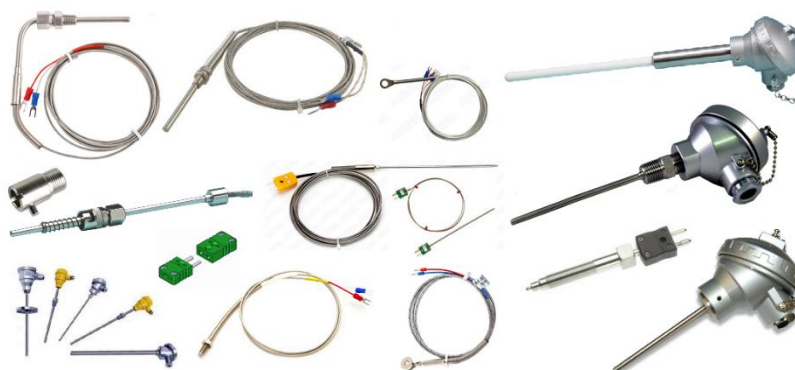
ในการใช้งาน ปกติปลายรอยต่อร้อนจะถูกนำไปไว้ภายใน หรือบนวัตถุที่ต้องจะตรวจสอบ และปลายรอยต่อเย็นของเส้นลวดจะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์เครื่องวัดแรงดัน เมื่อเทอร์โมคัปเปิลมีอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างปลายรอยต่อร้อนและปลายรอยต่อเย็น ซึ่งจะเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ คือปลายรอยต่อเย็นทั้งคู่ที่ถูกต่อเก็บไว้ ณ จุดอุณหภูมิคงตัว (Constant Reference Temperature) หรือ ในกรณีของเทอร์โมคัปเปิลราคาถูก สามารถเก็บได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องเมื่อนำมันมาใช้ในการวัดอุณหภูมิ ค่าแรงดันเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลที่อ่านได้จะต้องสำหรับการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในอุณหภูมิห้อง เพราะอุณหภูมิที่ปลายสายของเส้นลวดเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง (Reference Temperature) จะเป็นรอยต่ออ้างอิง หรือเรียกบ่อย ๆ ว่า “รอยต่อเย็น” จะเป็นขั้วต่ออุปกรณ์ หรือเส้นลวดอื่น ๆ เส้นลวดที่นำมาต่อที่ขั้วของรอยต่ออ้างอิงเข้ากับอุปกรณ์การวัดจะเป็นเส้นลวดทองแดง ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แสดงการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลอย่างง่าย

ที่มา : อนันต์ คัมภีรานนท์ (2542 : 26)

เทอร์โมคัปเปิลจะทำมาจากจำนวนของโลหะต่างชนิดกัน หรือโลหะผสมเพื่อให้มีปฏิกิริยาการใช้งานของอุณหภูมิที่กว้าง คือ ต่ำสุด -270°C (-418°F) ถึงสูงสุดที่ $2,700^{\circ}\text{C}$ (ประมาณ $5,000^{\circ}\text{F}$) จากภาพที่ 2.16 จะแสดงชนิดของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป และรูปร่างลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ



ภาพที่ 2.16 แสดงรูปร่างลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ

ที่มา : <http://www.hipowertech.co.th/viewproduct.php?pid=62>

2.2 การออกแบบอุปกรณ์ทดลอง-สาธิต

วัลลภ จันทรตระกูล (2543 : 110-114) การออกแบบสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภท อุปกรณ์ทดลองหรือสาธิต มีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1. กำหนดจุดประสงค์ในการนำอุปกรณ์ทดลอง-สาธิตไปใช้ในการสอน
2. กำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์

3. ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามรายการหน้าที่
 4. วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์
 5. สร้างต้นแบบและตรวจสอบ
 6. เขียนแบบงาน
 7. เตรียมเอกสารประกอบ
- ขั้นตอนงานต่างๆ มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนงานที่ 1 กำหนดจุดประสงค์ในการนำอุปกรณ์ทดลองหรือสาธิตไป

จากการตัดสินใจที่จะใช้อุปกรณ์ทดลองสำหรับการสอนในหัวเรื่องหรือเนื้อหานั้น ๆ ก็จะทำให้ทราบด้วยว่า อุปกรณ์ทดลอง-สาธิตใช้กับผู้เรียนกลุ่มใด และโดยปกติก็ควรจะได้ทราบรายการวัตถุประสงค์ของบทเรียนส่วนนั้นด้วย ข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการดำเนินงานพัฒนาออกแบบสร้างอุปกรณ์ทดลอง-สาธิต โดยการกำหนดจุดประสงค์ของอุปกรณ์เพื่อให้คุณลักษณะของอุปกรณ์สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียน

ในขั้นตอนนี้อาจจะกล่าวได้ว่า เป็นขั้นตอนที่จะต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อให้การออกแบบสร้างอุปกรณ์ทดลอง-สาธิตนั้นเกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรจะต้องศึกษาถึงสภาพการณ์ในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลทางด้านวิชาการในเรื่องนั้น ในบางครั้งถ้าหากเรื่องนั้นได้มีการพัฒนาอุปกรณ์มาแล้วโดยผู้อื่น ควรศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ด้วย

เมื่อศึกษาข้อมูลต่างๆ แล้ว จึงนำมาใช้เขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ในลักษณะคำบรรยาย แต่จะไม่ระบุรูปร่างลักษณะทางด้านเทคนิคอย่างเฉพาะเจาะจง ข้อมูลต่างๆ อาจกล่าวได้ว่าเป็นขอบเขตคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่จะออกแบบสร้างที่ได้ บางครั้งอาจจะกำหนดเป็นข้อๆ ก็ได้ และสุดท้ายจะต้องตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง จนกระทั่งได้ผลว่าเกิดความสอดคล้องครอบคลุมตามเป้าหมาย

2.2.2 ขั้นตอนงานที่ 2 กำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์

จากคำบรรยายคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่กำหนดขึ้นในขั้นตอนงานที่ 1 จะนำมาดำเนินการในขั้นตอนงานที่ 2 โดยการวิเคราะห์คำบรรยายดังกล่าว เพื่อค้นหาค่าพื้นฐาน ค่าพื้นฐานต่างๆ ที่ได้จะทำให้ทราบรายการหน้าที่ ของอุปกรณ์ อย่างไรก็ตาม เฉพาะค่าพื้นฐานก็อาจไม่ได้รายการหน้าที่ครอบคลุมลักษณะของอุปกรณ์ ดังนั้น จึงต้องวิเคราะห์ค่าประกอบสัมพันธ์ด้วย

สรุปได้ว่า ในขั้นตอนงานที่ 2 จะทำให้ได้รายการหน้าที่ของอุปกรณ์ และได้กำหนดตัวรายการหน้าที่เป็นกลางทุกๆ ไป ไม่ระบุเฉพาะเจาะจงว่า ต้องใช้ชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์แบบใดรูปร่างอย่างไรเพราะจะดำเนินการในขั้นตอนงานที่ 3 ต่อไป

2.2.3 ขั้นตอนงานที่ 3 ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ สามารถทำงานได้ตาม รายการหน้าที่ที่กำหนด

ในขั้นตอนนี้เป็นการคิดค้นสิ่งที่จะทำให้อุปกรณ์ สามารถทำงานได้ตามรายการหน้าที่ที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของ วัสดุ(Materials) พลังงาน (Energy) และสัญญาณ (Signal) วิทยาการที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้คือ วิชาฟิสิกส์ ได้แก่ ทางด้านกลไก (Mechanic) เคมี ไฟฟ้า แสง เสียง ความร้อน ฯลฯ

สิ่งที่ต้องกำหนดอาจจะเป็นคำเขียนสั้นๆ หรือภาพสเก็ตช์ง่ายๆ เพื่อจะใช้เป็นชิ้นส่วน ประกอบของอุปกรณ์ จะต้องพยายามเขียนกำหนดให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ สำหรับเป็นทางเลือก ต่างๆ ที่จะทำการตัดสินใจเลือกในลำดับต่อไป แนวทางที่จะได้ทางเลือกต่างๆ คือ การศึกษาพิจารณา ในเรื่องลักษณะรูปทรงแบบต่างๆ และลักษณะของการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบนั้นๆ

2.2.4 ขั้นตอนงานที่ 4 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์

ขั้นตอนนี้มีเป้าหมายสำคัญคือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากทางเลือกต่างๆ โดยการ วิเคราะห์และตัดสินใจเลือก ซึ่งอาจจะมีวิธีการแตกต่างกันไป การตัดสินใจเลือกมีสิ่งสำคัญก็คือ แนวทางหรือมาตรการในการตัดสินใจเลือกเกณฑ์ โดยทั่วไปเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ เรื่องประสิทธิภาพ ในการทำงาน ขนาดรูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น ส่วนน้ำหนักของเกณฑ์แต่ละ เกณฑ์ก็แตกต่างกันไป ตามแต่ความสำคัญ หรือจะเน้นหนักในเรื่องใด เช่น จะเน้นทางด้านเทคนิคหรือ ด้านเศรษฐศาสตร์ การตัดสินใจเลือกจะต้องมีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือ ในการตัดสินใจเลือก จึงควรประกอบด้วยบุคคลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายผลิต ฝ่ายจัดการ เป็นต้น

การพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะประกอบต่างๆ จำนวนมาก อาจต้องทำการตัดสินใจเลือก ถึงสองขั้นตอนกล่าวคือขั้นตอนแรกตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบแต่ละชิ้น ขั้นตอนที่สองจะต้อง วิเคราะห์ความเข้ากันได้หรือประกอบกันได้ของชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้เลือกมา แล้วจึงทำการ ตัดสินใจเลือกชุดประกอบย่อยๆ แต่ละชุด

2.2.5 ขั้นตอนงานที่ 5 สร้างต้นแบบและตรวจสอบ

จากผลลัพธ์การตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบในขั้นตอนงานที่ 4 จะต้องนำมาสเก็ตช์ เป็นภาพประกอบต้นแบบโดยคร่าวๆ หรือจะสเก็ตช์เป็นแบบง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้าง เป็นต้นแบบ ในบางครั้งขั้นตอนนี้ อาจจะต้องมีการทดลอง หรือต้องทดลองกลไกหน้าที่ของอุปกรณ์ บางอย่าง เพื่อให้การสร้างต้นแบบประสบความสำเร็จ อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามต้องการผลลัพธ์ ที่ได้จากขั้นตอนงานที่ 3 บางครั้งอาจไม่ทำงานได้ตามต้องการ การทดลองทดสอบจะทำให้ได้ข้อมูล ด้านขนาด ระยะ รูปร่างของอุปกรณ์นี้ด้วย

อุปกรณ์ต้นแบบจะต้องทำการตรวจสอบทางด้านเทคนิคค้นหาข้อมูลบางอย่าง เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์นั้นมีคุณลักษณะตรงตามความต้องการ นอกจากนั้นก็จะศึกษาพิจารณาเรื่อง

แนวทางการผลิตต่อไป รวมทั้งกฎความปลอดภัยต่างๆ ด้วยข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจสอบ จะนำไปใช้ประกอบในการเขียนเอกสารประกอบของอุปกรณ์นั้น

2.2.6 ขั้นตอนงานที่ 6 เขียนแบบงาน

ในกรณีที่พัฒนาออกแบบสร้างอุปกรณ์เพียงชิ้นเดียวงานเขียนแบบอาจไม่จำเป็น แต่ถ้าหาก จะทำการผลิต หรือต้องการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการดำเนินงานต่อไป งานเขียนแบบ นี้จะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิต ดังนั้นแบบงานของอุปกรณ์จะต้องมี แบบแยกชิ้นจนเป็นชิ้นเดียวที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วน สำหรับช่างที่จะทำการผลิตได้ (เช่น ขนาด พิกัด ความเผื่อ วัสดุ เป็นต้น) นอกจากนี้ก็ต้องมีข้อมูล หมายเลขแบบ ซึ่งอาจจะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อยและแบบชิ้นเดียว ระบบในงานเขียน มีความสำคัญต่อการคำนวณราคา การวางแผน การผลิต และการเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนของ หน่วยงาน

2.2.7 ขั้นตอนงานที่ 7 การเตรียมเอกสารประกอบ

อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไป ควรจะต้องจัดเตรียมเอกสารประกอบ และคู่มือใช้งาน เพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัยและสอดคล้องตามจุดประสงค์ในการออกแบบสร้าง อุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนก็ต้องเตรียมเอกสาร ประกอบสำหรับใช้ในงานสอนด้วย

ในขั้นตอนงานที่ 5 คือ การสร้างต้นแบบและตรวจสอบจะได้รับข้อมูลส่วนหนึ่งจะนำมาใช้ ในการจัดเตรียมเอกสารประกอบ และในภายหลังเมื่อได้ผลิตออกมาเป็นอุปกรณ์จริงๆ แล้วก็ต้อง นำมาหาข้อมูลต่างๆ ต่อไปอีก

เอกสารประกอบที่จะต้องจัดเตรียมอาจจะกำหนดให้มีในลักษณะต่างๆ กันตามแต่ ความมุ่งหมายของงาน โดยอาจจำแนกออกเป็น 4 ประเภท คือ คู่มือแนะนำการใช้งาน เอกสาร ประกอบในการศึกษาทดลอง ตำรา ใบงาน แบบฝึกหัด แบบทดสอบ ใบเฉลยของผู้สอน และผู้เรียน เป็นต้น

2.3 การประเมินสื่อการสอน

การออกแบบสร้างสื่อการสอนได้แนวคิดจาก วิลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 135-140) ให้มีความเหมาะสมในด้านต่างๆ มีคุณลักษณะเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค (Technical Points of View) ด้านการเรียนการสอน (Pedagogical Points of View) และด้านการพาณิชย์หรือการค้า (Economical Points of View) จะทำได้อย่างไร เราสามารถทราบคุณลักษณะด้านต่างๆ โดยการประเมินสื่อการสอนนั้น ซึ่งอาจจะทำควบคู่ในระหว่างกระบวนการออกแบบ หรือเมื่อสิ้นสุด

การออกแบบสำเร็จเป็นงานต้นแบบก่อนดำเนินการผลิตออกมาในเชิงพาณิชย์ ในเรื่องการประเมินสื่อ มีประเด็นที่จะกล่าวถึงนี้ เหตุผลทำไมต้องประเมินสื่อ ประเมินได้อะไร กระทำเมื่อใด ประเมินในเรื่องอะไร มีวิธีการและเทคนิคอย่างไร ใช้เครื่องมือและเกณฑ์อะไร มีเงื่อนไของค์ประกอบที่ควรคำนึงอะไรบ้าง

2.3.1 วัตถุประสงค์ในการประเมินสื่อการสอน

การประเมินสื่อการสอนมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้อดี ข้อเสีย ในด้านต่างๆ ของสื่อการสอน
2. นำข้อมูลที่ได้จากการประเมิน ไปแก้ไขพัฒนาปรับปรุงสื่อการสอนนั้น
3. วางแผนในการพัฒนาสื่อการสอนเพิ่มเติม ให้เกิดความสมบูรณ์ ในการเรียนการสอน

ตามหัวข้อ หรือสาขาวิชานั้น

2.3.2 ประเด็นในการประเมิน

ประเด็นในการประเมินอาจแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านเทคนิค ด้านการเรียนการสอน และด้านการพาณิชย์ ในแต่ละประเด็นสามารถแตกออกเป็นประเด็นย่อย การคิดค้นประเด็นต่าง ๆ อาจใช้แผนภูมิปะการัง เป็นเครื่องมือ ร่วมประชุม ระดมความคิด หรืออาจค้นคว้าประเด็นได้จากงานวิจัยต่างๆ ด้านการประเมินสื่อการสอน ประเด็นที่น่าเสนอนี้ เป็นประเด็นหลักๆ รวมๆ สามารถเลือกไปใช้กับสื่อประเภทต่างๆ ได้และจะเขียนในลักษณะด้านบวก หรืออ้อมค้อม

2.3.3 ประเด็นด้านเทคนิค

มีประเด็นด้านต่างๆ ดังนี้

1. ขนาดสื่อ ไม่ใหญ่ ไม่เล็ก มีขนาดเหมาะสม สอดคล้องกับมาตรฐาน สะดวกต่อการเก็บรักษา ไม่ใช่เนื้อที่มากเกินไป
2. น้ำหนัก มีน้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้สอน ได้สะดวก ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ขนย้าย ผู้สอนนำไปได้ด้วยตนเอง
3. ชิ้นส่วนประกอบ ทำหน้าที่ได้ถูกต้องแม่นยำ นอกจากทำหน้าที่หลัก สามารถทำหน้าที่รอง มีรูปร่างง่ายต่อการผลิต เป็นมาตรฐาน หาอะไหล่ได้ง่าย มีจำนวนชิ้นไม่มาก การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน มั่นคง รูปร่างมีความแข็งแรงคงทน มีอายุการใช้งานเหมาะสม มีความเรียบร้อยสวยงาม
4. ชนิดวัสดุ มีคุณสมบัติเหมาะสมกับประเภทสื่อ เป็นวัสดุหาง่าย คุณสมบัติวัสดุ มีความแข็งแรงคงทน ราคาไม่แพง ทนต่อความร้อน ฝุ่น ความชื้น ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ และตัวสื่อ
5. การดูแลรักษา ง่ายต่อการดูแลรักษา และซ่อมบำรุง มีระบบการจัดเก็บ การจัดจำแนก มีถาด ช่อง กล่อง ในการจัดเก็บ มีระบบการเบิก ยืม ที่มีประสิทธิภาพ ไม่สิ้นเปลือง ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา

6. กระบวนการผลิต ผลิตง่าย ใช้เครื่องมือง่าย ๆ มีระบบแบบงาน ระบบมาตรฐานวัสดุ (หมายเลขวัสดุ) ผลิตออกมาเรียบร้อยสวยงาม สอดคล้องตามหลักการสอน สามารถใช้สอนกับวิธีการต่าง ๆ นำความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ ชิ้นงานออกมา มีขนาด คุณภาพผิวงาน มีความละเอียดสูง สามารถเป็นต้นแบบในการผลิตเชิงพาณิชย์

7. มาตรฐาน สอดคล้องกับมาตรฐานในหน่วยงาน ความเป็นสากล มี Format

8. ความปลอดภัย มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ และต่อสื่อ

2.3.4 ประเด็นทางการเรียนการสอน

จะเกี่ยวข้องกับครูผู้สอน นักศึกษา และตัวสื่อเอง ดังนี้

1. ต่อครูผู้สอน ใช้ง่าย ใช้เวลาในการสอนน้อย ไม่มีความจำเป็นต้องฝึกอบรมด้านการใช้ สอดคล้อง ตามรายการวัตถุประสงค์ และเนื้อหาวิชา มีคู่มือการสอน สำหรับครู
2. ต่อนักศึกษา เข้าใจง่าย สอดคล้องกับพื้นฐานความรู้ และประสบการณ์ นักศึกษาเกิดความเข้าใจ น่าสนใจ อยากรู้ กระตุ้นให้ค้นคว้า และประสบการณ์ เกิดความคิดสร้างสรรค์ สามารถนำไปประยุกต์แก้ปัญหา ช่วยส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ มีคู่มือให้นักศึกษา
3. ต่อสื่อการสอน เป็นสื่อการสอนที่มีความสำคัญต่อเนื้อหาที่เรียน และควรมีอย่างยั่งยืน มีความสำคัญต่อการเรียนรู้ มีเนื้อหาสาระที่ทันสมัย ตามวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถนำไปใช้สอนในหัวเรื่องอื่นได้ด้วย ให้เนื้อหาสาระชัดเจน ในตัว ไม่ต้องอธิบายเพิ่มเติมมาก ใช้เวลาในการประกอบน้อย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์อื่นประกอบช่วย มีคู่มือคำแนะนำในการใช้ การดูแลรักษา ต้องมี Software ประกอบ ตัวอักษร สี สัน พอร์ม Format ชัดเจน

2.3.5 เกณฑ์ในการประเมินสื่อการเรียนการสอน

เมื่อกำหนดประเด็นต่างๆ ที่จะประเมินสื่อแล้วก็ต้องมากำหนดเกณฑ์ ในการประเมิน ซึ่งมีสิ่งๆ ที่ควรพิจารณาดังนี้

1. เกณฑ์ที่กำหนดจะเน้นคุณลักษณะไปด้านใด เช่น ด้านเทคนิค ด้านการเรียนการสอน หรือด้านพาณิชย์ หรือจะให้น้ำหนักเท่ากันทั้ง 3 ด้าน
2. ในแต่ละประเด็นอาจจะประเมินโดยการทำเป็น รายการตรวจสอบ (Check List) ว่าใช่/ไม่ใช่ มี/ไม่มี มีคำตอบให้เลือก สองทางเลือก อีกลักษณะหนึ่งเป็นการให้ความคิดเห็นว่า คุณลักษณะด้านนั้นๆ ดีมาก ดี พอใช้ ใช้ไม่ได้ เป็นต้น
3. จากผลการประเมินในข้อ 2 นำมาประมวลผล โดยใช้หลักการทางสถิติ เป็นร้อยละ หรือ เปอร์เซนต์ ในแต่ละประเด็น หรือลักษณะภาพรวม

การประเมินจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นอกจากจากนั้นค่าที่ได้ควรมีความเชื่อมั่นเที่ยงตรง มีเป้าหมาย มีความชัดเจน น่าเชื่อถือ สามารถคำนวณและปฏิบัติ หน่วยงานหรือ ทีมงาน จะต้องกำหนดเกณฑ์เพื่อจะประเมินสื่อการเรียนการสอนได้ผลสำเร็จตามเป้าหมาย

2.3.6 องค์ประกอบในการประเมินสื่อ

นอกจากการกำหนดเกณฑ์แล้ว ก็ควรคำนึงถึงองค์ประกอบในการประเมินสื่อซึ่งมีหลายประการได้แก่

1. เครื่องมือ เป็นเอกสารหรืออุปกรณ์ที่สามารถบันทึกแสดงข้อมูลที่จะได้จากการประเมินสื่อว่าอยู่ในระดับใด ควรมีการทดลองใช้ วิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น ค่าความเที่ยงตรง มีการพัฒนาปรับปรุงเครื่องมือให้เหมาะสม
2. วิธีการ การประเมินทำได้โดยการกำหนดประเด็นต่างๆ แล้วให้คะแนนในประเด็นนั้นๆ วิธีการประเมินโดยใช้ความรู้สึกอาจขาดความเชื่อถือ มีคำแนะนำขั้นตอนในการประเมิน
3. เกณฑ์ กำหนดระดับค่าคะแนนว่าระดับใดที่จะยอมรับได้ ขึ้นกับเป้าหมายว่าต้องการเน้นด้านใด หน่วยงานเอกชนอาจมุ่งทางการค้า หน่วยงานการศึกษาอาจมุ่งด้านการเรียนการสอน
4. ผู้ประเมิน ทำหน้าที่ใช้เครื่องมือประเมิน อาจเป็นบุคคลภายในและภายนอกหน่วยงาน เป็นผู้เชี่ยวชาญมีประสบการณ์และมีจำนวนเหมาะสม มาจากหลายๆ ฝ่ายเช่น ฝ่ายตลาด ฝ่ายผลิต มีความเข้าใจในวิธีประเมิน
5. ผู้สอน ผู้ที่ทำหน้าที่สอนโดยใช้สื่อการสอนนั้น ก็เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประเด็นการประเมิน ที่ผู้ประเมินมีข้อมูลเกี่ยวกับผู้สอนอย่างไร
6. ผู้เรียน ผู้ประเมินหรือแบบประเมินมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับผู้เรียนอย่างไร คาดการณ์ว่าผู้เรียนจะมีพื้นฐาน มีความรู้ ประสบการณ์เพียงใด และต้องการคาดหวังต่อผู้เรียนอย่างไร
7. เนื้อหาวิชา เป็นสาขาวิชาใดมีรายการ วัตถุประสงค์ของบทเรียนอย่างไร
8. ประเภทของสื่อ สื่อมีความแตกต่างกันหลายประเภท เช่น เอกสารสิ่งพิมพ์ แผ่นใส แผ่นภาพ อุปกรณ์ทดลองสาธิต แผ่นดิสก์ ซีดี ประเด็นการประเมินก็จะแตกต่างกัน

2.4 การหาประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2556: 6-19) การผลิตสื่อหรือชุดการสอนนั้น ก่อนนำไปใช้จริงจะต้องนำสื่อหรือชุดการสอนที่ผลิตขึ้นไปทดสอบประสิทธิภาพเพื่อดูว่าสื่อหรือชุดการสอนทำให้ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นหรือไม่ มีประสิทธิภาพในการช่วยให้กระบวนการเรียนการสอนดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด มีความสัมพันธ์หรือไม่ และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนจากสื่อหรือชุดการสอนในระดับใด ดังนั้นผู้ผลิตสื่อการสอนจำเป็นต้องจะนำสื่อหรือชุดการสอนไปหาคุณภาพเรียกว่า การทดสอบประสิทธิภาพ

2.4.1 ความหมายของการทดสอบประสิทธิภาพ

1. ความหมายของประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง สภาวะหรือคุณภาพของสมรรถนะในการดำเนินงาน เพื่อให้งานมีความสำเร็จโดยใช้เวลา ความพยายาม และค่าใช้จ่ายค้ำค่าที่สุดตามจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ โดยกำหนดเป็นอัตราส่วนหรือ ร้อยละระหว่างปัจจัยนำเข้ากระบวนการและผลลัพธ์ (Ratio Between Input, Process and Output) ประสิทธิภาพเน้นการดำเนินการ ที่ถูกต้องหรือกระทำการสิ่งใดๆ อย่างถูกวิธี (Doing the Thing Right)

2. ความหมายของการทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของสื่อหรือชุดการสอน จึงหมายถึงการหาคุณภาพของสื่อหรือชุดการสอน โดยพิจารณาตามขั้นตอนของการพัฒนาสื่อหรือชุดการสอนแต่ละขั้นตรงกับภาษาอังกฤษว่า “Developmental Testing” คือ การทดสอบคุณภาพตามพัฒนาการของการผลิตสื่อ หรือชุดการสอนตามลำดับขั้น เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแต่ละองค์ประกอบของต้นแบบชิ้นงาน ให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับการผลิตสื่อและชุดการสอน การทดสอบประสิทธิภาพ หมายถึง การนำสื่อหรือชุดการสอนไปทดสอบด้วยกระบวนการสองขั้นตอน คือ การทดสอบประสิทธิภาพใช้เบื้องต้น (Try Out) และทดสอบประสิทธิภาพสอนจริง (Trial Run) เพื่อหาคุณภาพของสื่อตามขั้นตอนที่กำหนดใน 3 ประเด็น คือ การทำให้ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้น การช่วยให้ผู้เรียนผ่านกระบวนการเรียน และทำแบบประเมินสุดท้ายได้ดี และการทำให้ผู้เรียนมีความพึงพอใจนำผลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไข ก่อนที่จะผลิตออกมาเผยแพร่เป็นจำนวนมาก

3. การทดสอบประสิทธิภาพใช้ เบื้องต้น

เป็นการนำสื่อหรือชุดการสอนที่ผลิตขึ้น เป็นต้นแบบ (Prototype) แล้วไปทดสอบประสิทธิภาพใช้ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในแต่ละระบบ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของสื่อหรือชุดการสอนให้เท่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้และปรับปรุงจนถึงเกณฑ์

4. การทดสอบประสิทธิภาพ สอนจริง

หมายถึง การนำสื่อหรือชุดการสอนที่ได้ ทดสอบประสิทธิภาพใช้และปรับปรุงจนได้คุณภาพ ถึงเกณฑ์แล้วของแต่ละหน่วย ทุกหน่วยในแต่ละวิชาไปสอนจริงในชั้นเรียนหรือในสถานการณ์การเรียนที่แท้จริงในช่วงเวลาหนึ่ง อาทิ 1 ภาคการศึกษาเป็น อย่างน้อยเพื่อตรวจสอบคุณภาพเป็นครั้งสุดท้ายก่อนนำไปเผยแพร่และผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก

การทดสอบประสิทธิภาพทั้งสองขั้นตอน จะต้องผ่านการวิจัยเชิงวิจัยและพัฒนา (Research and Development : R&D) โดยต้องดำเนินการวิจัยในขั้นทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น และอาจทดสอบประสิทธิภาพซ้ำในขั้นทดสอบประสิทธิภาพใช้จริง

2.4.2 ความจำเป็นที่จะต้องหาประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของสื่อหรือชุดการสอนมีความจำเป็นด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

1. สำหรับหน่วยงานผลิตสื่อหรือชุดการสอน

การทดสอบประสิทธิภาพช่วยประกันคุณภาพ ของสื่อหรือชุดการสอนว่าอยู่ในขั้นสูง เหมาะสมที่จะลงทุนผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก หากไม่มีการทดสอบ ประสิทธิภาพเสียก่อนแล้ว เมื่อผลิตออกมาใช้ประโยชน์ ไม่ได้ดีก็จะต้องผลิตหรือทำขึ้นใหม่เป็นการสิ้นเปลือง ทั้งเวลา แรงงาน และเงินทอง

2. สำหรับผู้ใช้สื่อหรือชุดการสอน

สื่อหรือชุดการสอนที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพ จะทำหน้าที่เป็นเครื่องมือช่วยสอนได้ดี ในการสร้างสภาพการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้เปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ตามที่มุ่งหวัง บางครั้งชุดการสอนต้อง ช่วยครูสอน ดังนั้นก่อนนำสื่อหรือชุดการสอนไปใช้ ครูจึงควรมั่นใจว่าชุดการสอนนั้นมีประสิทธิภาพ ในการช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนจริง การทดสอบประสิทธิภาพตามลำดับขั้นจะช่วยให้เราได้สื่อหรือ ชุดการสอนที่มี คุณค่าทางการสอนจริงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

3. สำหรับผู้ผลิตสื่อหรือชุดการสอน

การทดสอบประสิทธิภาพทำให้ผู้ผลิตมั่นใจได้ว่า เนื้อหาสาระที่บรรจุลงในสื่อหรือชุดการ สอนมีความเหมาะสม ง่ายต่อการเข้าใจ อันจะช่วยให้ผู้ผลิตมีความชำนาญสูงขึ้น เป็นการประหยัด แรงสมอง แรงงาน เวลาและเงินทองในการเตรียมต้นแบบ

2.4.3 การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ

1. ความหมายของเกณฑ์ (Criterion)

เกณฑ์เป็นขีดกำหนดที่จะยอมรับว่าสิ่งใดหรือพฤติกรรมใดมีคุณภาพและหรือปริมาณ ที่จะรับได้ การตั้งเกณฑ์ต้องตั้งไว้ครั้งแรกครั้งเดียว เพื่อจะปรับปรุงคุณภาพให้ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำที่ตั้งไว้ จะตั้งเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพไว้ต่างกันไม่ได้ ดังนั้นหากการทดสอบคุณภาพของสิ่งใดหรือ พฤติกรรมใดได้ผลสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 หรืออนุโลมให้มีความคลาดเคลื่อน ต่ำหรือสูงกว่าค่าประสิทธิภาพที่ตั้งไว้เกิน 2.5 ก็ให้ปรับเกณฑ์ขึ้นไปอีกหนึ่งขั้น แต่หากได้ค่าต่ำกว่า ค่าประสิทธิภาพที่ตั้งไว้ ต้องปรับปรุงและนำไปทดสอบ ประสิทธิภาพใช้หลายครั้งในภาคสนาม จนได้ค่าถึงเกณฑ์ที่กำหนด

2. ความหมายของเกณฑ์ประสิทธิภาพ หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของสื่อหรือชุดการ สอนที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม เป็นระดับที่ผลิตสื่อหรือชุดการสอนจะพึงพอใจ ว่าหากสื่อหรือชุดการสอนมีประสิทธิภาพถึงระดับนั้นแล้ว สื่อหรือชุดการสอนนั้นก็มีความคุ้มค่าที่จะนำ ไปสอนนักศึกษาและคุ้มแก่การลงทุนผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ กระทำได้โดยการประเมินผลพฤติกรรมของผู้เรียน 2 ประเภท คือ พฤติกรรมต่อเนื่อง (กระบวนการ) กำหนดค่าประสิทธิภาพเป็น $E_1 = \text{Efficiency of Process}$ (ประสิทธิภาพของกระบวนการ) และพฤติกรรมสุดท้าย (ผลลัพธ์) กำหนดค่าประสิทธิภาพเป็น $E_2 = \text{Efficiency of Product}$ (ประสิทธิภาพของผลลัพธ์)

2.1 ประเมินพฤติกรรมต่อเนื่อง (Transitional Behavior) คือประเมินผลต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยพฤติกรรมย่อยของนักศึกษา เรียกว่า “กระบวนการ” (Process) ที่เกิดจากการ ประกอบ กิจกรรมกลุ่ม ได้แก่ การทำโครงการ หรือทำรายงานเป็นกลุ่มและรายงานบุคคล ได้แก่ งาน ที่มอบหมาย และกิจกรรมอื่นใดที่ผู้สอนกำหนดไว้

2.2 ประเมินพฤติกรรมสุดท้าย (Terminal Behavior) คือประเมินผลลัพธ์ (Product) ของนักศึกษา โดยพิจารณาจากการสอบหลังเรียนและการสอบไล่ ประสิทธิภาพของสื่อหรือ ชุดการสอนจะกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ผู้สอนคาดหวังว่านักศึกษาจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นที่พึงพอใจ โดยกำหนดให้ผลเฉลี่ยของคะแนนการทำงานและการประกอบกิจกรรมของนักศึกษาทั้งหมด ต่อร้อยละของผลการประเมินหลังเรียนทั้งหมด นั่นคือ $E_1/E_2 =$ ประสิทธิภาพของกระบวนการ/ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

2.4.4. วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพ

วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพ กระทำได้ 2 วิธี คือ โดยใช้สูตร

สูตรที่ 1

$$E_1 = \frac{\sum X}{A} \times 100 \quad \text{หรือ} \quad \frac{\bar{X}}{A} \times 100 \quad (2.14)$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ
 $\sum X$ คือ คะแนนรวมของแบบฝึกหัดปฏิบัติกิจกรรมหรืองานที่ทำ ระหว่างเรียนทั้งที่เป็นกิจกรรมในห้องเรียน
 A คือ คะแนนเต็มของแบบฝึกปฏิบัติทุกชั้นรวมกัน
 N คือ จำนวนผู้เรียน

สูตรที่ 2

$$E_2 = \frac{\sum F}{B} \times 100 \quad \text{หรือ} \quad \frac{\bar{F}}{B} \times 100 \quad (2.15)$$

เมื่อ E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์
 $\sum F$ คือ คะแนนรวมของผลลัพธ์ของการประเมินหลังเรียน
 B คือ คะแนนเต็มของการประเมินสุดท้ายของแต่ละหน่วยประกอบด้วย ผลการสอบหลังเรียนและคะแนนประเมินงานสุดท้าย
 N คือ จำนวนผู้เรียน

หลังจากคำนวณหาค่า E_1 และ E_2 ได้แล้วผู้หาประสิทธิภาพต้องตีความหมายของผลลัพธ์ โดยให้ความคลาดเคลื่อนหรือความแปรปรวนของผลลัพธ์ได้ไม่เกิน 0.05 (ร้อยละ 5) จากช่วงสูงไปต่ำ $= \pm 2.5$ นั่นคือให้ผลลัพธ์ของค่า E_1 หรือ E_2 ที่ถือว่า เป็นไปตามเกณฑ์ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ไม่เกิน 2.5% และ สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ไม่เกิน 2.5%

2.4.5 การเลือกนักเรียนมาทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน

นักเรียนที่ผู้สอนจะเลือกมาทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน ควรเป็นตัวแทนของนักเรียนที่เราจะนำสื่อหรือชุดการสอนนั้นไปใช้ ดังนั้นจึงควรพิจารณาประเด็นต่อไปนี้

1. สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ แบบเดี่ยว (1 : 1) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ครู 1 คน ต่อเด็ก 1-3 คน ให้ทดสอบประสิทธิภาพกับเด็กก่อนเสียก่อน ทำการปรับปรุงแล้วนำไปทดสอบ ประสิทธิภาพกับเด็กปานกลาง และนำไปทดสอบประสิทธิภาพกับเด็กเก่ง อย่างไรก็ตามหากเวลาไม่อำนวยและสภาพการณ์ไม่เหมาะสม ก็ให้ทดสอบประสิทธิภาพกับเด็กอ่อนหรือเด็กปานกลาง โดยไม่ต้องทดสอบประสิทธิภาพกับเด็กเก่งก็ได้แต่การ ทดสอบประสิทธิภาพกับเด็กทั้งสามระดับ จะเป็นการ สะท้อนธรรมชาติการเรียนรู้ที่แท้จริง ที่เด็กเก่ง กลาง อ่อนจะได้ช่วยเหลือกัน เพราะเด็กอ่อนบางคนอาจจะเก่งในเรื่องที่เด็กเก่งทำไม่ได้

2. สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ แบบกลุ่ม (1 : 10) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ครู 1 คนทดสอบประสิทธิภาพกับเด็ก 6-12 คน โดยให้มีผู้เรียนคละกันทั้งเด็กเก่ง เด็กปานกลาง เด็กอ่อน ห้ามทดสอบประสิทธิภาพกับเด็กอ่อนล้วน หรือเด็กเก่งล้วน ขณะทำการทดสอบประสิทธิภาพ ผู้สอนจะต้องจับเวลาด้วยว่ากิจกรรมแต่ละกลุ่มใช้เวลาเท่าไร ทั้งนี้เพื่อให้ทุกกลุ่มกิจกรรมใช้เวลาใกล้เคียงกัน

3. การทดสอบประสิทธิภาพภาคสนาม (1 : 100) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ครู 1 คนทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียนทั้งชั้น (ปกติให้ใช้กับผู้เรียน 30 คน แต่ในสถานศึกษาขนาดเล็กอนุโลมให้ใช้กับผู้เรียน 15 คนขึ้นไป ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียน หลังจากทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามแล้ว ให้ประเมินการเรียนรู้จากกระบวนการ คือกิจกรรมหรือภาระกิจและงานที่มอบหมายให้ทำและทดสอบหลังเรียน นำมาหาประสิทธิภาพ

2.5 การหาคุณภาพของเครื่องมือวัดผล

การหาคุณภาพของเครื่องมือวัดผลได้แนวคิดมาจาก พิซิต ฤทธิจรูญ (2551: 135-160) เครื่องมือวัดผลเป็นชุดของสิ่งเร้าที่ใช้วัดพฤติกรรม หรือคุณลักษณะของคน สัตว์ หรือสิ่งของเพื่อให้ได้ ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมหรือคุณลักษณะของสิ่งนั้นตามที่ผู้วัดต้องการ ในงานวิจัยนี้หาคุณภาพ เครื่องมือโดยใช้วิธีดังนี้

2.5.1 ความเที่ยงตรง

ความเที่ยงตรงหรือความตรง (Validity) เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่สามารถวัดได้ตาม วัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด ความเที่ยงตรงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content Validity) หมายถึง คุณสมบัติของข้อคำถามที่สามารถวัดได้ตรงตามเนื้อหาและพฤติกรรมที่ต้องการวัด และเมื่อรวบรวมข้อคำถามทุกข้อเป็นเครื่องมือทั้งฉบับจะต้องวัดได้ครอบคลุมเนื้อหาและพฤติกรรม ทั้งหมดที่ต้องการวัดด้วย ความเที่ยงตรงตามเนื้อหาเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด โดยเฉพาะ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ เพราะแบบทดสอบที่มีความเที่ยงตรงตามเนื้อหาแต่ นักเรียนไม่สามารถ แสดงความรู้หรือพฤติกรรมที่เขาได้อยู่ได้ เพราะความรู้หรือพฤติกรรมที่เขาได้อยู่ไม่ได้ถูกวัด ข้อสอบ วัดในสิ่งที่ครูไม่ได้สอน หรือครูสอนแต่ไม่ได้วัด ผลที่ตามมาคือผู้สอบตอบข้อสอบไม่ถูกเป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้คะแนนที่ได้จากการวัดครั้งนั้นๆ ขาดความเชื่อถือ วัดในสิ่งที่ต้องการจะวัดจริงๆ ไม่ได้และเมื่อนำผลการวัดครั้งนั้นๆ ไปประเมินผล ผลการประเมินครั้งนั้นๆ ก็ขาดความเชื่อถือตามไปด้วยมีวิธีการ ตรวจสอบดังนี้

1. การตรวจสอบว่าข้อคำถามในแบบทดสอบมีความเป็นตัวแทนของเนื้อหาหรือครอบคลุม เนื้อหาที่ต้องการจะวัดหรือไม่ และตรวจสอบความสอดคล้องของเนื้อหาที่แบ่งเป็นหมวดหรือหน่วยย่อยๆ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากน้ำหนักของพฤติกรรมที่จะวัดกับจำนวนข้อคำถามในพฤติกรรมนั้น ซึ่งดูจากตารางวิเคราะห์หลักสูตร

2. ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาที่วัดกับจุดประสงค์ที่ต้องการจะวัด โดยให้ ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการจะวัดหรือไม่ วิธีนี้เป็นการหาค่า ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (Index of Item – Objective Congruence หรือ IOC) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญไม่น้อยกว่า 3 คน เป็นผู้พิจารณาให้คะแนนแต่ละข้อดังนี้

-1	เมื่อแน่ใจว่า	ข้อคำถามนั้นไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์
0	เมื่อไม่แน่ใจว่า	ข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์
+1	เมื่อแน่ใจว่า	ข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์

จากนั้นนำคะแนนผลการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง ข้อคำถามกับจุดประสงค์โดยใช้สูตรของโรวินเนลลี และแฮมเบิลตัน ดังนี้ (Rowinelli and Hambleton 1977 อ้างถึงใน ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ 2539 : 249)

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (2.16)$$

เมื่อ IOC แทน ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์
 $\sum R$ แทน ผลรวมของคะแนนการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ
 N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกข้อคำถามดังนี้

1. ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5-1.00 คัดเลือกไว้ใช้ได้
2. ข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ควรพิจารณาปรับปรุงหรือตัดทิ้ง

2.5.2 ความยากง่าย

ความยากง่าย เป็นคุณสมบัติของข้อสอบที่บอกให้ทราบว่าข้อสอบข้อนั้นมีคนตอบถูกมากหรือน้อย ถ้ามีคนตอบถูกมากข้อสอบนั้นก็ง่ายและถ้ามีคนตอบถูกน้อยข้อสอบนั้นก็ยาก ถ้ามีคนตอบถูกบ้างผิดบ้างหรือมีตอบถูกปานกลางข้อสอบข้อนั้นก็มีความยากปานกลาง ข้อสอบที่ดีควรมีความยากง่ายพอเหมาะควรมีคนตอบถูกไม่ต่ำกว่า 20 คนและไม่เกิน 80 คน จากผู้สอบ 100 คน ค่าความยากง่ายหาได้โดยการนำจำนวนคนที่ตอบถูกหารด้วยจำนวนคนที่ตอบทั้งหมด

การวิเคราะห์ข้อสอบแบบอิงกลุ่ม

การวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อแบบอิงกลุ่ม วิธีที่นิยมกันมากวิธีหนึ่ง คือ การใช้เทคนิค 27% ซึ่งมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

1. นำข้อสอบไปสอบ ตรวจให้คะแนนและเรียงกระดาษคำตอบตามลำดับจากคะแนนมากไปน้อย
2. แบ่งกระดาษคำตอบเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเรียกว่ากลุ่มสูง (P_H) โดยนับจากคะแนนสูงลงมาประมาณ 27% ของกระดาษคำตอบทั้งหมด และกลุ่มหลังเรียกว่ากลุ่มต่ำ (P_L) โดยนับจากคะแนนต่ำสุดขึ้นไปประมาณ 27% ของกระดาษคำตอบทั้งหมด

การใช้เทคนิค 27% สำหรับคัดเลือกกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำนี้ ใช้กรณีที่กลุ่มตัวอย่างหรือผู้สอบมีจำนวนมาก และคะแนนมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) แต่ถ้าคะแนนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ควรใช้เทคนิค 35%

3. หาจำนวนคนที่ตอบถูกของแต่ละข้อในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ
4. หาค่าความยากง่าย (P) ของแต่ละข้อ โดยรวมจำนวนที่ตอบถูกในกลุ่มสูง และกลุ่มต่ำแล้วหารด้วยจำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำรวมกัน

$$P = \frac{P_H + P_L}{2n} \quad (2.17)$$

เมื่อ P แทน ค่าความยากง่าย
 P_H แทน จำนวนคนที่ตอบถูกในกลุ่มสูง
 P_L แทน จำนวนคนที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ
 n แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

เกณฑ์การพิจารณาความยากง่าย

ค่าความยากง่ายมีค่าตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.00 โดยทั่วไปข้อสอบที่มีความยากพอเหมาะควรมีค่าความยากง่ายตั้งแต่ 0.02-0.08 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$0.80 < P \leq 1.00$ แสดงว่า เป็นข้อสอบง่ายมาก ควรตัดทิ้งหรือปรับปรุง

$0.60 < P \leq 0.80$ แสดงว่า เป็นข้อสอบค่อนข้างง่าย (ดี)

$0.40 < P \leq 0.60$ แสดงว่า เป็นข้อสอบยากง่ายปานกลาง (ดีมาก)

$0.20 < P \leq 0.40$ แสดงว่า เป็นข้อสอบค่อนข้างยาก (ดี)

$0.00 < P \leq 0.02$ แสดงว่า เป็นข้อสอบยากมาก ควรตัดทิ้งหรือปรับปรุง

2.5.4 อำนาจจำแนก

อำนาจจำแนก (Discrimination) เป็นคุณสมบัติของข้อสอบที่สามารถจำแนกผู้เรียนได้ตามความแตกต่างของบุคคลว่าใครเก่ง ปานกลาง อ่อน ใครรอบรู้-ไม่รอบรู้ โดยยึดหลักการว่าคนเก่งจะต้องตอบข้อสอบข้อนั้นถูก คนไม่เก่งจะต้องตอบผิด ข้อสอบที่ดีจะต้องแยกคนเก่งกับคนไม่เก่งออกจากกันได้ อำนาจจำแนกมีความสัมพันธ์กับความเที่ยงตรงเชิงสภาพในทางบวก กล่าวคือ ถ้าเครื่องมือใดมีอำนาจจำแนกสูง เครื่องมือนั้นก็มีความเที่ยงตรงเชิงสภาพสูงด้วย

$$r = \frac{P_H - P_L}{n} \quad (2.18)$$

เมื่อ r แทน ค่าความจำแนก
 P_H แทน จำนวนคนที่ตอบถูกในกลุ่มสูง
 P_L แทน จำนวนคนที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ
 n แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

เกณฑ์การพิจารณาค่าอำนาจจำแนก

ค่าอำนาจจำแนกมีค่าตั้งแต่ -1.00 ถึง +1.00 ข้อสอบที่ดีควรมีอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.12 ขึ้นไป ส่วนค่าอื่น ๆ มีความหมายดังนี้

$0.40 < r \leq 1.00$ แสดงว่า จำแนกได้ดีเป็นข้อสอบที่ดี

$0.30 < r \leq 0.39$ แสดงว่า จำแนกได้เป็นข้อสอบที่ดีพอสมควรอาจต้องปรับปรุงบ้าง

$0.20 < r \leq 0.29$ แสดงว่า จำแนกพอใช้ได้ แต่ต้องปรับปรุง

$-1.00 < r \leq 0.19$ แสดงว่า ไม่สามารถจำแนกได้ต้องปรับปรุงใหม่หรือตัดทิ้ง

ถ้า r มีค่าเป็นลบหรือน้อยกว่า 0 แสดงว่า ข้อสอบนั้นจำแนกกลับ แสดงว่าคนเก่งทำไม่ได้ คนอ่อนทำได้ ต้องปรับปรุงใหม่หรือตัดทิ้ง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก้องภพ ซาอามาตย์ (2550 : 60-62) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพ ชุดทดลองออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี เรื่อง การออกแบบวงจรรองความถี่ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา และศึกษาประสิทธิภาพ เนื้อหาประกอบด้วย วงจรรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 วงจรรองความถี่สูงผ่าน อันดับ 1 วงจรรองความถี่แถบผ่านอันดับ 1 วงจรรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 ผลการศึกษา ประสิทธิภาพของชุดทดลองออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี เท่ากับ 83.10/81.10 แสดงว่าชุดทดลอง มีประสิทธิภาพผ่านเกณฑ์ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นไปตามสมมติฐาน ดังนั้นการเรียนด้วย ชุดทดลอง จะช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพ ทางการเรียนการสอน ช่วยให้ผู้เรียนลดจินตนาการที่เรียน สร้างความเข้าใจในทฤษฎียิ่งขึ้นเนื่องจาก ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง และในแง่ของผู้สอนช่วยให้ใช้เวลาในการจัดเตรียมอุปกรณ์การสอนลดลง

ศราวุธ ไหลหาโคตร (2552 : 2) ได้ทำการวิจัยเรื่องชุดฝึกปฏิบัติวงจรขยาย วิชาการ วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ แนวทางการแก้ปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการเรียนการสอนในรายวิชาการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ จึงได้สร้างชุดฝึกปฏิบัติโดยให้มีความสอดคล้องกับเนื้อหาวิชาเพื่อที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการเรียนการสอนให้ดีขึ้นมีเวลาในการฝึกปฏิบัติมากขึ้น ช่วยในการจัดการด้านอาชีวศึกษาให้เป็น รูปธรรมมากขึ้นและช่วยประหยัดงบประมาณ พร้อมทั้งเป็นสื่อการเรียนการสอน

เอกราช นิลรัตน์ (2552 : 47-51) ได้ทำการวิจัยเรื่องชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบ แอคทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เนื้อหาประกอบด้วย ใบงาน 5 ใบงาน วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรรองความถี่สูงผ่าน วงจรกรอง เฉพาะแถบความถี่ผ่าน วงจรกรองขจัดเฉพาะแถบความถี่ วงจรกรองทุกความถี่ผ่าน ผลการวิจัย คุณภาพใบงาน ค่าเฉลี่ย 4.60 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 และ แผงทดลอง ค่าเฉลี่ย 4.53 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55 อยู่ในระดับดีมาก มีประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ 81.33/82.074 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐาน ชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นสามารถกระตุ้นให้นักเรียน มีความสนใจในการทดลองแต่ละใบงาน และนักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้จากการทดลองด้วย ตนเอง จึงทำให้ผลการเรียนรู้ของการทดลองครั้งนี้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

พัชรินทร์ สุวรรณบุตร (2554 : 51) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์ และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาคุณภาพ และประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ ผลการวิจัยพบว่าคุณภาพของชุดปฏิบัติการค่าเฉลี่ย 4.86 และ ใบงานค่าเฉลี่ย 4.88 อยู่ในระดับดีมาก ส่วนประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการ 82.95/83.35 โดยชุดปฏิบัติการจะเป็นการกระตุ้นให้นักศึกษามีความมั่นใจในการทดลอง 12 ใบงานและนักศึกษา ก็จะเกิดการเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเองจึงทำให้ผลการเรียนรู้ของการทดลองครั้งนี้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

รัตนชาติ ดงอภินันท์ (2554 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาชุดทดลองการต่อวงจร ออปแอมป์ สำหรับนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง เพื่อสร้างความเข้าใจผ่านการปฏิบัติ ในลักษณะการเสริมการเรียนรู้เนื้อหาทางทฤษฎีแบบเดิมในชั้นเรียน โดยแบ่งงานนี้ออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบสร้างชุดทดลองซึ่งวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อกำหนดหัวข้อการทดลองโดยใช้ Topic Analysis แล้วออกแบบขั้นตอนการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองด้วย Task Analysis จากนั้นออกแบบขั้นตอนและออกแบบสร้างชุดทดลอง ส่วนที่สองคือการสร้างใบงาน การทดลอง ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่งสามารถมีความเข้าใจในเรื่องออปแอมป์มากขึ้น

สุภาชิต จิตรไทย (2556 : 71) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาและศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ชุดทดลองออปแอมป์ ด้านกายภาพเกี่ยวกับชุดทดลอง พบว่าผู้เรียนพึงพอใจกับการเรียนชุดทดลอง ทั้งนี้เพราะชุดทดลองสามารถสร้างแรงจูงใจและดึงดูดความสนใจ โดยใช้สีที่สดใสสามารถทดลอง ที่โต๊ะทดลองได้และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ช่วยประหยัดเวลา ในการจัดเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง ใบงานที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ประกอบกับชุดทดลองได้ให้ข้อมูลที่ จำเป็นเกี่ยวกับสาระสำคัญ รายการอุปกรณ์ ขั้นตอนการทดลอง รวมทั้งให้ผู้เรียนสามารถอภิปราย แลกเปลี่ยนความเห็นภายในกลุ่ม สร้างทักษะการสื่อสารและปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียน ช่วยให้ผู้เรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น การเรียนปฏิบัติทดลองทำให้ผู้เรียนสามารถขยายความรู้ที่ได้รับจาก การเรียนในชั้นเรียน (ความรู้ในทฤษฎีและการทำงานของเครื่องมืออุปกรณ์) ได้เห็นความแตกต่าง ระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติ ช่วยให้ผู้เรียนลดจินตนาการที่เรียน สร้างความเข้าใจในทฤษฎียิ่งขึ้น เนื่องจากลงมือปฏิบัติด้วยตนเองช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและประสิทธิภาพ ทางการเรียนการสอนดีขึ้น การเรียนด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นยังเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือ ปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองในประเด็นของการเรียนด้วยชุดทดลอง เนื่องจากการลงมือปฏิบัติ ในชุดทดลองทำให้ความเข้าใจหลักการ/ทฤษฎี/ความคิดรวบยอดเพิ่มมากขึ้น

ภัทรदानันท์ อินทร์นุช (2560 : บทคัดย่อ) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ชุดทดลอง หาประสิทธิภาพชุดทดลองและความพึงพอใจของนักเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยชุดทดลองเรื่องอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร ใบงานทดลอง จำนวน 7 ใบงาน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินผลการปฏิบัติทดลองและ

แบบฝึกหัดทำายการทดลองเรื่องอุปกรณ์ไทรสเตอร์ วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร ที่สร้างขึ้น ด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.00$, S.D. = 0.46) และในด้านการผลิตสื่อชุดทดลอง อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.30$, S.D. = 0.62) และมีประสิทธิภาพ 81.83/80.17 ตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ และด้าน ความพึงพอใจของนักเรียนที่ใช้ชุดทดลองอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.16$, S.D. = 0.7) ตามสมมติฐาน การวิจัย

ไกรลาศ ดอนชัย (2561 : บทคัดย่อ) การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและ หาประสิทธิภาพของชุดฝึก เพื่อพัฒนาสมรรถนะวิชาชีพตามมาตรฐานฝีมือแรงงานสาขางาน เขียนแบบเครื่องกลเครื่องกลด้วยคอมพิวเตอร์ และศึกษาความพึงพอใจของผู้รับการฝึกอบรมโดยใช้ ชุดฝึกอบรม ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเริ่มจาก การสร้างชุดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาสมรรถนะวิชาชีพ สมรรถนะวิชาชีพ หลังจากนั้นจึงนำชุดฝึกอบรมให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ประเมินผลการประเมิน คุณภาพของชุดฝึกอบรมโดยผู้เชี่ยวชาญ มีผลการประเมินคุณภาพโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.13$) แล้วนำชุดฝึกอบรมที่สร้างขึ้นไปใช้ในการฝึกอบรมกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผู้เข้ารับ ทดสอบเพื่อขอใบรับรองมาตรฐานฝีมือแรงงาน สาขาช่างเขียนแบบเครื่องกลด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD) ณ ศูนย์พัฒนาฝีมือแรงงาน จังหวัดลำพูน จำนวน 21 คน ผลการวิจัยปรากฏว่า การฝึกอบรมโดย ชุดฝึกอบรม มีประสิทธิภาพในการฝึกอบรมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.52$, S.D. = 0.59) และมี ผู้ที่ผ่านการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานระดับชาติ จากการฝึกอบรม คิดเป็นร้อยละ 100

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า การพัฒนาให้ผู้เรียนได้เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความรู้และ ทักษะ โดยวัดจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น สามารถทำได้โดยจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ให้นักศึกษาได้ลงมือปฏิบัติทดลอง เป็นผลทำให้นักศึกษาลดจินตนาการการเรียน สร้างความเข้าใจ ในทฤษฎีมากขึ้น เกิดการเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเอง ซึ่งเครื่องมือที่ช่วยให้การจัดกิจกรรมการ เรียนการสอนสัมฤทธิ์ผลตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ได้แก่ ชุดปฏิบัติการ ชุดทดลอง ชุดฝึกปฏิบัติ ชุดการสอน เป็นต้น และในการสร้างเครื่องมือจำเป็นต้องคำนึงความสอดคล้องกับเนื้อหารายวิชา การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจดึงดูดความสนใจแก่นักศึกษา การเคลื่อนย้ายสะดวก ง่ายต่อการใช้งาน ประหยัดเวลาในการเตรียมอุปกรณ์ และผ่านการทดสอบประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้งาน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เรื่องชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ที่ใช้ในการเรียนการสอนวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ประชากร
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล
6. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพนครนายก จำนวน 10 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย

3.2.1 ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ประกอบด้วย ใบงานจำนวน 6 ใบงาน และแผงทดลอง

3.2.2 แบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและแผงทดลอง

3.2.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.2.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

3.2.5 แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์เนื้อหาสำหรับงานวิจัย

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากคำอธิบายรายวิชาในรายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 กับ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าหลักสูตรในปีพุทธศักราช 2557 มีเนื้อหาเพิ่มเติมจากหลักสูตรเดิม และในงานวิจัยที่ผ่านมา มีเนื้อหาไม่ครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชา อีกทั้งครุภัณฑ์ที่เป็นชุดปฏิบัติการเกี่ยวกับวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ ที่สถานศึกษาได้รับจัดสรรมาแต่ไม่ครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชา ดังนั้นผู้วิจัยเลือกเนื้อหาสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ในหัวข้อดังต่อไปนี้

1. วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่
2. วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน
3. วงจรตั้งเวลา
4. วงจรเฟสล็อกกลูป
5. วงจรประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม

3.3.2 การกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

กำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อนำไปสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ดังรายละเอียด ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เนื้อหา	จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
1. วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประกอบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันด้วยไอซี LM331 ได้ 2. ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุตได้ 3. ปรับปรุงวงจรให้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นแรงดันมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นได้ 4. บันทึกค่าแรงดันที่ได้จากการทดลองและการคำนวณได้ 5. คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้ 6. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้ 7. เลือกใช้อุปกรณ์ในการต่อวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

เนื้อหา	จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
2. วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประกอบวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ด้วยไอซี LM331 ได้ 2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าความถี่เอาต์พุตได้ 3. ปรับปรุงวงจรให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นความถี่ที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นได้ 4. บันทึกค่าความถี่ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณได้ 5. คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ได้ 6. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ได้ 7. อธิบายการประยุกต์ใช้งานของวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ได้
3. วงจรตั้งเวลา	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประกอบวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ได้ 2. ประกอบวงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ได้ 3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันเอาต์พุตได้ 4. บันทึกค่าเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองและการคำนวณได้ 5. อธิบายการทำงานของวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้ 6. อธิบายการทำงานของวงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้ 7. อธิบายการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้ 8. อธิบายการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของวงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้
4. วงจรเฟสล็อกกลูบ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประกอบวงจรเฟสล็อกกลูบด้วยไอซี LM565 ได้ 2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าพารามิเตอร์ตามตำแหน่งที่กำหนดได้ 3. ปรับปรุงวงจรให้ได้ความถี่กลางตามที่กำหนด 4. ปรับความถี่อินพุตได้ตามภาวะของวงจรเฟสล็อกกลูบ 5. บันทึกค่าความถี่ของวงจรเฟสล็อกได้ 6. อธิบายการทำงานของวงจรเฟสล็อกกลูบได้ 7. อธิบายการประยุกต์ใช้งานวงจรเฟสล็อกกลูบได้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

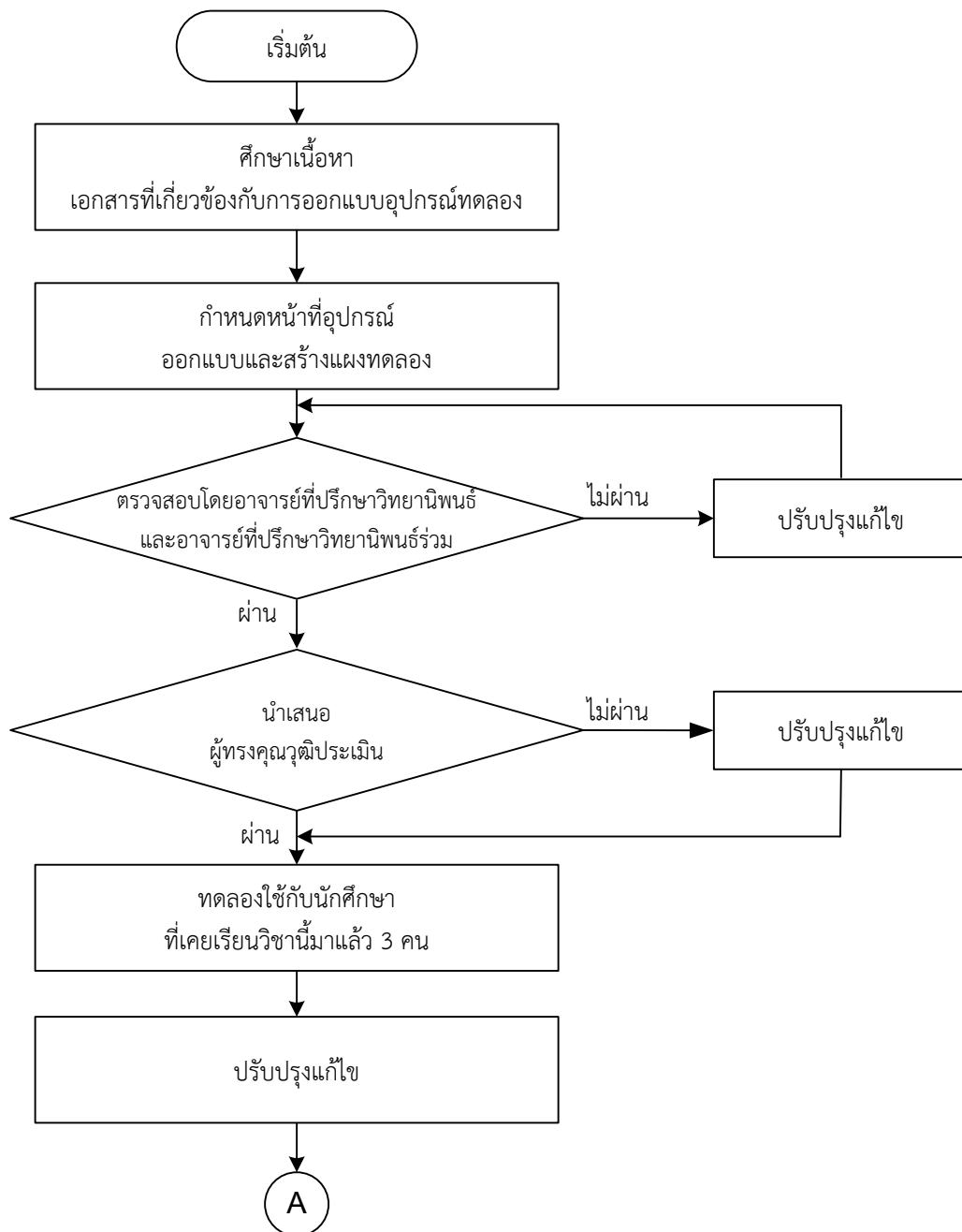
เนื้อหา	จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
5. วงจรประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. วัดและทดสอบการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลได้ 2. ประกอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ 3. บันทึกผลการแสดงค่าของ LED ได้ 4. อธิบายคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลได้ 5. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ 6. อธิบายวงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรมได้

3.3.3 การสร้างแบบทดลอง

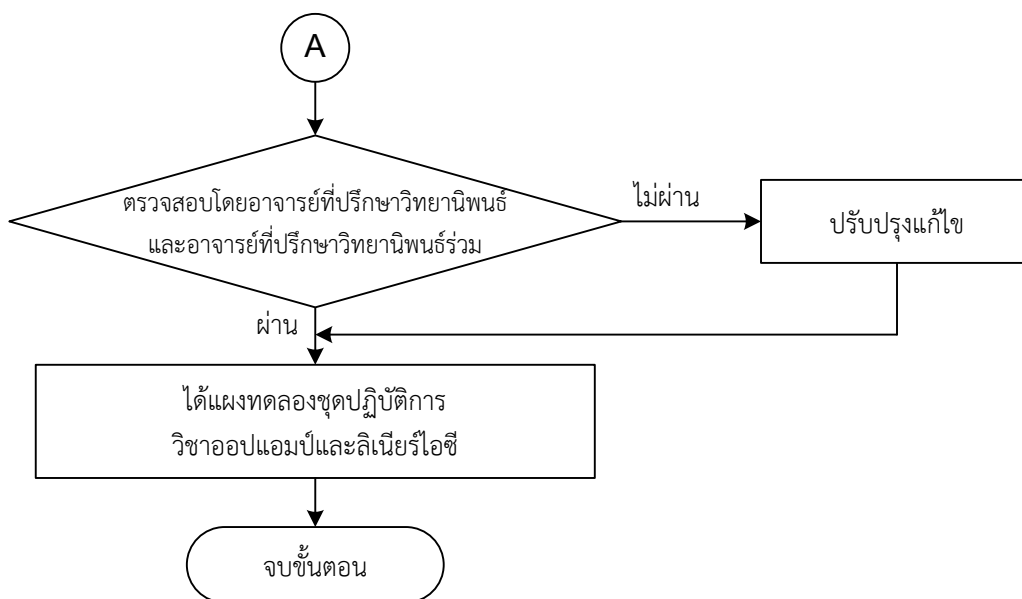
การสร้างแบบทดลอง ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างแบบทดลองให้มีสอดคล้องกับใบงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหารายวิชา การออกแบบอุปกรณ์ทดลอง-สาธิต และการประเมินสื่อการสอน
2. กำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์ เลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมสอดคล้องกับใบงาน โดยพิจารณาจากการเลือกใช้อุปกรณ์อย่างประหยัด มีค่าความผิดพลาดต่ำ และสามารถปรับและเปลี่ยนแปลงค่าอุปกรณ์ได้ สำหรับแบบทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นอุปกรณ์สำหรับต่อวงจร และส่วนที่เป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการทดลอง
3. ทดลองวงจรต่าง ๆ เพื่อหาข้อผิดพลาดจากการประกอบวงจรจริงเทียบกับการคำนวณรวมทั้งแก้ไขค่าอุปกรณ์และวงจรให้ทำงานสอดคล้องกับทฤษฎี
4. ออกแบบสร้างแบบทดลอง การออกแบบแบบทดลองเน้นให้มีความสะดวกและใช้งานได้ง่าย
5. นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ
6. นำแบบทดลองเสนอให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ประเมินคุณภาพแบบทดลอง ด้านความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content Validity) ที่สอดคล้องกับใบงานทั้ง 6 ใบงาน
7. ปรับปรุงแก้ไขอีกครั้ง ตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิเสนอแนะ
8. ทดลองใช้แบบทดลองกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 เพื่อสังเกตข้อบกพร่องขณะที่นักศึกษาใช้งาน จากนั้นปรับปรุงแก้ไข
9. นำแบบทดลองเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเพื่อตรวจสอบ แล้วทำการแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

10. เมื่อผ่านการตรวจสอบคุณภาพและแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ได้แฉงทดลองนำไปทดลองกับกลุ่มประชากรต่อไป โดยสรุปเป็นลำดับขั้นการสร้างแฉงทดลองปรากฏตามภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างแฉงทดลอง



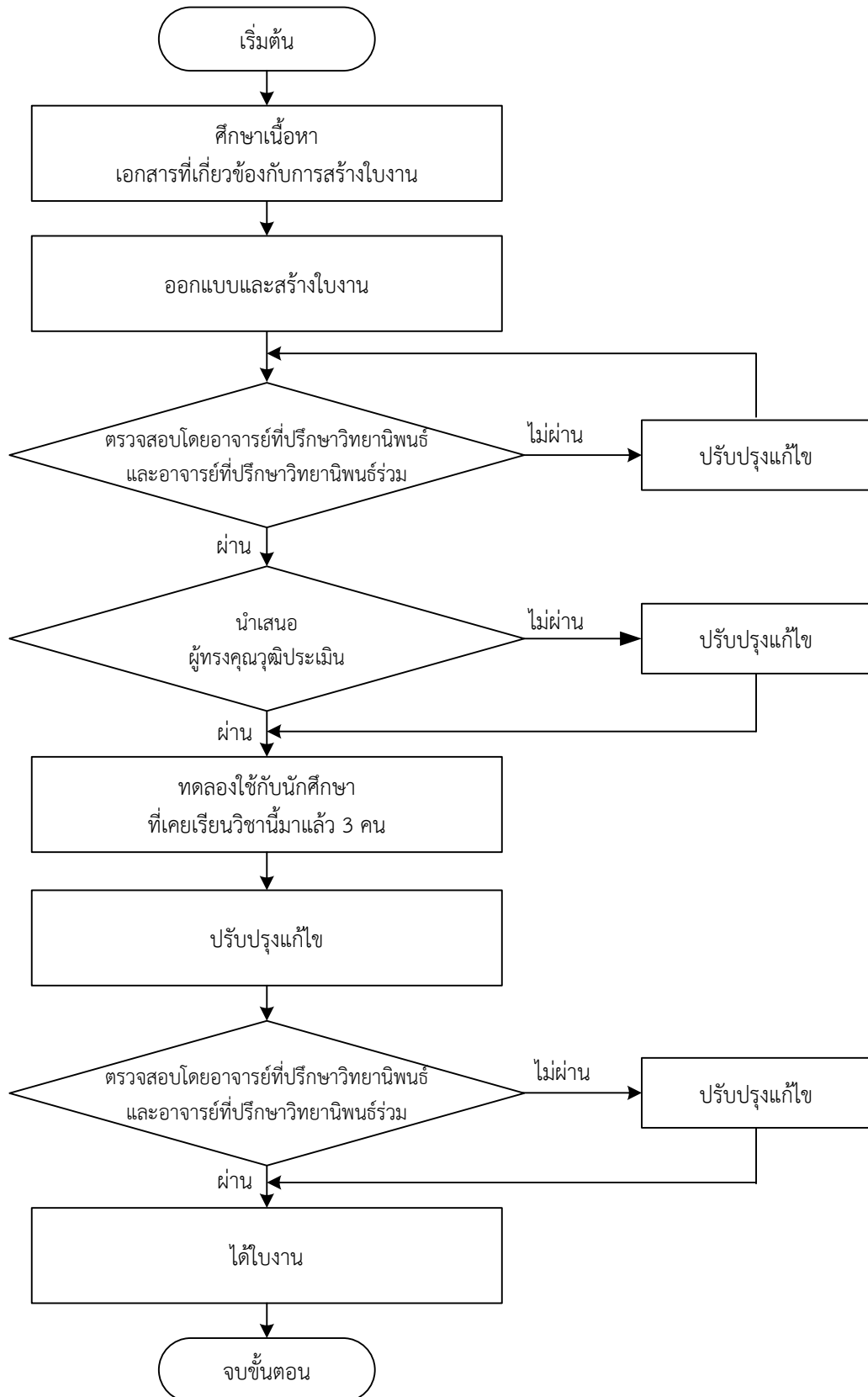
ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

3.3.4 การสร้างใบงาน

การสร้างใบงาน ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างให้ตรงตามวัตถุประสงค์ และสอดคล้องกับแมงทดลอง ดังปรากฏในภาคผนวก ข โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จากตำราเอกสารต่างๆ จุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ของวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักการสร้างสื่อการเรียนการสอน
2. กำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมและเนื้อหาใบงาน ที่สอดคล้องกับเนื้อหาที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อหาสำหรับงานวิจัย
3. ออกแบบและสร้างใบงาน โดยมีส่วนประกอบของใบงาน คือ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เครื่องมือและอุปกรณ์ เนื้อหาทฤษฎี ลำดับขั้นตอนการทดลอง คำถามท้ายการทดลอง ให้สอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. นำเสนอใบงานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อตรวจสอบ แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ
5. นำใบงานเสนอผู้ทรงคุณวุฒิ ประเมินคุณภาพใบงานด้านความเที่ยงตรงตามเนื้อหา แล้วทำการแก้ไขตามข้อเสนอแนะ
6. ทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 พร้อมสังเกตข้อบกพร่องขณะที่นักศึกษาใช้งานแล้วทำการปรับปรุงแก้ไข
7. นำใบงานเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้อง
8. ได้ใบงานที่พร้อมจะนำไปใช้เพื่อทำการทดลองต่อไป

ขั้นตอนการสร้างใบงาน ปรากฏตามภาพที่ 3.2

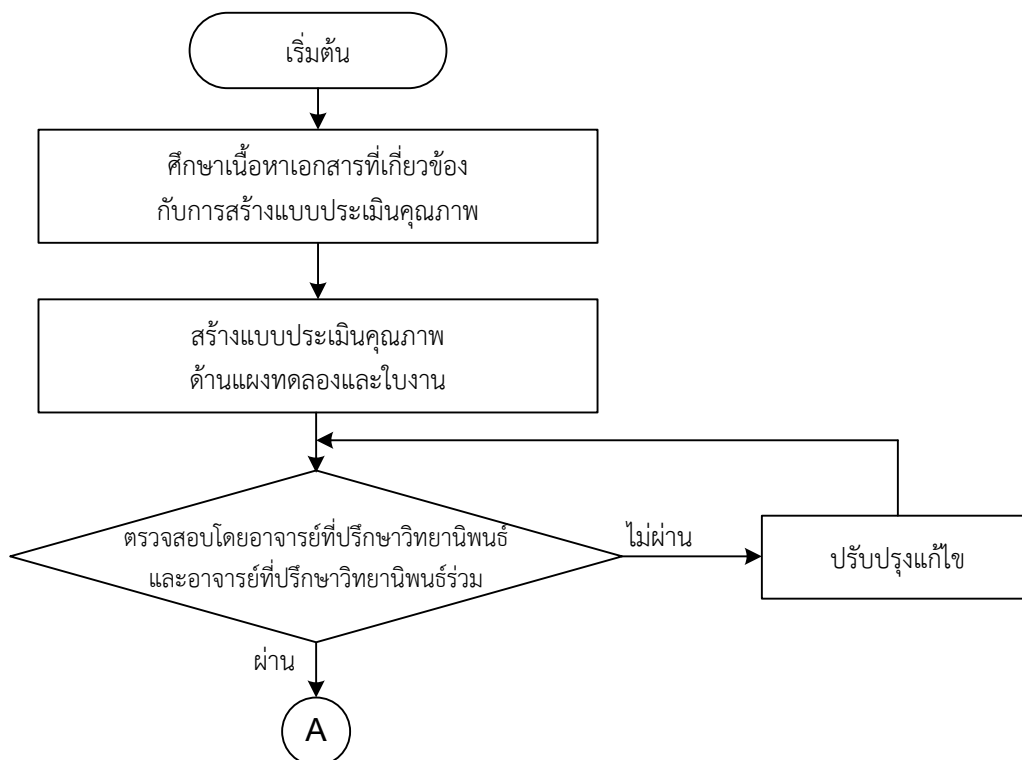


ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างใบงาน

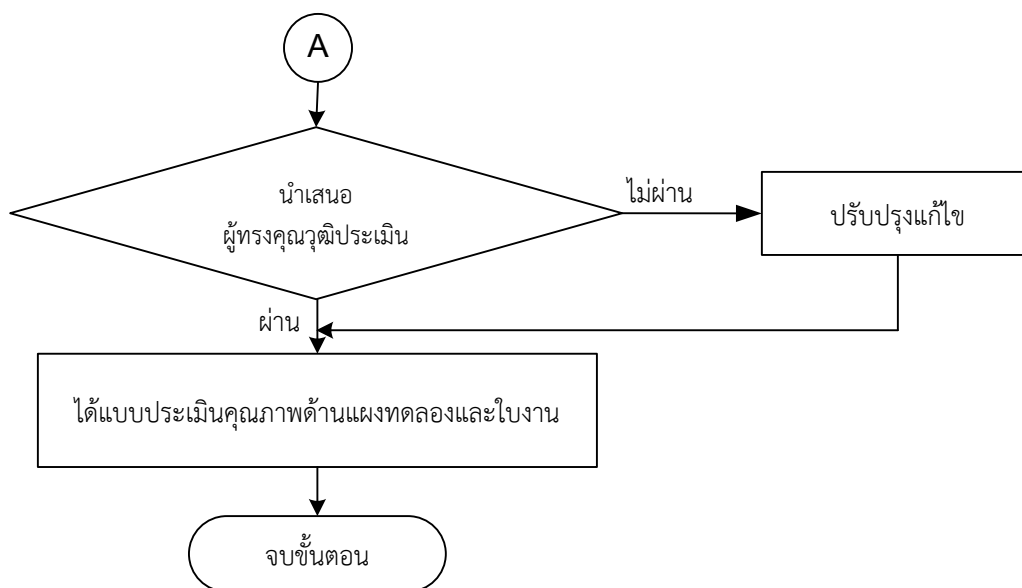
3.3.5 การสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและด้านแฟงทดลอง

การสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและด้านแฟงทดลองตาม ดังปรากฏในภาคผนวก ค โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการสร้างแบบประเมินคุณภาพ
 2. สร้างแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและด้านแฟงทดลองของชุดปฏิบัติการวิชา ออปแอมป์และลิเนียร์ โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ดังนี้
 - ระดับ 5 หมายถึง คุณภาพระดับดีมาก
 - ระดับ 4 หมายถึง คุณภาพดีระดับดี
 - ระดับ 3 หมายถึง คุณภาพระดับปานกลาง
 - ระดับ 2 หมายถึง คุณภาพระดับพอใช้
 - ระดับ 1 หมายถึง คุณภาพระดับควรปรับปรุง
 3. นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจสอบแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและด้านแฟงทดลองของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง
 4. นำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน ตรวจสอบแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและด้านแฟงทดลองของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์
- ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและแฟงทดลองปรากฏตามภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและแฟงทดลอง



ภาพที่ 3.3 (ต่อ)

3.3.6 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในเนื้อหาวิชา เรื่องวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน วงจรตั้งเวลา วงจรเฟสล็อกกลูป และวงจรประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม ใช้ข้อสอบแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ดังปรากฏในภาคผนวก ง โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

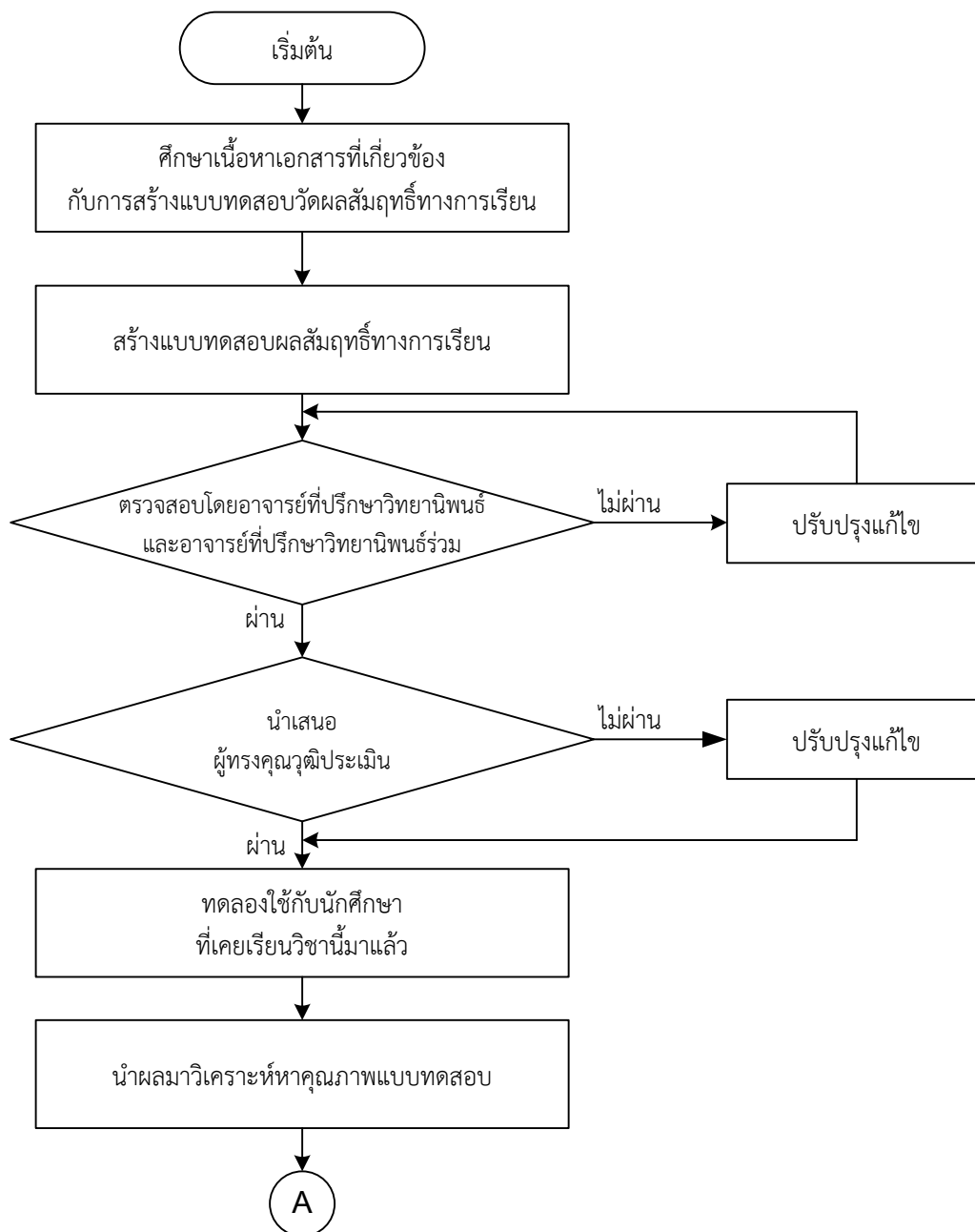
1. ศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
2. สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งแบบทดสอบมีคำตอบถูกเพียงคำตอบเดียว และคำตอบลวง 3 คำตอบ ให้ครอบคลุมจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมและเนื้อหา ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อ คือ ข้อที่ตอบถูกเป็น 1 และข้อที่ตอบผิด ไม่ตอบ หรือตอบมากกว่า 1 ข้อ ให้คะแนนเป็น 0
3. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบ และทำการปรับปรุงแก้ไข
4. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปหาคุณภาพด้าน ความเที่ยงตรงตามเนื้อหา โดยผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน
5. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปหาคุณภาพของแบบทดสอบ กับนักศึกษา ชั้นปีที่ 2 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยการอาชีพนครนายก จำนวน 15 คน ที่ไม่ใช่

กลุ่มเดียวกับกลุ่มประชากร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพของแบบทดสอบ ได้แก่ ค่าความยากง่าย อำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่น

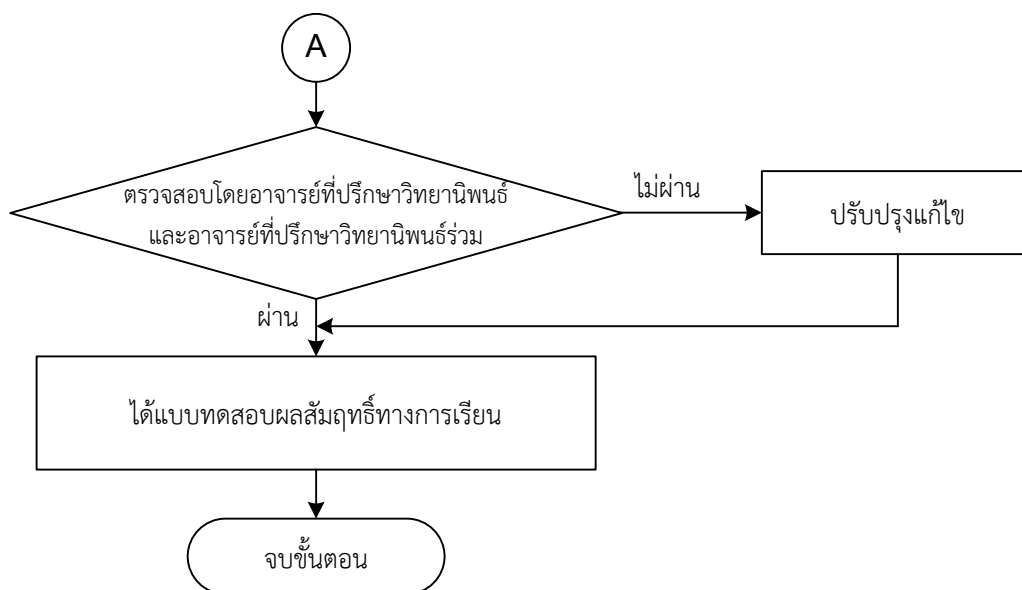
6. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบความถูกต้อง

7. ได้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สมบูรณ์พร้อมใช้ในการทดลอง

ซึ่งลำดับขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ปรากฏตามภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

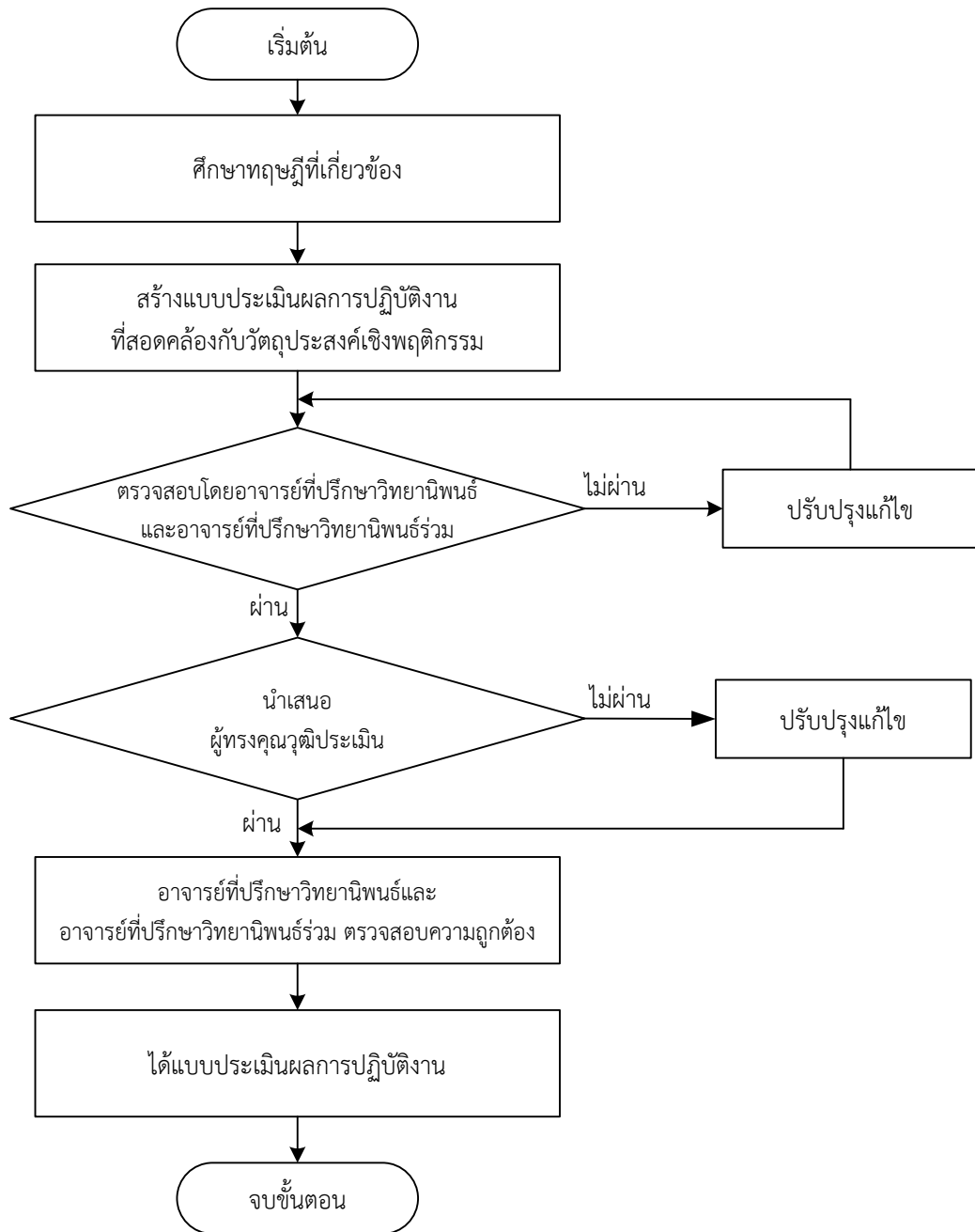


ภาพที่ 3.4 (ต่อ)

3.3.7 การสร้างแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

การสร้างแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน การทดลองของนักศึกษาขณะปฏิบัติการทดลองกับใบงาน ดังปรากฏในภาคผนวก จ มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหาวิธีการสร้างแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน จากเอกสาร ตำราที่เกี่ยวข้องให้สอดคล้องกับจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา ของวิชาออปแอมป์ และอิเล็กทรอนิกส์
 2. สร้างแบบประเมินผลการปฏิบัติงานที่สอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
 3. นำแบบประเมินผลการปฏิบัติงานเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบ และทำการแก้ไขข้อบกพร่องตามข้อเสนอแนะ
 4. นำแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน เสนอผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อทำการประเมินความเที่ยงตรงตามเนื้อหา และทำการแก้ไขข้อบกพร่องตามข้อเสนอแนะ
 5. เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้อง
 6. ได้แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ที่พร้อมจะนำไปใช้เพื่อทำการทดลองต่อไป
- ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินการปฏิบัติงาน ปรากฏตามภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินการปฏิบัติงาน

3.3.8 การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ

การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ดังปรากฏในภาคผนวก ข มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ
2. สร้างแบบประเมินความพึงพอใจ โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ความพึงพอใจระดับมากที่สุด

ระดับ 4 หมายถึง ความพึงพอใจดีระดับมาก

ระดับ 3 หมายถึง ความพึงพอใจระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง ความพึงพอใจระดับน้อย

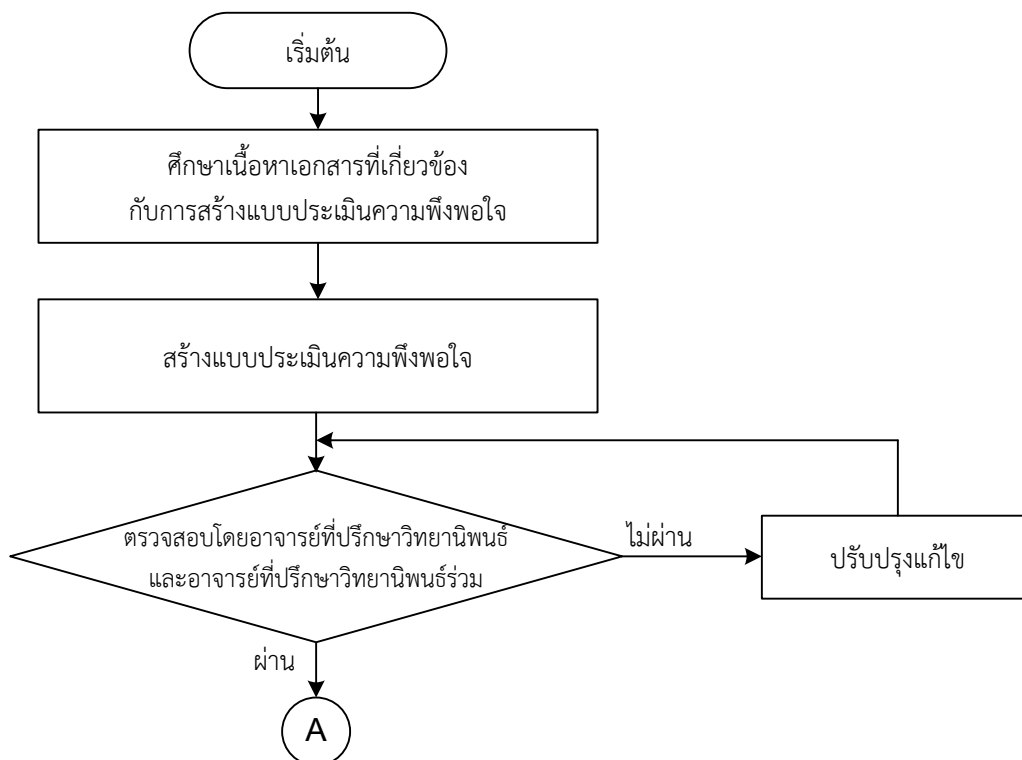
ระดับ 1 หมายถึง ความพึงพอใจระดับน้อยมาก

3. นำแบบประเมินความพึงพอใจ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจสอบ แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ

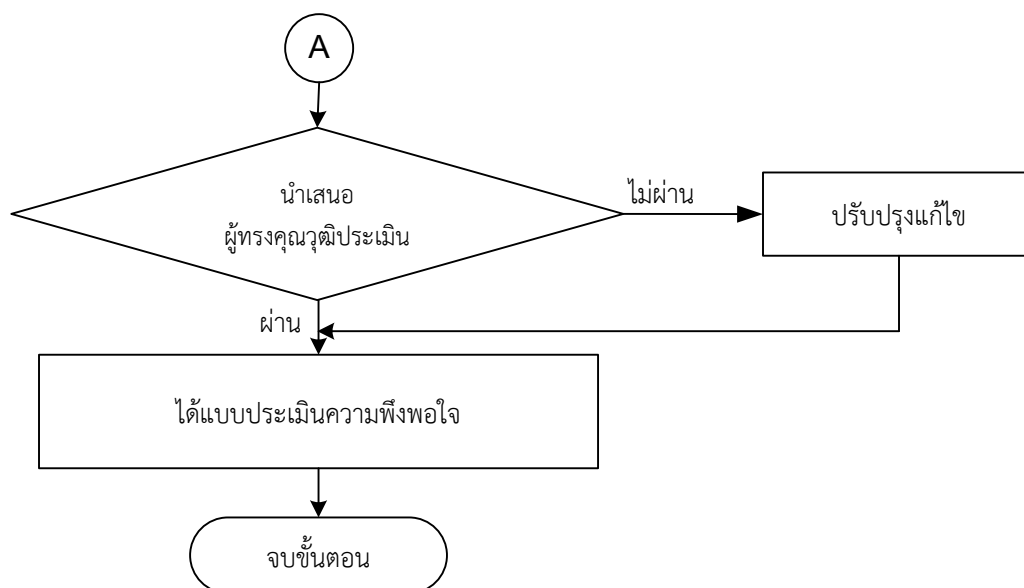
4. นำแบบประเมินความพึงพอใจ เสนอผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบและประเมินความเที่ยงตรงตามเนื้อหา แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

5. ได้แบบประเมินความพึงพอใจ สมบูรณ์พร้อมใช้ในการทดลอง

สำหรับ ลำดับขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ ปรากฏตามภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ



ภาพที่ 3.6 (ต่อ)

อนึ่งในขั้นตอนของการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจและประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชุดปฏิบัติการวิชา ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีด้านใบงานและด้านแผงทดลอง แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน และแบบประเมินความพึงพอใจ ดังรายนามต่อไปนี้

1. นายอนันต์ พิมพ์โต่ง รองผู้อำนวยการชำนาญการพิเศษ วิทยาลัยการอาชีพนครนายก
2. นายสัญญา โพธิ์วงษ์ ครูชำนาญการพิเศษ วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
3. นายไพโรจน์ สุขนิคม ครูชำนาญการ วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
4. นางสาวราภรณ์ ชื่นอารมณั วิศวกรฝ่ายขาย บริษัท เอสซีเอ็ม ปริเมียม จำกัด
5. นางชมมาพร คงมั่น ศึกษานิเทศน์ชำนาญการพิเศษ หัวหน้ากลุ่มงานส่งเสริม พัฒนาสื่อ

นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาชลบุรี เขต 3

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนการทดลองชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อหาคุณภาพ ประสิทธิภาพ และความพึงพอใจ มีลำดับ ขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.4.1 ยื่นคำร้องต่องานบริหารวิชาการและบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการออกหนังสือขอความ อนุเคราะห์เพื่อให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือเพื่องานวิจัย

3.4.2 ทดลองใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางเรียนกับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มประชากร แต่เคยเรียนเนื้อหาวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีมาแล้ว

3.4.3 นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์หาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.4.4 ให้นักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มประชากรแต่เคยเรียนเนื้อหาวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีมาแล้ว ทดลองใช้ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยผู้วิจัยชี้แจงให้นักศึกษาเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง การใช้งานของแผงทดลอง ขั้นตอนการทดลอง เกณฑ์การประเมินผล การปฏิบัติงาน ในการนี้นักศึกษาทดลองใบงานครั้งละ 1 ใบงาน แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียน จนครบ 5 ใบงาน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบสะสมระหว่างปฏิบัติงาน จากนั้นให้นักศึกษาทดลองใบงานที่ 6 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งานในภาพรวม แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบ หนึ่งในการหว่างการปฏิบัติทดลองผู้วิจัยสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษา และข้อบกพร่องต่าง ๆ แล้วนำมาปรับปรุงชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.4.5 แบ่งกลุ่มประชากร 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 และ 2 นักศึกษากลุ่มละ 3 คน และกลุ่มที่ 3 และ 4 นักศึกษา กลุ่มละ 2 คน

3.4.6 นัดหมายกลุ่มประชากร ในระหว่างเดือนมีนาคม 2562 ดังรายละเอียดปรากฏในภาคผนวก ฉ เพื่อใช้ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ชี้แจงให้นักศึกษาเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง การใช้งานของแผงทดลอง ขั้นตอนการทดลอง เกณฑ์การประเมินผล การปฏิบัติงาน โดยให้นักศึกษาทดลองใบงานครั้งละ 1 ใบงาน แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียน จนครบ 5 ใบงาน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบสะสมระหว่างการปฏิบัติงานคือคะแนนของกระบวนการ จากนั้นให้นักศึกษาทดลองใบงานที่ 6 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งานในภาพรวม แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบเป็นคะแนนของผลลัพธ์

3.4.7 ประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงานและด้านแผงทดลอง โดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ทำการวิเคราะห์เพื่อประมวลผลค่าทางสถิติ ด้วยการนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาแปลความหมาย ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง คุณภาพชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับดีมาก

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง คุณภาพชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับดี

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง คุณภาพชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง คุณภาพชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับพอใช้

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง คุณภาพชุดปฏิบัติการอยู่ในระดับควรปรับปรุง

สำหรับเกณฑ์ที่กำหนดของคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ที่ใช้ได้ต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับดี คือ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป

3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีโดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ทำการวิเคราะห์เพื่อประมวลผลค่าทางสถิติ ด้วยการนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาแปลความหมาย ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง ความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง ความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง ความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง ความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง ความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ในระดับน้อยมาก

สำหรับเกณฑ์ที่กำหนดของความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ที่ใช้ได้ต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับมากขึ้นไป คือ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป

3.5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) กับ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)

E_1 หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียน ร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 1-5 และการประเมินผลการปฏิบัติงาน ร้อยละ 60

E_2 หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 6 และการประเมินผลการปฏิบัติงาน ร้อยละ 60

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติดังต่อไปนี้

3.6.1 การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) ใช้สำหรับการหาค่าเฉลี่ย (ล้วน สายยศและอังคณา สายยศ. 2538 : 73)

สูตร

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

เมื่อ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยคะแนนความคิดเห็น

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

3.6.2 การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้สำหรับวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล (ล้วน สายยศและอังคณา สายยศ. 2549 : 79)

สูตร

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

เมื่อ S.D. คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความคิดเห็น

X คือ ค่าคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

N คือ จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ

3.6.3 การหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (พิชิต ฤทธิ์จรูญ. 2551 : 150)

สูตร

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (3.3)$$

เมื่อ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามระหว่างข้อคำถามแต่ละข้อกับจุดประสงค์การเรียนรู้

$\sum R$ คือ ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด
 N คือ จำนวนของผู้ทรงคุณวุฒิ

3.6.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติ $E_1 : E_2$ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2556:10)

$$E_1 = \frac{\sum X}{A} \times 100 \quad (3.4)$$

เมื่อ E_1 คือ ร้อยละของคะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนกับแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

$\sum X$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนกับแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

N คือ จำนวนนักศึกษาทั้งหมด

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนกับแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

$$E_2 = \frac{\sum F}{B} \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ E_2 คือ ร้อยละของคะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนกับแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

$\sum F$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนกับแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

N คือ จำนวนนักศึกษาทั้งหมด

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนกับแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวิชา ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีที่มีคุณภาพ หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ ไอซี และความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยทดลอง กับกลุ่มประชากร นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพนครนายก จำนวน 10 คน ผลการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถนำเสนอในรูปแบบของตาราง ประกอบการบรรยายโดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

1. การประเมินหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
2. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
3. การประเมินหาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ ไอซี

4.1 การประเมินหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

4.1.1 คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงาน

คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงาน ประเมินโดย ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินปรากฏดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงาน

รายการประเมิน	N = 5		ระดับ
	\bar{X}	S.D.	คุณภาพ
1. ความสอดคล้องของจุดประสงค์กับหัวข้อใบงาน	4.60	0.55	ดีมาก
2. ความสอดคล้องของเนื้อหากับการทดลอง	4.40	0.55	ดี
3. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างกราฟกับการทดลอง	4.40	0.55	ดี
4. ความเหมาะสมในการกำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจร	4.80	0.45	ดีมาก
5. ขั้นตอนการทดลองสอดคล้องตามจุดประสงค์	4.60	0.55	ดีมาก
6. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง	4.40	0.55	ดี
7. การบันทึกผลการทดลองสัมพันธ์กับขั้นตอนการทดลอง	4.40	0.55	ดี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการประเมิน	N = 5		ระดับ คุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
8. การช่วยกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดการคิดวิเคราะห์	4.40	0.55	ดี
9. การทดลองใช้เวลาได้ตามกำหนดเวลา	4.40	0.55	ดี
10. ความเหมาะสมกับระดับความรู้ของนักศึกษา	4.60	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.50	0.54	ดีมาก

จากตารางที่ 4.1 พบว่าคุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงานมีคุณภาพในภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.50$, S.D.= 0.54) ได้แก่ความเหมาะสมในการกำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจร ($\bar{X} = 4.80$, S.D.=0.45) ความสอดคล้องของจุดประสงค์กับหัวข้อใบงาน ขั้นตอนการทดลองสอดคล้องตามจุดประสงค์ และความเหมาะสมกับระดับความรู้ของนักศึกษา ($\bar{X} = 4.60$, S.D.=0.55) ระดับดี คือ ความสอดคล้องของเนื้อหากับการทดลอง การบันทึกผลการทดลองสัมพันธ์กับขั้นตอนการทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างกราฟกับการทดลอง ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง การช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการคิดวิเคราะห์ ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.55)

4.1.2 คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านแผนทดลอง

คุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านแผนทดลอง ประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินแสดงได้ดัง ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านแผนทดลอง

รายการประเมิน	N = 5		ระดับ คุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
1. ความสัมพันธ์ของแผนทดลองกับใบงาน	4.80	0.45	ดีมาก
2. ขนาด รูปร่าง ของแผนทดลองมีความเหมาะสมในการปฏิบัติ	4.40	0.55	ดี
3. แผนทดลองมีความแข็งแรง คงทน	4.60	0.55	ดีมาก
4. วัสดุที่นำมาใช้มีความเหมาะสม	4.40	0.55	ดี
5. น้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้ในการทดลองได้สะดวก	4.40	0.55	ดี
6. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งอุปกรณ์	4.60	0.55	ดีมาก
7. แผนทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	4.00	0.00	ดี
8. ความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ	4.40	0.55	ดี

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

รายการประเมิน	N = 5		ระดับ คุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
9. ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา	4.60	0.55	ดีมาก
10. ความสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง	4.60	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.48	0.48	ดี

จากตารางที่ 4.2 พบว่าคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านผังทดลองในภาพรวมจัดอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.48) ได้แก่ ความสัมพันธ์ของผังทดลองกับใบงาน ($\bar{X} = 4.80$, S.D.=0.45) ผังทดลองมีความแข็งแรง คงทน ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งอุปกรณ์, ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา ความสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง ($\bar{X} = 4.60$, S.D.=0.55) ระดับดี คือ ขนาด รูปร่าง ของผังทดลองมีความเหมาะสมในการปฏิบัติ วัสดุที่นำมาใช้มีความเหมาะสม น้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้ในการทดลองได้สะดวกและความปลอดภัยในขณะฝึกปฏิบัติ ($\bar{X} = 4.40$, S.D.=0.55) ผังทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้ ($\bar{X} = 4.00$, S.D.= 0.00)

4.2 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) กับ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) โดยวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลการปฏิบัติงานของนักศึกษาที่เรียนจากชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีในการนี้ E_1 คือ ผลการทดลองระหว่างเรียน ได้จากค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 ใบงานที่ 1-5 และ E_2 คือ ผลการทดลองหลังเรียน ได้จากค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 ใบงานที่ 6

ผลการทดลองระหว่างเรียน และ ผลการทดลองหลังเรียน ของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 จำนวน 10 คน ที่เรียนจากชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ปรากฏดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระหว่างเรียนและผลการทดลองหลังเรียน

นักศึกษา คนที่	ผลการทดลองระหว่างเรียน		ผลการทดลองหลังเรียน	
	คะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียนและคะแนนประเมินผลการปฏิบัติงาน คะแนนเต็ม 125 คะแนน		คะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน และคะแนนประเมินผลการปฏิบัติงาน คะแนนเต็ม 125 คะแนน	
	คะแนนที่ได้	ร้อยละ	คะแนนที่ได้	ร้อยละ
1	102	81.60	100	80.00
2	100	80.00	100	80.00
3	103	82.40	103	82.40
4	101	80.80	101	80.80
5	103	82.40	102	81.60
6	100	80.00	100	80.00
7	102	81.60	100	80.00
8	104	83.20	103	82.40
9	106	84.80	102	81.60
10	105	84.00	104	83.20
ค่าเฉลี่ย	102.60	82.08	101.50	81.20

จากตารางที่ 4.3 พบว่านักศึกษา 10 คน ผลการทดลองระหว่างเรียน คะแนนเฉลี่ย 102.60 คะแนน หรือ 82.08 และผลการทดลองหลังเรียน คะแนนเฉลี่ย 101.50 คะแนน ร้อยละ 83.20 คะแนนเฉลี่ยต่ำสุด 100 คะแนน หรือ 81.20

จากผลการทดลองระหว่างเรียนและผลการทดลองหลังเรียน นำมาสรุปผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ปรากฏดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

ผลการทดลอง	จำนวน นักศึกษา	คะแนนเต็ม		ร้อยละ (ประสิทธิภาพ)
		คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	
ระหว่างเรียน (E_1)	10	125	102.60	82.08
หลังเรียน (E_2)	10	125	101.50	81.20

จากตารางที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี มีประสิทธิภาพของกระบวนการเท่ากับ 82.08 และประสิทธิภาพของผลลัพธ์เท่ากับ 81.20 แสดงว่าชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี มีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.08/81.20 สอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนด คือ 80/80

4.3 การประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

การประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ทดสอบโดยนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 จำนวน 10 คน ดำเนินการหลังจากที่นักศึกษาได้ปฏิบัติทดลองเสร็จสิ้นทุกใบงาน ปรากฏดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

ความพึงพอใจ	N = 10		ระดับ
	\bar{X}	S.D.	คุณภาพ
1. ด้านการออกแบบชุดฝึกปฏิบัติเหมาะสมสวยงาม	4.70	0.48	มากที่สุด
2. ด้านวัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมง่ายต่อการปฏิบัติทดลอง	4.70	0.48	มากที่สุด
3. ด้านการวางตำแหน่งพินต่อวงจรในแผงทดลอง สะดวกและง่ายต่อการทดลอง	4.50	0.53	มากที่สุด
4. ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน	4.80	0.42	มากที่สุด
5. ด้านความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ	4.70	0.48	มากที่สุด
6. ด้านแรงจูงใจทำให้เกิดความสนใจในการเรียน	4.50	0.53	มากที่สุด
7. ด้านคุณค่าและความคุ้มค่า	4.70	0.48	มากที่สุด
8. ภาพรวมในการเรียนรู้ด้วยฝึกปฏิบัติ	4.60	0.52	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.65	0.49	มากที่สุด

จากตารางที่ 4.5 พบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดในทุกด้าน ($\bar{X} = 4.65$, S.D. = 0.49) ดังนี้ ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน ($\bar{X} = 4.80$, S.D.=0.42) การออกแบบชุดฝึกปฏิบัติเหมาะสมสวยงาม วัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมง่ายต่อการปฏิบัติทดลอง ความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ คุณค่าและความคุ้มค่า ($\bar{X} = 4.70$, S.D.=0.48) การวางตำแหน่งพินต่อวงจรในแผงทดลอง สะดวกและง่ายต่อการทดลอง และแรงจูงใจทำให้เกิดความสนใจในการเรียน ($\bar{X} = 4.50$, S.D.=0.53)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวิชา ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีที่มีคุณภาพ หาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ ไอซี และประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ ไอซี โดยสามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง พุทธศักราช 2557 มีคุณภาพ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
3. เพื่อหาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

5.1.2 สมมติฐานของการวิจัย

1. ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 มีคุณภาพในระดับดี ($\bar{X} \geq 3.50$)ขึ้นไป
2. ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตร วิชาชั้นสูง พุทธศักราช 2557 หรือ E_1/E_2 ไม่ต่ำกว่า 80/80
3. ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี พุทธศักราช 2557 จัดอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} \geq 3.50$)ขึ้นไป

5.1.3 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพนครนายก จำนวน 10 คน

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ประกอบด้วย ใบบาน แผงทดลอง และคู่มือ ใช้งาน

2. ใบงาน จำนวน 6 ใบงาน โดยใบงานที่ 1-5 ใช้สำหรับทดลองระหว่างเรียน และใบงานที่ 6 ใช้สำหรับทดลองหลังเรียน

3. แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี เป็นแบบประเมินคุณภาพด้านใบงานและด้านแผงทดลอง

4. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 50 ข้อ

5. แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

6. แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนการทดลองใช้ชุดปฏิบัติการออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อหาคุณภาพและประสิทธิภาพ ของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี และความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยมีลำดับขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังนี้

1. ยื่นคำร้องต่องานบริหารวิชาการและบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการออกหนังสือขอความอนุเคราะห์เพื่อให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือเพื่องานวิจัย

2. ทดลองใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางเรียนกับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มประชากร แต่เคยเรียนเนื้อหาวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีมาแล้ว

3. นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์หาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4. ให้นักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มประชากรแต่เคยเรียนเนื้อหาวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีมาแล้ว ทดลองใช้ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยผู้วิจัยชี้แจงให้นักศึกษาเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง การใช้งานของแผงทดลอง ขั้นตอนการทดลอง เกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติงาน ในการนี้นักศึกษาทดลองใบงานครั้งละ 1 ใบงาน แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียน จนครบ 5 ใบงาน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบสะสมระหว่างปฏิบัติงาน จากนั้นให้นักศึกษาทดลองใบงานที่ 6 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งานในภาพรวม แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบ อนึ่งในระหว่างการศึกษาทดลองผู้วิจัยสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาและข้อบกพร่องต่าง ๆ แล้วนำมาปรับปรุงชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5. แบ่งกลุ่มประชากร 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 และ 2 นักศึกษากลุ่มละ 3 คน และกลุ่มที่ 3 และ 4 นักศึกษา กลุ่มละ 2 คน

6. นัดหมายกลุ่มประชากร ในระหว่างเดือนมีนาคม 2562 ดังรายละเอียดปรากฏในภาคผนวก ฉ เพื่อใช้ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ชี้แจงให้นักศึกษาเข้าใจ

วัตถุประสงค์ของการทดลอง การใช้งานของแผงทดลอง ขั้นตอนการทดลอง เกณฑ์การประเมินผล การปฏิบัติงาน โดยให้นักศึกษาทดลองใบงานครึ่งละ 1 ใบงาน แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียน จนครบ 5 ใบงาน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบสะสม ระหว่างการปฏิบัติงานคือคะแนนของกระบวนการ จากนั้นให้นักศึกษาทดลองใบงานที่ 6 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งานในภาพรวม แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เก็บคะแนนผลการปฏิบัติงานและแบบทดสอบเป็นคะแนนของผลลัพธ์

7. ประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

1. คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงานและด้านแผงทดลอง ซึ่งประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน จัดอยู่ในระดับดี ($\bar{X} \geq 3.50$) ขึ้นไป

2. ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ทดสอบโดยกลุ่มประชากร จำนวน 10 คน โดยใช้เกณฑ์ประสิทธิภาพ 80/80 ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) กับ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)

E_1 หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียนร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 1-5 และการประเมินผลการปฏิบัติงานร้อยละ 60

E_2 หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 6 และการประเมินผลการปฏิบัติงานร้อยละ 60

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ประเมินโดยกลุ่มประชากร จำนวน 10 คน จัดอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} \geq 3.50$) ขึ้นไป

5.1.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าวสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านใบงาน มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.50$, S.D. = 0.54) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด

2. คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ด้านแผงทดลอง มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.48) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด

3. ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หรือ E_1/E_2 มีค่าเท่ากับ 82.08/81.20 สอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนด คือ 80/80

4. ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี จัดอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.65$, (S.D.) = 0.49) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 การสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลจากคำอธิบายรายวิชาในรายวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 กับ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าหลักสูตรในปีพุทธศักราช 2546 มีเนื้อหาเพิ่มเติมจากหลักสูตรเดิม และในงานวิจัยที่ผ่านมา มีเนื้อหาไม่ครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชา นอกจากนี้ครุภัณฑ์ชุดปฏิบัติการที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีที่สถานศึกษาได้รับจัดสรรมาแต่เนื้อหาไม่ครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชา ในการออกแบบแผงทดลองผู้วิจัยได้ออกแบบให้นักศึกษา ได้ประกอบวงจรลงแผง Project Board เพื่อสอดคล้องกับจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา ที่ให้นักศึกษา ได้มีทักษะในเรื่องการสร้างวงจร การวัด และการทดสอบ วงจรใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี พร้อมทั้งให้มีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแสดงผล Display 7 Segments สำหรับใช้ในใบงานรวม ไว้ในแผงวงจรพิมพ์เดียวกัน สามารถปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ได้สะดวก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการดำเนินการ ภายใต้การดูแลจากอาจารย์ที่ปรึกษาและมีการนำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินและนำมาแก้ไขอย่างเป็นขั้นตอน

5.2.2 คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยผู้ทรงคุณวุฒิ คุณภาพด้านใบงาน มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.50$, S.D. = 0.54) เนื่องจากกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมของใบงานได้ชัดเจนและครอบคลุมและสอดคล้องกับจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา ทำให้การออกแบบวงจรและกำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรเหมาะสมดำเนินการได้ดีและครบถ้วน โดยผู้วิจัยทดลองประกอบวงจรทุกใบงานและปรับปรุงค่าอุปกรณ์ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับทฤษฎี นักศึกษาปฏิบัติทดลองแล้วสามารถนำความรู้ไปเชื่อมโยงกับวิชาอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กันได้ และนอกจากนี้ใบงานที่ 4 เรื่องเฟสล็อกkup และใบงานที่ 5 เรื่องวงจรประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม มีคลิปวิดีโอการประยุกต์ใช้งานจริง ให้นักศึกษาได้เรียนรู้และเข้าถึงข้อมูลได้โดยผ่าน QR Code ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกราช นิลรัตน์ (2552 : บทคัดย่อ) เรื่อง ชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นเกี่ยวกับชุดปฏิบัติการวงจรรองความถี่แบบแอกทีฟ คุณภาพของใบงานอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.60$, S.D. = 0.52)

5.2.3 คุณภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยผู้ทรงคุณวุฒิ คุณภาพด้านแพ่งทดลอง มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.48) เนื่องจากในการสร้างแพ่งทดลองได้รวบรวมความต้องการของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของแต่ละใบงาน แล้วจึงกำหนดรายอุปกรณ์และหน้าที่ของอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนประกอบใดให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงความสอดคล้องของจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมและเชื่อมโยงกับใบงาน ความแข็งแรง ทนทาน ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา ความปลอดภัยในระหว่างปฏิบัติงาน นักศึกษาใช้งานง่ายและสะดวก ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภัทรดำนันท์ อินทร์นุช (2560 : 53-58) เรื่องการพัฒนาชุดทดลอง เรื่องอุปกรณ์ไทรสเตอร์ วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร ในการผลิตสื่อชุดทดลอง อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.30$, S.D. = 0.62)

5.2.4 ประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 โดยกลุ่มประชากรจำนวน 10 คน พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) คิดเป็นร้อยละ 82.08 ได้จากค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียน ร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 1-5 และการประเมินผลการปฏิบัติงาน ร้อยละ 60 และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) คิดเป็นร้อยละ 81.20 ได้จากค่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของกลุ่มประชากร จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนร้อยละ 40 กับ ใบงานที่ 6 และการประเมินผลการปฏิบัติงานร้อยละ 60 ดังนั้น ประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี เท่ากับ 82.08/81.20 ตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด จะเห็นว่านักศึกษามีคะแนนของผลลัพธ์ต่ำกว่าคะแนนของกระบวนการ เนื่องจากใบงานที่ 6 ซึ่งเป็นใบงานประยุกต์ใช้งาน เป็นการนำวงจร 3 วงจร ที่ได้จากใบงานที่ 1 เรื่องวงจรแปลงแรงเป็นความถี่, ใบงานที่ 3 เรื่องวงจรตั้งเวลา และใบงานที่ 5 เรื่องวงจรประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม นำทั้ง 3 วงจรมาเชื่อมต่อกันและปรับค่าแรงดันอินพุตด้วยอุปกรณ์แอลดีอาร์ ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนค่าความต้านทานตามแสง นักศึกษาใช้เวลาในการทดลองค่อนข้างนานเกินเวลาที่กำหนด เนื่องจากมีวงจรจำนวนมากขึ้น วงจรซับซ้อนมากขึ้น ทำให้นักศึกษาไม่ค่อยมั่นใจในการเชื่อมโยงวงจรแต่ละวงจรให้ทำงานต่อเนื่อง และใช้เวลาการวัดและทดสอบนาน รวมถึงการวิเคราะห์การทำงานของวงจรแต่ละวงจรให้เชื่อมโยงกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภัทรดำนันท์ อินทร์นุช (2560 : 53-58) เรื่อง การพัฒนาชุดทดลอง เรื่องอุปกรณ์ไทรสเตอร์ วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร มีประสิทธิภาพ 81.83/80.17 ตามเกณฑ์ 80/80

5.2.5 ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี โดยกลุ่มประชากรจำนวน 10 คน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.65$, S.D. = 0.49) เนื่องจากนักศึกษาชอบและตื่นตัวกับการทดลองมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และค่าอุปกรณ์เพื่อพิสูจน์การทำงานของวงจรได้ มีคลิปวิดีโอให้ศึกษาเพิ่มเติม มีความปลอดภัยในขณะปฏิบัติงาน ใบงานแพ่งทดลอง และคู่มือใช้งาน มีการอธิบายได้ชัดเจน ใช้งานง่าย นักศึกษาสามารถอธิบายการใช้งาน

ของชุดปฏิบัติการให้เพื่อนนักศึกษาในกลุ่มเข้าใจและปฏิบัติทดลองได้ถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ไกรลาศ ดอนชัย (2561 : 23 - 31) เรื่อง การพัฒนาชุดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาสมรรถนะวิชาชีพตามมาตรฐานฝีมือแรงงาน สาขาช่างเขียนแบบเครื่องกลด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD) ผู้เข้าฝึกอบรมมีความพึงพอใจต่อการฝึกอบรมโดยใช้ฝึกอบรมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.52$, S.D. = 0.59)

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยชุดปฏิบัติการวิชาออกแบบและลิเนียร์ไอซี ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ควรเรียงลำดับใบงานที่ 1 – 5 ให้สอดคล้องกับใบงานที่ 6 เพื่อให้นักศึกษาไม่สับสนและใช้เวลาทดลองได้เร็วขึ้น โดยปรับลำดับเนื้อหาใบงาน คือ วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน วงจรเฟสล็อกกลุ่มวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ วงจรตั้งเวลา วงจรประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม
2. ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของวงจรด้วยอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ ควรเพิ่มอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ อื่น ๆ ในส่วนขั้นตอนการทดลองหรือคำถามท้ายการทดลอง เช่น ในใบงานที่ 3 ควรเพิ่มอุปกรณ์เทอร์มิสเตอร์ในการปรับค่าความถี่ให้กับวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

พัฒนาชุดปฏิบัติการให้มีเนื้อหาเชื่อมโยงกับวิชาอื่นที่สัมพันธ์กัน เช่น วิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

บรรณานุกรม

- ก้องภพ ชามามาตย์. 2550. “การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพชุดทดลองออปแอมป์และ
ลิเนียร์ไอซี เรื่อง การออกแบบวงจรรองความถี่.” คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไกรลาส ดอนชัย. 2561. “การพัฒนาชุดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาสมรรถนะ วิชาชีพตามมาตรฐาน
ฝีมือแรงงาน สาขาช่างเขียนแบบเครื่องกลด้วย คอมพิวเตอร์ (CAD).”
วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 17(2) : 23-31.
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2556. “การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน.”
วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย. 5(1) : 7-19.
- พัชรินทร์ สุวรรณบุตร. 2554. “การพัฒนาชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ตามหลักสูตร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546.” คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิชิต ฤทธิจรรย์. 2551. **หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ :
เฮาส์ ออฟ เคอร์มีส์.
- ภัทรदानันท์ อินทร์นุช. 2560. “การพัฒนาชุดทดลอง เรื่องอุปกรณ์ไทรสเตอร์ วิชาอุปกรณ์
อิเล็กทรอนิกส์และวงจร.” วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 16(3) : 53-58.
- มนตรี ศิริปรัชญานนท์ และธนุศักดิ์ อรุณไพโร. 2558. **ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี**. กรุงเทพฯ :
วี.พี.รินท์ (1991) จำกัด.
- รัตนชาติ ดงอินันท์. 2554. “การพัฒนาชุดทดลองการต่อวงจรออปแอมป์ สำหรับนักศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง.” คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2539. **เทคนิควิจัยทางการศึกษา**. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543. **สื่อการเรียนการสอน Instructional Media**. กรุงเทพฯ :
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศราวุธ ไหลหาโคตร. 2552. “ชุดฝึกปฏิบัติวงจรขยาย วิชาการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์.”
คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร.
คุรุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- สุภาชิต จิตรไทย. 2556. “การพัฒนาและศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดทดลองออปแอมป์.”
 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี,
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุริยัน บุพศิริ. 2549. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์การสอน วิชา ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.”
 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ.
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. 2557. **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
 พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ :
 แผนกวิชาการพิมพ์วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี.
- เอกราช นิลรัตน์. 2552. “ชุดปฏิบัติการวงจรความถี่แบบแอกทีฟ หลักสูตรประกาศนียบัตร
 วิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.”
 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร.
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อนันต์ คัมภีรานนท์. 2542. **ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1.** ปทุมธานี : สกายบุ๊กส์.
- National Semiconductor. 1999. LM565/LM565C Phase Locked Loop. [Online].
 Available:
<https://web.sonoma.edu/users/m/marivani/datasheets/misc/LM565CN.pdf>.
- Texas Instruments. 2015. LMx31x Precision Voltage-to-Frequency Converters. [Online].
 Available : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm331.pdf>.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก	หนังสือราชการ
ภาคผนวก ข	ใบงานประกอบชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
ภาคผนวก ค	แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
ภาคผนวก ง	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ภาคผนวก จ	แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
ภาคผนวก ฉ	แบบสรุปประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์
ภาคผนวก ช	แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์ และลิเนียร์ไอซี
ภาคผนวก ซ	คู่มือใช้งานชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์

ภาคผนวก ก

หนังสืองานราชการ



ที่ ศธ 0524.04/ 0290

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงาน

เรียน นายอนันต์ พิมพ์โต่ง

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและใบงาน

ด้วยนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดฝึกปฏิบัติวิชาแอมป์และสี่เนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557” โดยมี รศ.ดร.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวาราสวัสดิ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงานนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

Siriratt

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ

โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 329-8436

ติดต่อนักศึกษา โทร. 087-610-7556



ที่ ศธ 0524.04/ 0290

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงาน

เรียน นายสัญญา โพธิ์วงษ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและใบงาน

ด้วยนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดฝึกปฏิบัติวิชาแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557” โดยมี รศ.ดร.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวาราสวัสดิ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงานนี้ว่า มีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

Smrroh

(ดร.ราตรี ศิริพันธ์)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ

โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 329-8436

ติดต่อนักศึกษา โทร. 087-610-7556



ที่ ศธ 0524.04/ 0230

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงาน

เรียน นายไพโรจน์ สุขนิคม

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและใบงาน

ด้วยนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดฝึกปฏิบัติวิชาแอมป์และลีเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557” โดยมี รศ.ดร.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงานนี้ว่า มีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.รัตรี ศิริพันธ์)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ

โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 329-8436

ติดต่อนักศึกษา โทร. 087-610-7556



ที่ ศธ 0524.04/ 0290

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงาน

เรียน นางสาววารภรณ์ ชื่นอารมณ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและใบงาน

ด้วยนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดฝึกปฏิบัติวิชาแอมป์และสี่เนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557” โดยมี รศ.ดร.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงานนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

Smr ah

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ

โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 329-8436

ติดต่อนักศึกษา โทร. 087-610-7556



ที่ ศธ 0524.04/ 0290

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2562

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงาน

เรียน ดร.ชมาพร คงมัน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและใบงาน

ด้วยนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดฝึกปฏิบัติวิชาแอมป์และลีเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557” โดยมี รศ.ดร.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินและใบงานนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนางพัชรินทร์ วิสัยโรจน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

Simm Ahu

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)

รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ

โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 329-8436

ติดต่อนักศึกษา โทร. 087-610-7556

วิทยาลัยการอาชีพนครนายก
 เลขที่รับ 0429
 วันที่ 1 มี.ค. 2562
 เวลา.....น.



ที่ ศธ ๐๕๒๔.๐๔/๐๕๑๑

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
 ทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๑๐๕๒๐

๑๘ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๒

เรื่อง ขอบขออนุญาตให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยการอาชีพนครนายก

ด้วยนางพัชรินทร์ วิลัยโรจน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ชุดฝึกปฏิบัติวิชาแอมป์และลิเนียร์ไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557” โดยมี รศ.ดร.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านให้ นางพัชรินทร์ วิลัยโรจน์ ทดลองใช้แบบสอบถาม แบบทดสอบ และชุดฝึกปฏิบัติ กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขางานอิเล็กทรอนิกส์ ภายในสถานศึกษาของท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เรียน มอ.เพื่อโปรด

๑. ทราบ

๒. แจ้ง

รອງฯ ฝ่ายบริหารทรัพยากร

รອງฯ ฝ่ายวิชาการ

รອງฯ ฝ่ายพัฒนากิจการนักเรียนนักศึกษา

รອງฯ ฝ่ายแผนงานและความร่วมมือ

๓. มอบ.....

ขอแสดงความนับถือ

Sunee Ahn
 (ดร.ราตรี ศิริพันธ์)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
 ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ 1 มี.ค. 2562
 โทร. ๐๒-๓๒๙-๘๐๐๐ ต่อ ๓๖๙๒
 โทรสาร. ๐๒-๓๒๙-๘๔๓๖
 ติดต่อนักศึกษา โทร.๐๘๗-๖๑๐-๗๕๕๖

-ท.พ
 -มอบแผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ทดลอง
 ๑ มี.ค. ๖๒

- ท.พ/อ.พ
 - มอบ ร.๒๐ ฝ่ายบริหาร
 ๐๗/๐๓/๖๒
 ๑ มี.ค. ๖๒

ภาคผนวก ข

ใบงานประกอบชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

ใบงานที่ 1 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อให้ นักศึกษาสามารถ

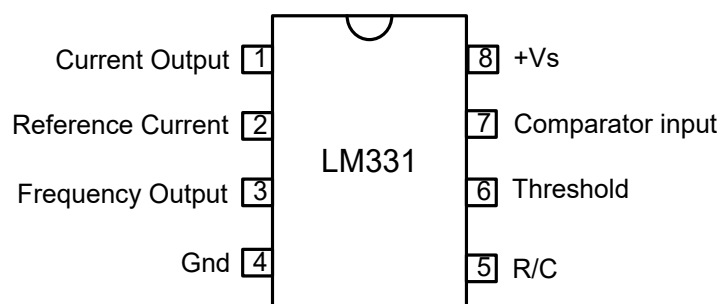
1. ประกอบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันด้วยไอซี LM331 ได้
2. ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุตได้
3. ปรับปรุงวงจรให้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นแรงดันมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นได้
4. บันทึกค่าแรงดันที่ได้จากการทดลองและการคำนวณได้
5. คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้
6. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้
7. เลือกใช้อุปกรณ์ในการต่อวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้ตามความเหมาะสม

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---------------------------------------------|-----------|
| 1. ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี | 1 ชุด |
| 2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 1 เครื่อง |

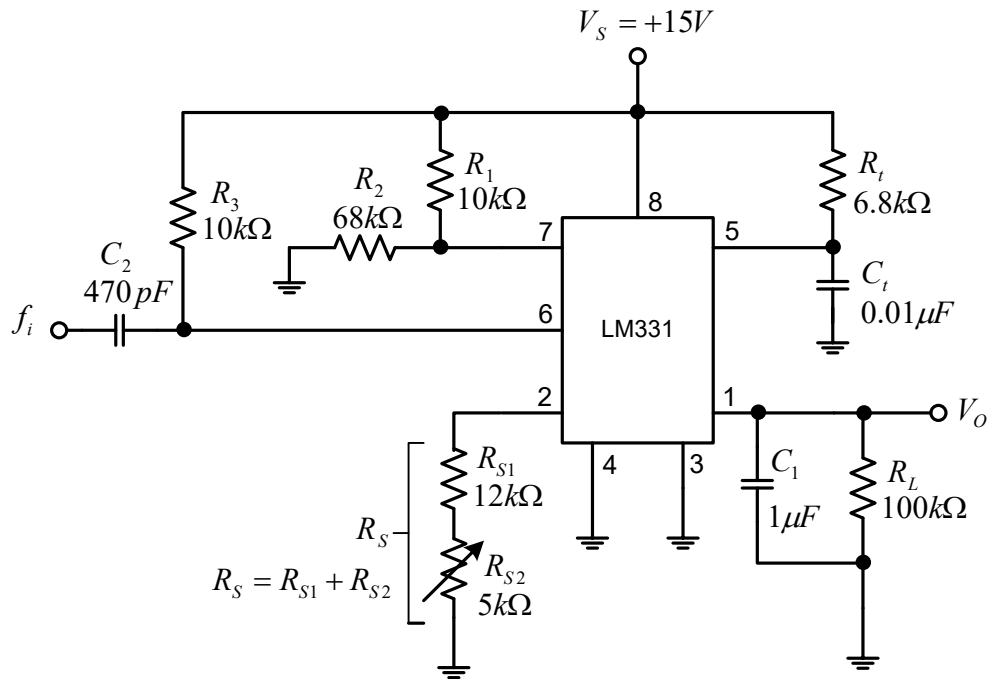
เนื้อหาทฤษฎี

วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน มีลักษณะวงจรและไอซีได้หลายเบอร์ ใบงานนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ LM331 ซึ่งเป็นไอซีรวมมีตำแหน่งการจัดวางขาของไอซี ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ตำแหน่งขาของไอซี LM331

วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน (Frequency to Voltage Converter : FVC) สัญญาณเอาต์พุตในรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) คลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัส (Square Wave) โดยแอมพลิจูดของสัญญาณจะเปลี่ยนตามความถี่ของสัญญาณอินพุต วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันนำมาใช้งานในการส่งข้อมูลที่จะต้องส่งในระยะไกล ในใบงานนี้จะมีการแปลงความถี่ ตั้งแต่ 1 kHz ถึง 10 kHz เป็นแรงดัน 1 V ถึง 10 V ลักษณะของวงจร ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน โดยใช้ไอซี LM331

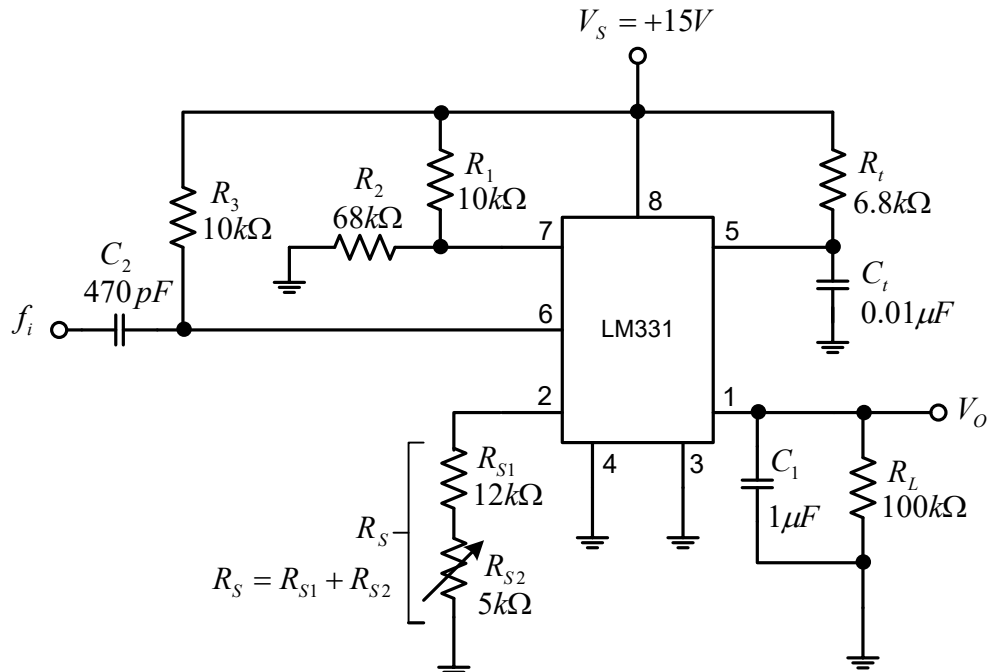
วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน โดยใช้ไอซี LM331 เป็นวงจรที่แปลงความถี่ของสัญญาณอินพุตให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นอยู่กับค่า R_t , C_t ที่ต่อในวงจรดังภาพที่ 1.2 ความถี่อินพุตที่กำหนดให้กับตัวแปลงสัญญาณนี้สามารถอยู่ในช่วง 1 kHz ถึง 10 kHz และเอาต์พุตอยู่ระหว่าง 1V ถึง 10V ความถี่ของสัญญาณอินพุต (f_i) จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันเอาต์พุต (V_o) และสามารถหาค่า V_o ได้จาก

$$V_o = f_i \times \frac{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t}{R_S}$$

ในส่วนค่า R_S ทำหน้าที่ปรับอัตราส่วนของวงจรให้ความถี่ของสัญญาณอินพุตอยู่ในช่วง 1kHz – 10kHz และแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง 1V – 10V จะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนที่ถูกต้อง หรือจะใช้ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ ที่มีค่าความผิดพลาดก็ได้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

2. ใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณอินพุต (f_i) รูปคลื่น Square Wave ความถี่ 1 kHz ขนาด $4 V_{p-p}$ ที่ตำแหน่ง f_i
3. ใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุต (V_o) ที่ตำแหน่ง V_o จากนั้นให้ปรับตัวต้านทาน R_{S2} ให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุต $V_o = 1 V$
4. ปลดตัวต้านทาน R_{S2} ออกจากวงจร จากนั้นใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน และคำนวณหาค่าความต้านทานรวมของ R_S ($R_S = R_{S1} + R_{S2}$)
 $R_{S2} = \dots\dots\dots 1.22 k\Omega \dots\dots\dots$, $R_S = \dots\dots\dots 13.22 k\Omega \dots\dots\dots$
5. เปลี่ยนความถี่จาก 1 kHz เป็น 10 kHz
6. ใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุต (V_o) ที่ตำแหน่ง V_o จากนั้นให้ปรับตัวต้านทาน R_{S2} ให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุต $V_o = 10 V$
7. ปลดตัวต้านทาน R_{S2} ออกจากวงจร จากนั้นใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน และคำนวณหาค่าความต้านทานรวมของ R_S ($R_S = R_{S1} + R_{S2}$)
 $R_{S2} = \dots\dots\dots 1.22 k\Omega \dots\dots\dots$, $R_S = \dots\dots\dots 13.22 k\Omega \dots\dots\dots$
8. กำหนดให้ขนาดของสัญญาณอินพุต (f_i) $4 V_{p-p}$ และปรับความถี่ตามตารางที่ 1.1 ใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุต ที่ตำแหน่ง V_o บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1.1

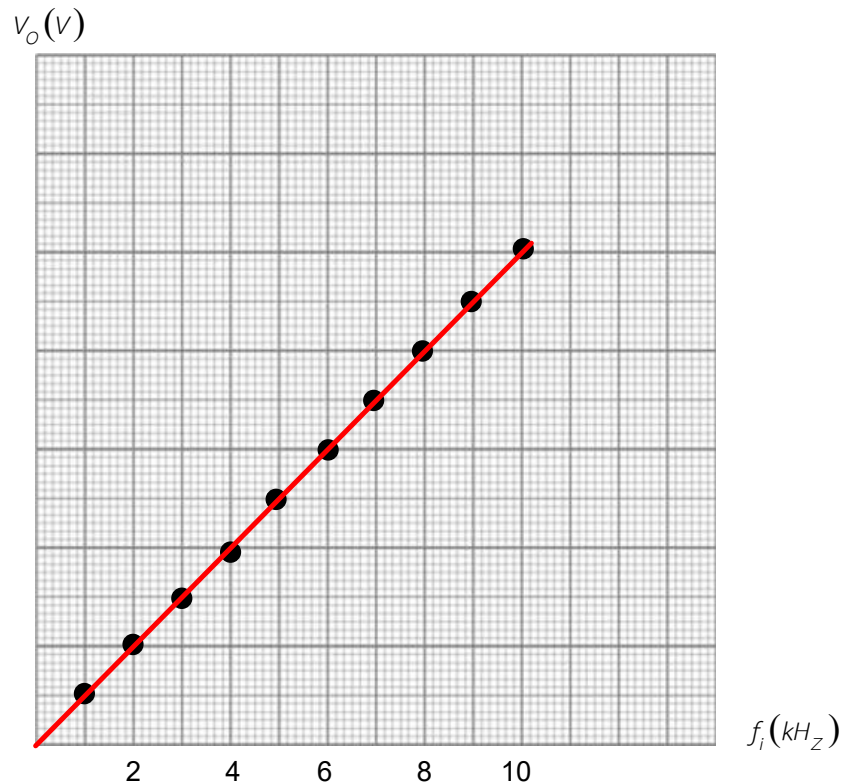
9. คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุต (V_o) ดังสมการด้านล่างและบันทึกผลลงในตารางที่ 1.1 โดยใช้ R_s ที่ได้จากการคำนวณ คือ $14.12 \text{ k}\Omega$

$$V_o = f_i \times \frac{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t}{R_s}$$

ตารางที่ 1.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

f_i (kHz)	V_o (V) จากการทดลอง	V_o (V) จากการคำนวณ
0	0 V	0 V
1	1 V	1 V
2	2.02 V	2 V
3	2.99 V	3 V
4	4 V	4 V
5	4.99 V	5 V
6	5.98 V	6 V
7	6.96 V	7 V
8	7.99 V	8 V
9	8.99 V	9 V
10	10 V	10 V

10. วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่อินพุต f_i กับค่าแรงดันเอาต์พุต V_o ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณ จากตารางที่ 1.1



11. เปรียบเทียบค่าแรงดันเอาต์พุต V_o ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณ

ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองและมีค่าใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตที่จากจากการคำนวณ
ค่าที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากจากปรับตัวต้านทาน และเกิดจาก
ความผิดพลาดจากตัวอุปกรณ์อื่นด้วย.....

12. จงออกแบบคำนวณหาค่าความต้านทาน R_S ให้ใช้ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ 1 ตัว โดยให้ค่า
 $f_{i(\min)} 1 \text{ kHz} = V_{O(\min)} 1 \text{ V}$ และ $f_{i(\max)} 10 \text{ kHz} = V_{O(\max)} 10 \text{ V}$ และเขียนวงจรที่ได้ออกแบบใหม่

ใช้สูตร

$$R_S = \frac{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t}{V_o} \times f_i$$

ออกแบบกรณีที่ $f_{i(\min)} 1 \text{ kHz} = V_{O(\min)} 1 \text{ V}$

$$R_S = \frac{2.09 \times 100\text{k}\Omega \times 6.8\text{k}\Omega \times 0.01\mu\text{F}}{1\text{V}} \times 1\text{kHz}$$

$$R_S = 14.212\text{k}\Omega$$

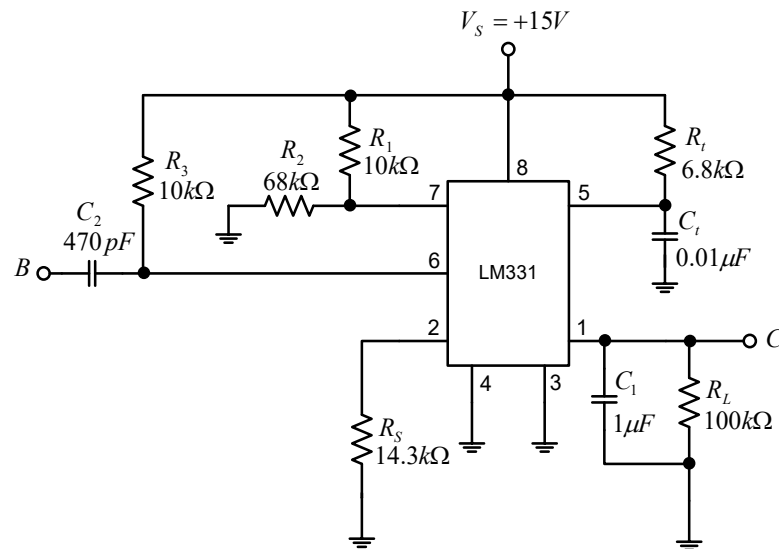
หรือออกแบบที่ $f_{i(\max)} 10 \text{ kHz} = V_{O(\max)} 10 \text{ V}$

$$R_S = \frac{2.09 \times 100\text{k}\Omega \times 6.8\text{k}\Omega \times 0.01\mu\text{F}}{10\text{V}} \times 10\text{kHz}$$

$$R_S = 14.212\text{k}\Omega$$

ดังนั้นจึงเลือก $R_S = 14.3 \text{ k}\Omega$

13. เปลี่ยนตัวต้านทาน R_S ที่ได้จากการออกแบบในข้อ 12 มาต่อแทนตัวต้านทาน R_S เดิม ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ f_i กับ แรงดันเอาต์พุต V_O ที่ความถี่ค่า 1 kHz ถึง 10 kHz เปรียบเทียบ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการต่อตัวต้านทาน R_S ทั้งสองแบบ



จากการใช้ค่า R_S โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ใน การปรับอัตราส่วนของความถี่ ที่ 1V กับ ความถี่ 1 kHz หรือ 10V กับ ความถี่ 10 kHz เปรียบเทียบกับการใช้ค่า R_S เป็นตัวต้านทานแบบ ค่าคงที่เพียงตัวเดียว เมื่อทำการป้อนความถี่อินพุตที่ความถี่ต่าง ๆ เป็นผลให้แรงดันเอาต์พุต เปลี่ยนแปลงตามความถี่อินพุต และมีค่าแรงดันเอาต์พุตใกล้เคียงกันทั้งแบบที่ใช้ตัวต้านทาน R_S แบบเดิมกับแบบใช้ R_S เป็นตัวต้านทานแบบค่าคงที่เพียงตัวเดียว.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายขั้นตอนการปรับปรุงวงจรให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นแรงดันมีความสัมพันธ์ เป็นเชิงเส้น

ป้อนสัญญาณอินพุต (f_i) รูปคลื่น Square Wave ความถี่ 1 kHz ขนาด 4 V_{p-p} ใช้ดีจิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดแรงดันเอาต์พุต (V_O) ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 1 V จากนั้น เปลี่ยนความถี่จาก 1 kHz เป็น 10 kHz และค่อย ๆ ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งได้แรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 10 V.....

2. จงอธิบายผลของค่า f_i , C_t , R_S , R_t และ R_L มีผลต่อค่าแรงดันเอาต์พุตอย่างไร

ค่า f_i , C_t , R_t , R_L แปรผันตรงกับค่าแรงดันเอาต์พุต (V_O) หมายถึง เมื่อค่าของ f_i , C_t , R_t , R_L เพิ่มขึ้น ค่าของแรงดันเอาต์พุตก็เพิ่มขึ้น และถ้าค่าของ f_i , C_t , R_t , R_L ลดลง ค่าของแรงดันเอาต์พุต ก็จะลดลง ในส่วนค่า R_S จะแปรผกผันกับค่าแรงดันเอาต์พุต นั่นคือ เมื่อค่า R_S เพิ่มขึ้น ค่าของแรงดันเอาต์พุตก็จะลดลง และ ถ้าค่า R_S ลดลง ค่าของแรงดันเอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้น.....

3. วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันนำไปใช้งานด้านใดได้บ้าง

.....เครื่องวัดความถี่.....ควบคุมความเร็วมอเตอร์.....เครื่องวัดความเร็วรอบ.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 2

วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อให้ นักศึกษาสามารถ

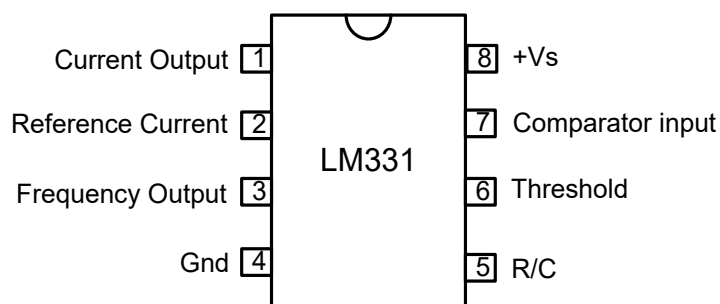
1. ประกอบวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ด้วยไอซี LM331 ได้
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าความถี่เอาต์พุตได้
3. ปรับปรุงวงจรให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นความถี่ที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นได้
4. บันทึกค่าความถี่ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณได้
5. คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร
6. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ได้แปลงแรงดันเป็นความถี่ได้
7. อธิบายการประยุกต์ใช้งานของวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---------------------------------------------|-----------|
| 1. ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี | 1 ชุด |
| 2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. ไดรฟ์เป่าลมร้อน | 1 อัน |

เนื้อหาทฤษฎี

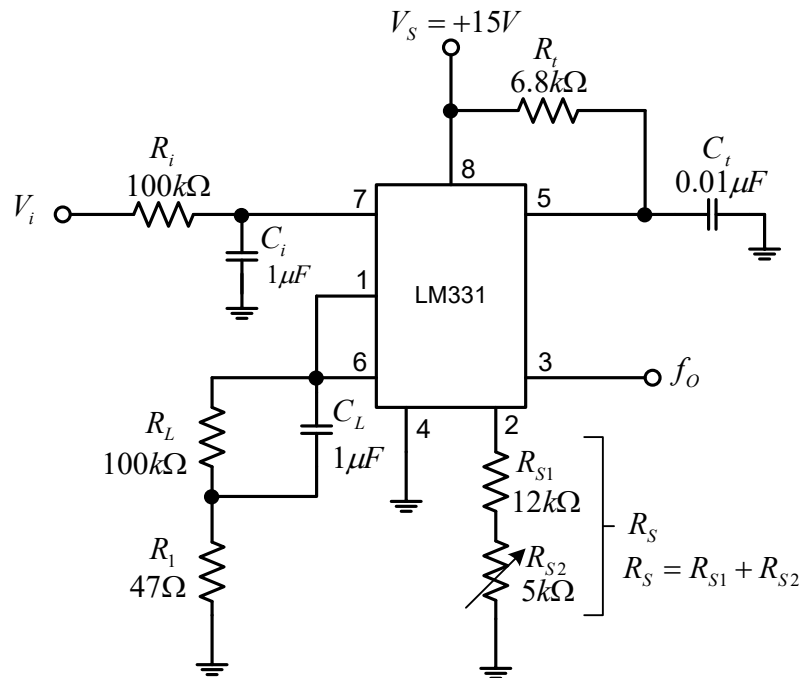
วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ (Voltage to Frequency Converter : VFC) มีลักษณะวงจรและไอซีได้หลายเบอร์ ใบงานนี้เลือกใช้ไอซี เบอร์ LM331 ซึ่งเป็นไอซีรวมมีตำแหน่งการจัดวางขาของไอซี ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งขาของไอซี LM331

วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ เป็นออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้า ใช้งานกับวงจรที่มีความถี่ต่ำ ที่ผลิตสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นคลื่นไซน์ คลื่นสามเหลี่ยม คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งความถี่มักถูกเปลี่ยนเป็นจำนวนพัลส์ที่สร้างขึ้นต่อหน่วยเวลา และมีการนำมาใช้งานด้านสื่อสาร หรือบางครั้ง

อาจเรียกว่าวงจรถ่ายความถี่ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator : VCO) ลักษณะของวงจรถ่าย ภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ โดยใช้ไอซี LM331

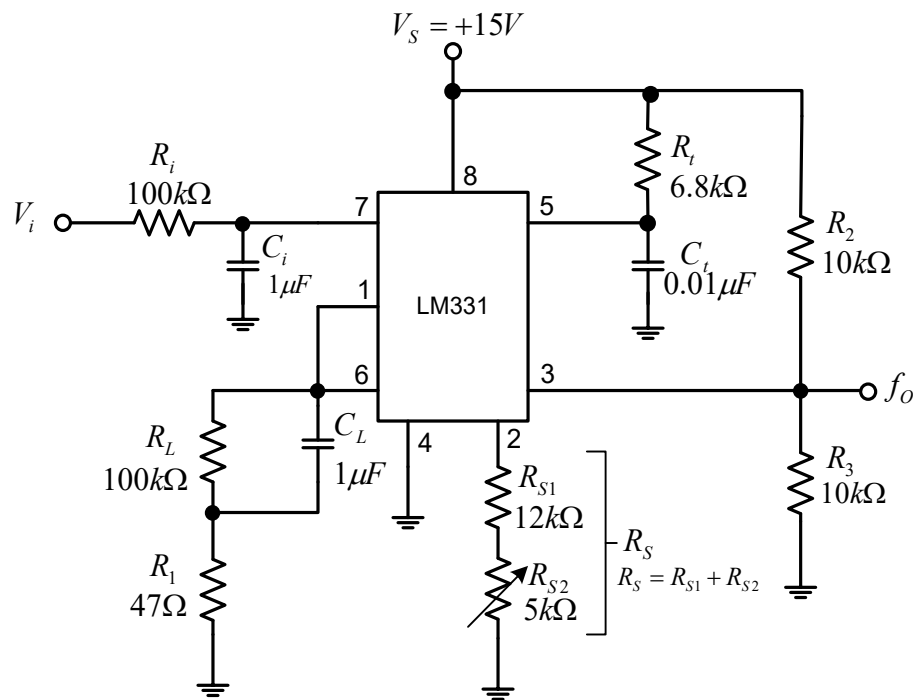
วงจรถ่ายแรงดันเป็นความถี่ โดยใช้ไอซี LM331 ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นความถี่ ความถี่ขึ้นอยู่กับค่า R_t , C_t ที่ต่อในวงจรถ่ายภาพที่ 2.2 ขา 8 ป้อนไฟ 15VDC เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตเป็นศูนย์ทำให้ความถี่เอาต์พุตจะเป็นศูนย์ และสามารถคำนวณหาความถี่เอาต์พุตได้ดังนี้

$$f_o = V_i \times \frac{R_s}{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t}$$

ในส่วนค่า R_s ทำหน้าที่ปรับอัตราส่วนของวงจรถ่ายให้แรงดันอินพุตอยู่ในช่วง 1V – 10V และความถี่เอาต์พุตอยู่ในช่วง 1kHz – 10kHz จะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนที่ถูกต้อง หรือจะใช้ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ ที่มีค่าความผิดพลาดก็ได้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

2. ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ ป้อนแรงดันอินพุต (V_i) ที่ตำแหน่ง V_i จากนั้นปรับค่าแรงดันไฟฟ้า = 1 V

3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุต ที่ตำแหน่ง f_o จากนั้นปรับตัวต้านทาน R_{S2} ให้ได้ความถี่เอาต์พุต (f_o) = 1 kHz

4. ปลดตัวต้านทาน R_{S2} ออกจากวงจร จากนั้นใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน และคำนวณหาค่าความต้านทานรวมของ R_S ($R_S = R_{S1} + R_{S2}$)

$$R_{S2} = \dots\dots\dots 1.17 \text{ k}\Omega \dots\dots\dots, \quad R_S = \dots\dots\dots 13.17 \text{ k}\Omega \dots\dots\dots$$

5. เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 1 V เป็น 10 V

6. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุต ที่ตำแหน่ง f_o จากนั้นปรับตัวต้านทาน R_{S2} ให้ได้ความถี่เอาต์พุต (f_o) = 10 kHz

7. ปลดตัวต้านทาน R_{S2} ออกจากวงจร จากนั้นใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน และคำนวณหาค่าความต้านทานรวมของ R_S ($R_S = R_{S1} + R_{S2}$)

$$R_{S2} = \dots\dots\dots 1.17 \text{ k}\Omega \dots\dots\dots, \quad R_S = \dots\dots\dots 13.17 \text{ k}\Omega \dots\dots\dots$$

8. ปรับค่าแรงดันอินพุตตามตารางที่ 2.1 ใช้ข้อซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุต ที่ตำแหน่ง f_o บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 2.1

9. คำนวณค่าความถี่เอาต์พุต (f_o) ดังสมการด้านล่างและบันทึกผลลงในตารางที่ 2.1 โดยใช้ R_s ที่ได้จากการคำนวณ คือ $14.12 \text{ k}\Omega$

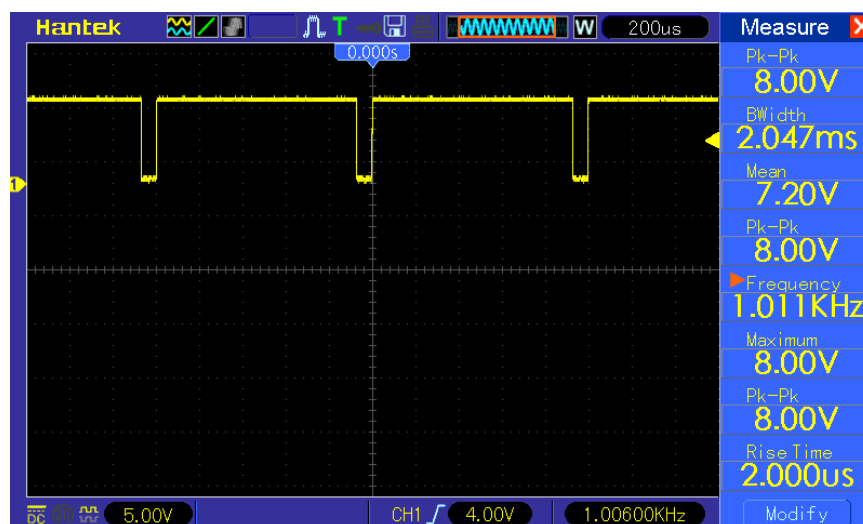
$$f_o = V_i \times \frac{R_s}{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t}$$

ตารางที่ 2.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

V_i (V)	f_o (kHz) จากการทดลอง	f_o (kHz) จากการคำนวณ
0	0 kHz	0 kHz
1	1 kHz	1 kHz
2	2.02 kHz	2 kHz
3	2.98 kHz	3 kHz
4	4 kHz	4 kHz
5	5 kHz	5 kHz
6	6.02 kHz	6 kHz
7	7.04 kHz	7 kHz
8	8.06 kHz	8 kHz
9	9.09 kHz	9 kHz
10	10 kHz	10 kHz

10. ใช้ข้อซิลโลสโคปวัดค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ตำแหน่ง f_o เมื่อป้อน $V_i = 1 \text{ V}$ และ 10 V และวาดรูปสัญญาณเอาต์พุต

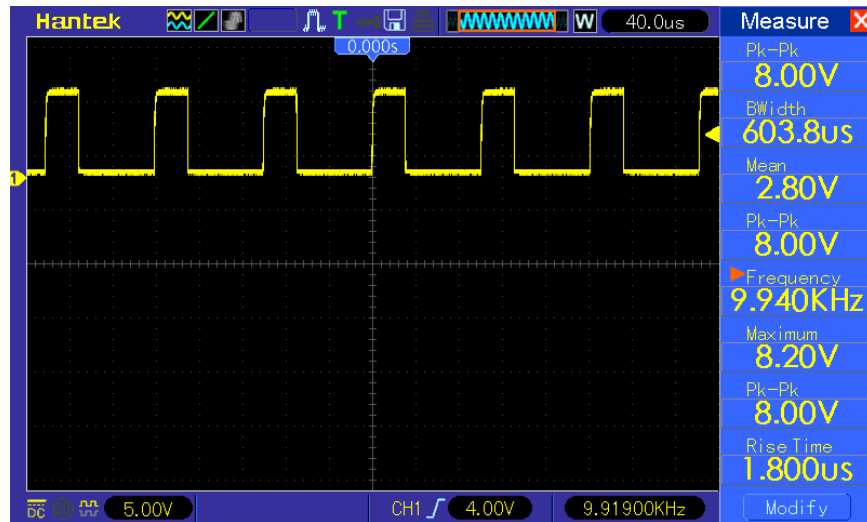
สัญญาณเอาต์ ที่ $V_i = 1 \text{ V}$



VOLT/DIV = 5 V

TIME/DIV = 200 μ s

สัญญาณเอาต์ ที่ $V_i = 10$ V

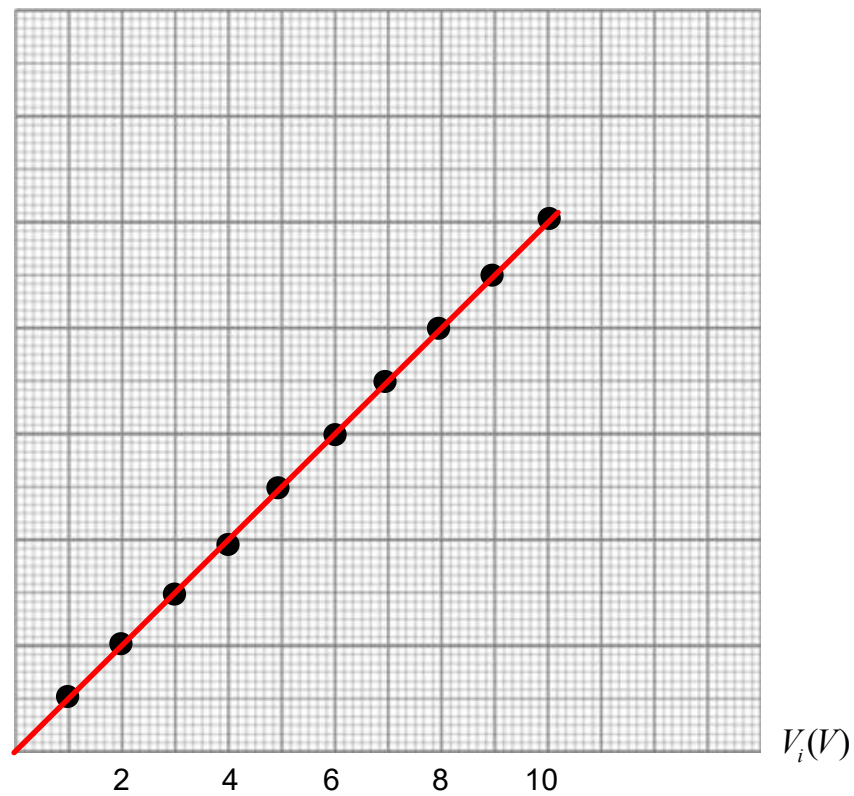


VOLT/DIV = 5 V

TIME/DIV = 40 μ s

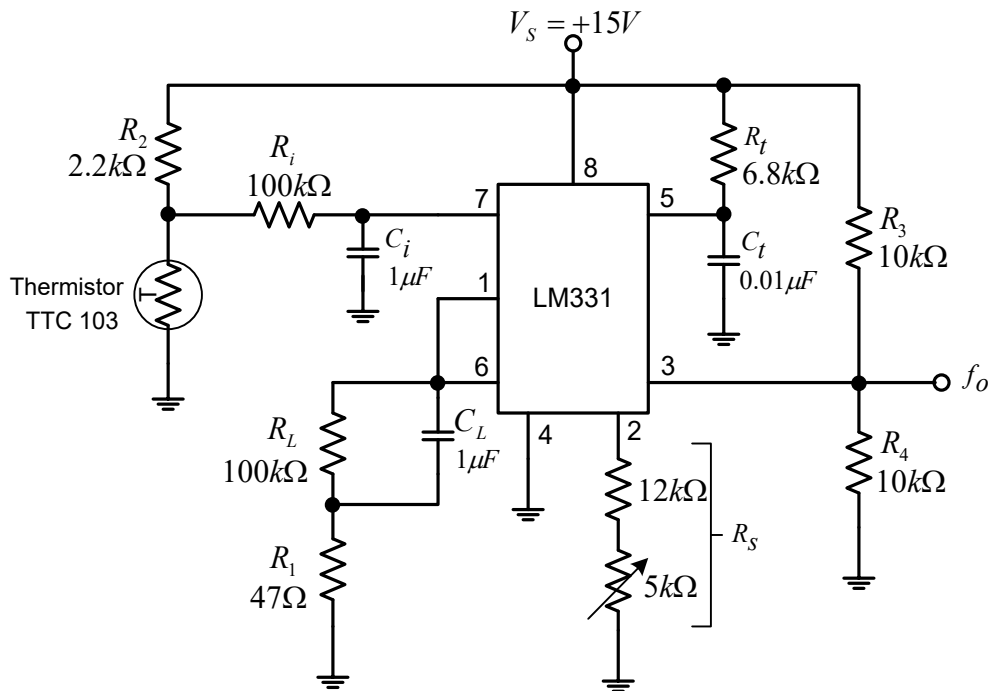
11. วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันอินพุต V_i กับความถี่เอาต์พุต f_o ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณ

f_o (kHz)



12. เปรียบเทียบค่าความถี่เอาต์พุตที่ f_o ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณ
ค่าความถี่เอาต์พุตที่ได้จากการทดลองและมีค่าใกล้เคียงกับค่าความถี่เอาต์พุตที่จากทฤษฎี
 คำนวณ....ค่าที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากจากปรั้นตัวตัวต้านทาน
 และเกิดจากความผิดพลาดจากตัวอุปกรณ์อื่น...ๆ ด้วย.....

13. ประกอบวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทอร์มิสเตอร์ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทอร์มิสเตอร์

14. ทดลองเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นโดยใช้ไดร์เป่าลมร้อนให้กับตัวเทอร์มิสเตอร์ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความถี่เอาต์พุต (f_o) เมื่อตัวเทอร์มิสเตอร์ได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ความถี่เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างไร

เมื่อให้ความร้อนด้วยไดร์เป่าลมร้อนที่บริเวณใกล้ๆ ตัวเทอร์มิสเตอร์ ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลงเป็นผลให้แรงดันที่ตกคร่อมเทอร์มิสเตอร์ก็ลดลงด้วย แรงดันที่ป้อนให้กับวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ก็ลดลง เป็นผลให้ความถี่เอาต์พุต f_o มีค่าลดลง ในวงจรประยุกต์ใช้งานนี้ อุณหภูมิที่เทอร์มิสเตอร์ได้รับจะเป็นตัวควบคุมความถี่เอาต์พุต.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายขั้นตอนการปรับปรุงวงจรให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นความถี่ที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น

ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ (V_i) ปรับค่าแรงดันไว้ที่ 1 V. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดความถี่เอาต์พุต (f_o) ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งได้ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 1 kHz. จากนั้นเปลี่ยนแรงดันจาก 1 V เป็น 10 V และค่อย ๆ ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งได้ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 10 kHz.....

2. จงอธิบายผลของค่า V_i , C_t , R_s , R_t และ R_L มีผลต่อค่าความถี่เอาต์พุตอย่างไร

ค่า V_i และ R_s แปรผันตรงกับค่าความถี่เอาต์พุต (f_o) คือ เมื่อ V_i และ R_s เพิ่มขึ้น ค่าของความถี่เอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้น และ ถ้าค่า V_i และ R_s ลดลง ค่าของความถี่เอาต์พุตก็จะลดลง ในส่วน C_t , R_L , R_t แปรผกผันกับค่าความถี่เอาต์พุต (f_o) คือ C_t , R_L , R_t เพิ่มขึ้น ค่าของความถี่เอาต์พุตก็ลดลง และถ้าค่าของ C_t , R_L , R_t ลดลง ค่าของความถี่เอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้น.....

3. จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ให้กับตัวเทอร์มิสเตอร์ กับความถี่เอาต์พุต

เมื่อให้ความร้อนด้วยหัวแร้งที่บริเวณใกล้ ๆ ตัวเทอร์มิสเตอร์ ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลงเป็นผลให้แรงดันที่ตกคร่อมเทอร์มิสเตอร์ก็ลดลงด้วย แรงดันที่ป้อนให้กับวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ก็ลดลง เป็นผลให้ความถี่เอาต์พุต f_o มีค่าลดลง ในวงจรประยุกต์ใช้งานนี้ อุณหภูมิที่เทอร์มิสเตอร์ได้รับจะเป็นตัวควบคุมความถี่เอาต์พุต.....

4. วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันนำไปใช้งานด้านใดได้บ้าง

แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 3 วงจรตั้งเวลา

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อให้ นักศึกษาสามารถ

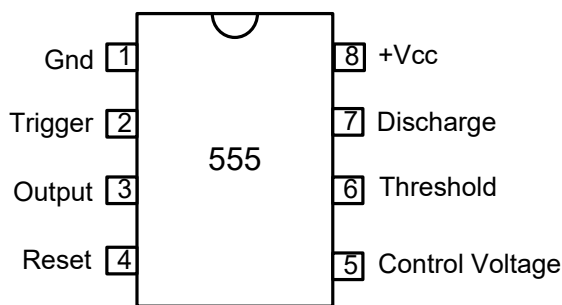
1. ประกอบวงจรอะอสเตเบิลิลิตี้ไวรเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ได้
2. ประกอบวงจรโมนอสเตเบิลิลิตี้ไวรเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ได้
3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันเอาต์พุตได้
4. บันทึกค่าเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองและการคำนวณได้
5. อธิบายการทำงานของวงจรอะอสเตเบิลิลิตี้ไวรเบรเตอร์ได้
6. อธิบายการทำงานของวงจรโมนอสเตเบิลิลิตี้ไวรเบรเตอร์ได้
7. อธิบายการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของวงจรอะอสเตเบิลิลิตี้ไวรเบรเตอร์ได้
8. อธิบายการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของวงจรโมนอสเตเบิลิลิตี้ไวรเบรเตอร์ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---------------------------------------------|-----------|
| 1. ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี | 1 ชุด |
| 2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |

เนื้อหาทฤษฎี

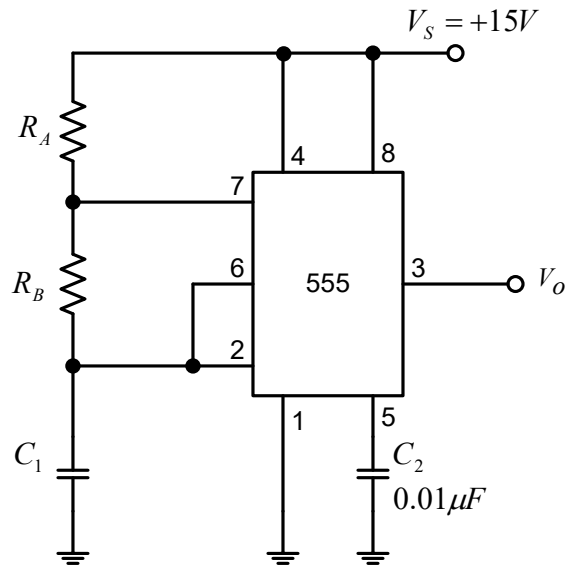
ไอซีเบอร์ 555 เป็นไอซีที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะสามารถใช้งานง่าย ราคาถูก มีเสถียรภาพที่ดี การนำไปใช้งานในการสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Wave) สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Wave) สัญญาณลาดเอียง (Ramp) และวงจรตั้งเวลา (Timer Electronics) ไอซีเบอร์ 555 มีตำแหน่งการจัดวางขาของไอซี ดังภาพที่ 3.1



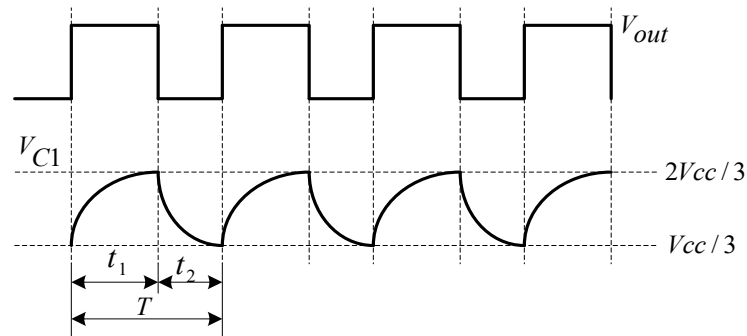
ภาพที่ 3.1 ตำแหน่งขาของไอซี 555

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ในภาพที่ 3.2 เป็นวงจรสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม เกิดจากการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุ C_1 ทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555



ภาพที่ 3.3 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 และ V_{C1} ที่ 2 และ ขา 6

เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 เก็บประจุ จะเกิดสัญญาณที่เวลา t_1

$$t_1 = 0.693(R_A + R_B) \cdot C_1$$

เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 คายประจุ จะเกิดสัญญาณที่เวลา t_2

$$t_2 = 0.693 \cdot R_B \cdot C_1$$

ค่าระยะคาบเวลา (Period) ของสัญญาณ 1 ไชเคิล จะได้

$$T = t_1 + t_2$$

$$T = 0.693(R_A + 2R_B) \cdot C_1$$

ความถี่ (Frequency) หรืออัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ หาได้จากสมการ

$$f_o = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) \cdot C_1}$$

ค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่สัญญาณเอาต์พุตของไอซีเป็น t_1 ต่อช่วงระยะเวลา 1 คาบ เรียกว่า ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) นิยมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

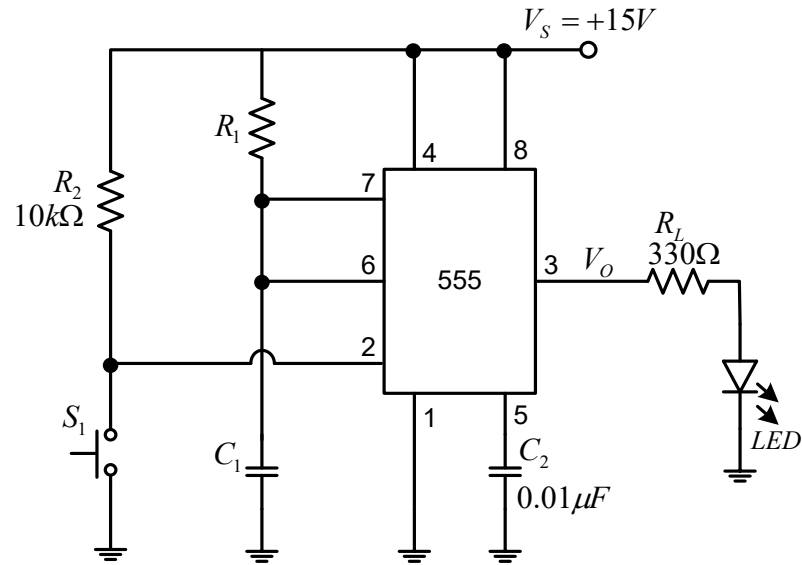
$$Duty \quad cycle = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \times 100$$

$$Duty \quad cycle = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \times 100$$

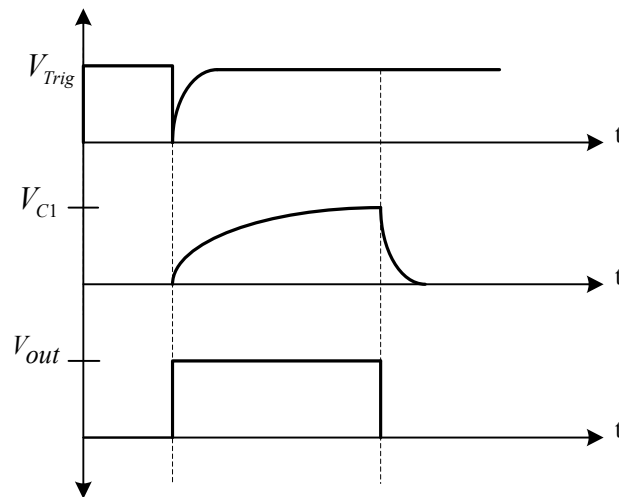
หรือ

วงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555

วงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์คือ วงจรที่ทำการสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) 1 ลูกหลังจากมีการกระตุ้นที่ขาทริก ความกว้างของพัลส์สามารถปรับค่าได้ที่ R_1 และ C_1 ดังวงจรในภาพที่ 3.4 และแสดงกราฟแสดงสภาวะการทำงานของวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์



ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงสภาวะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

คำนวณหาค่าช่วงเวลา T คำนวณได้จากสมการสะสมประจุของ C_1 ตั้งแต่ $2V_{cc}/3$ สมการเก็บประจุ C_1 ตั้งแต่ 0 ถึง $2V_{cc}/3$

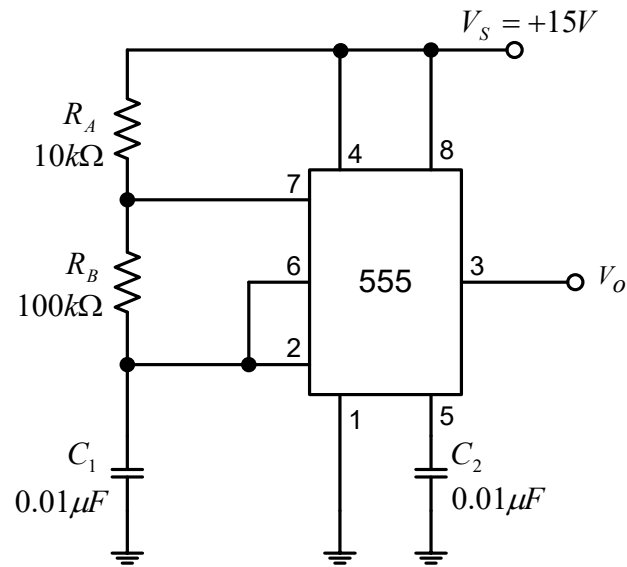
$$t = 1.1 \cdot R_1 \cdot C_1$$

ดังนั้นค่าช่วงเวลามีค่าเท่ากับ

$$T = 1.1 \cdot R_1 \cdot C_1$$

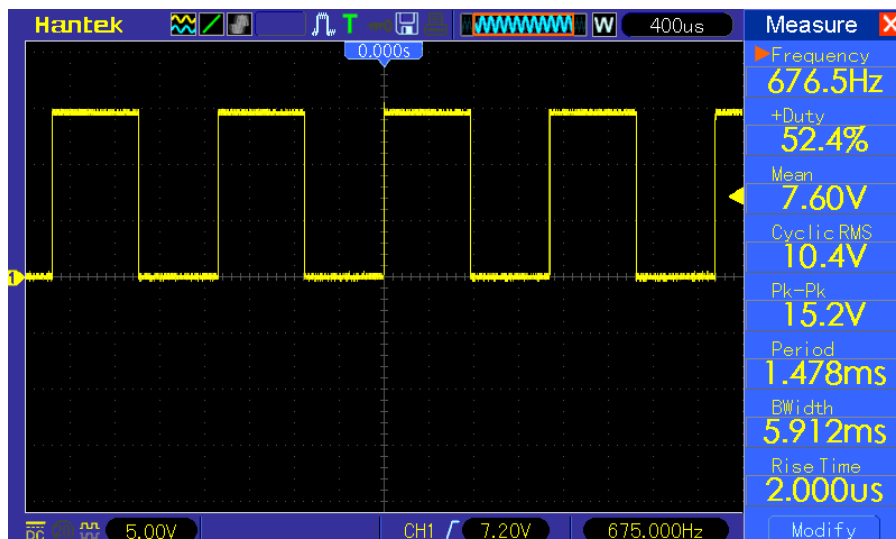
ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจรอะอสเตเบิลิลมัลติไวเบรเตอร์ ตามภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 วงจรอะอสเตเบิลิลมัลติไวเบรเตอร์

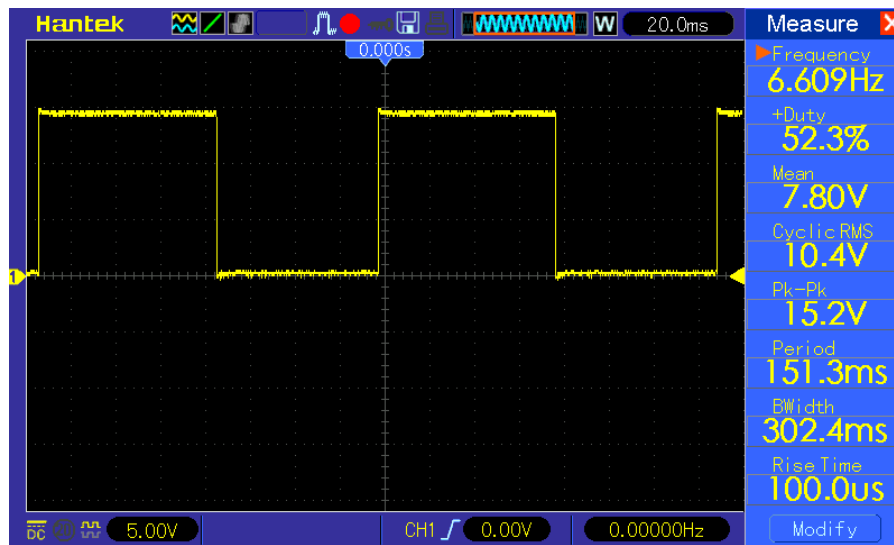
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ตำแหน่ง V_o จากนั้นเปลี่ยนค่าความจุของ C_1 ตามตารางที่ 3.1 บันทึกผลลงตารางที่ 3.1
3. วาดรูปสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ $C_1 = 0.01 \mu\text{F}$ และ $1 \mu\text{F}$

สัญญาณเอาต์ที่ $C_1 = 0.01 \mu\text{F}$ 

VOLT/DIV = 5 V

TIME/DIV = 400 μs

สัญญาณเอาต์ที่ $C_1 = 1 \mu\text{F}$



VOLT/DIV = 5 V

TIME/DIV = 20 ms

4. คำนวณหาความถี่ (f_o) และค่าดีวตีไซเคิล (%D) และบันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 3.2 โดยใช้สูตรดังนี้

$$f_o = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) \cdot C_1}$$

$$\text{Duty cycle} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \times 100$$

$$\text{Duty cycle} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \times 100$$

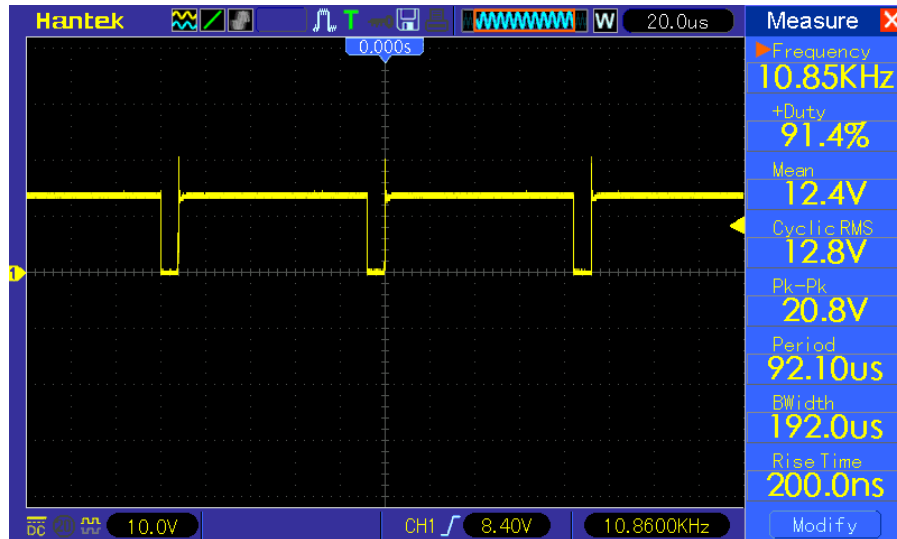
ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

C_1	t_1 (sec)	t_2 (sec)	จากการทดลอง		จากการคำนวณ	
			f_o (kHz)	D (%)	f_o (kHz)	D (%)
0.01 μF	800 us	710 us	673 Hz	52.3 %	685.7 Hz	48 %
0.047 μF	3.65 ms	3.3 ms	145 Hz	52.3 %	145.9 Hz	48 %
0.1 μF	7.8 ms	7.1 ms	66 Hz	52.3 %	68.6 Hz	48 %
0.47 μF	36 ms	32.5 ms	14 Hz	52.3 %	14.6 Hz	48 %
1 μF	80 ms	72 ms	5.9 Hz	52.3 %	6.8 Hz	48 %

5. จากภาพที่ 3.6 เปลี่ยนค่า R_B ตามตารางที่ 3.2 และใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ตำแหน่ง V_O บันทึกผลลงตารางที่ 3.2

6. วาดรูปสัญญาณเอาต์พุตเมื่อ $R_B = 1\text{k}\Omega$ และ $47\text{k}\Omega$

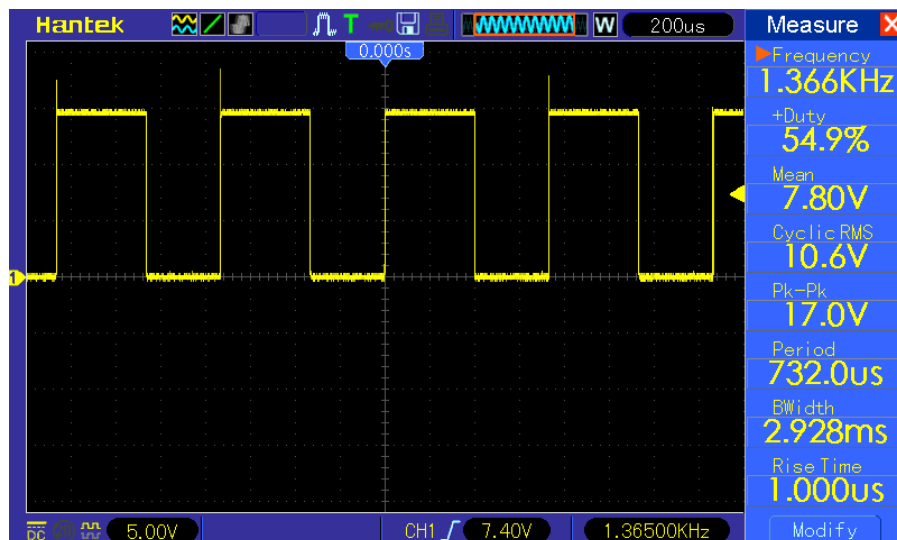
สัญญาณเอาต์พุตที่ $R_B = 1\text{k}\Omega$



VOLT/DIV = 10 V

TIME/DIV = 20 μ s

สัญญาณเอาต์พุตที่ $R_B = 47\text{k}\Omega$



VOLT/DIV = 5 V

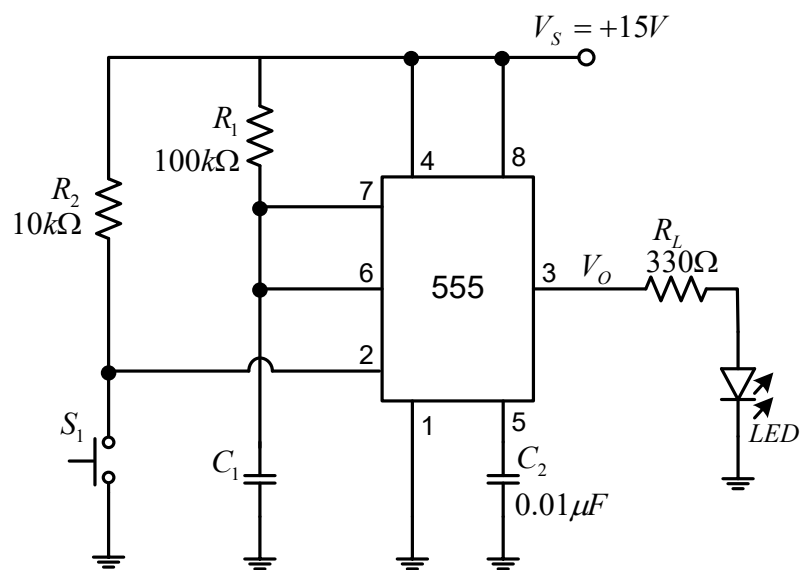
TIME/DIV = 200 μ s

7. คำนวณหาความถี่ (f_0) และค่าคิวตี้ไซเกิล (D%) และบันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 3.2 โดยใช้สูตรคำนวณตามข้อที่ 4

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

R_B	t_1 (sec)	t_2 (sec)	จากการทดลอง		จากการคำนวณ	
			f_0 (kHz)	D (%)	f_0 (kHz)	D (%)
1 k Ω	86 us	8 us	10.85 kHz	91.4 %	12 kHz	91.3 %
5 k Ω	109 us	36 us	6.94 kHz	75 %	7.2 kHz	75 %
15 k Ω	178 us	106 us	3.52 kHz	62.7 %	3.6 kHz	62 %
22 k Ω	228 us	154 us	2.61kHz	59.7 %	2.6 kHz	59 %
47 k Ω	400 us	335 us	1.36 kHz	54.9 %	1.38 kHz	54 %

8. ประกอบวงจรโมโนสเตเบิลมิัลติไวเบรเตอร์ ตามภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 วงจรโมโนสเตเบิลมิัลติไวเบรเตอร์

9. เปลี่ยนค่า C_1 ตามตารางที่ 3.3 กดสวิตช์ S_1 พร้อมจับเวลาและสังเกตการติดสว่างของ LED จนกระทั่ง LED ดับ จากนั้นบันทึกเวลาในช่วงเวลาที่ LED ติดสว่าง ลงในตารางที่ 3.3

10. คำนวณค่าเวลา โดยใช้สูตรด้านล่างและบันทึกค่าลงในตารางที่ 3.3

$$T = 1.1 \cdot R_1 \cdot C_1$$

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

C_1	เวลาที่ LED ติดสว่าง	เวลาจากการคำนวณ
10 μF	1.12 s	1.1 s
47 μF	5.6 s	5.17 s
100 μF	12.1 s	11 s
220 μF	26 s	24.2 s

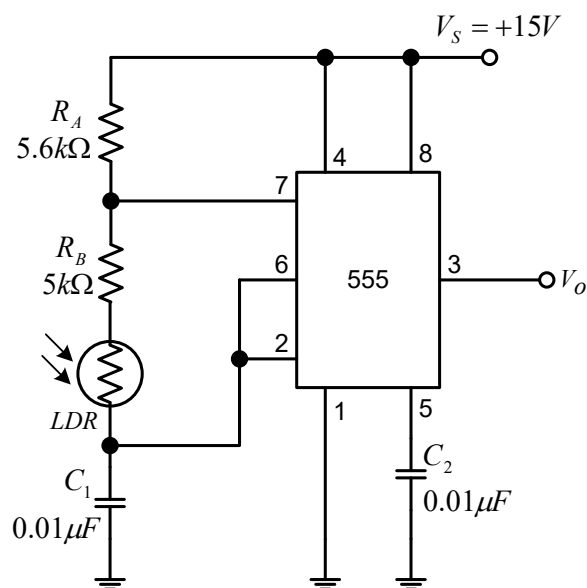
11. จากรูปที่ 3.7 กำหนดให้ $C_1 = 10 \mu\text{F}$ เปลี่ยนค่า R_1 ตามตารางที่ 3.4 กดสวิตช์ S_1 และจับเวลาพร้อมทั้งสังเกตการติดสว่างของ LED จนกระทั่ง LED ดับ จากนั้นบันทึกเวลาที่ LED ติดสว่าง ลงในตารางที่ 3.4

12. คำนวณค่าเวลาจากค่าอุปกรณ์ในวงจร โดยใช้สูตรตามข้อที่ 10 และบันทึกค่าลงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 บันทึกผลการทดลองที่ 4

R_1	เวลาที่ LED ติดสว่าง	เวลาจากการคำนวณ
150 k Ω	1.9 s	1.65 s
500 k Ω	6 s	5.5 s
1 M Ω	12 s	11 s
2 M Ω	22.9 s	22 s

13. ประกอบวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอลดีอาร์ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอลดีอาร์

14. ทดลองเพิ่มแสงมาส่องตกกระทบที่ตัว LDR และปิดแสงที่ตัว LDR ใช้ข้อสซิลิโอสโคปวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง V_O และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ V_O จงอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ V_O

ค่าความถี่เอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงเมื่อ LDR ได้รับแสงทำให้ความต้านทานที่ LDR ลดลง เป็นผลให้ความถี่ที่ตำแหน่ง V_O เพิ่มสูงขึ้น ค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อปิดแสงที่ส่องให้ LDR ทำให้ความต้านทานที่ LDR เพิ่มขึ้น ให้ความถี่ที่ตำแหน่ง V_O ลดลง ค่าความถี่ที่ลดลง.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายวิธีการปรับความถี่ของวงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์

...การปรับความถี่โดยปรับเปลี่ยนค่า R_A , R_B และ C_1 โดยที่ R_A , R_B มีค่าความต้านทานสูง วงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดความถี่ต่ำ ที่ R_A , R_B มีค่าความต้านทานต่ำ วงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดความถี่สูง และ C_1 มีค่าความจุสูง วงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดความถี่ต่ำ C_1 มีค่าความจุต่ำ วงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดความถี่สูง

2. จงอธิบายวิธีการปรับค่าความถี่ของวงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์

...การปรับค่าความถี่โดยปรับเปลี่ยนค่า R_A , R_B โดยที่ R_A , R_B มีค่าความต้านทานสูง วงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดความถี่ที่มีค่าความถี่ที่ต่ำ ที่ R_A , R_B มีค่าความต้านทานต่ำ วงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดความถี่ที่มีค่าความถี่ที่สูง ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนที่ค่า R_B จะเหมาะสมที่สุดในการปรับค่าความถี่ของวงจรออสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์.....

3. จงอธิบายวิธีการปรับตั้งค่าเวลาของวงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์

...การปรับค่าเวลาโดยปรับเปลี่ยนค่า C_1 , R_1 โดยที่ C_1 มีค่าความจุสูงและ R_1 มีค่าความต้านทานสูง วงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดสัญญาณชั่วขณะเมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นเป็นเวลานาน C_1 มีค่าความจุต่ำและ R_1 มีค่าความต้านทานต่ำ วงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์จะกำเนิดสัญญาณชั่วขณะเมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นเป็นเวลาน้อย.....

4. จงออกแบบวงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ ให้ตั้งเวลา 20 วินาที และเขียนวงจรที่ได้ ออกแบบใหม่

$$\text{เลือกค่า } C_1 = 220 \mu\text{F}$$

$$R_1 = \frac{20\text{s}}{1.1 \times 220 \mu\text{F}}$$

$$R_1 = 82.6\text{k}\Omega$$

$$\text{เลือกค่า } R_1 = 82 \text{ k}\Omega$$

5. วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ และวงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ นำไปใช้งานอะไร
ได้บ้าง

วงจรตั้งเวลา วงจรกำเนิดความถี่ วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ วงจรทรigger.....

สรุปผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....

ใบงานที่ 4 วงจรเฟสล็อกกลุ่

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อให้ นักศึกษาสามารถ

1. ประกอบวงจรเฟสล็อกกลุ่ด้วยไอซี LM565 ได้
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าพารามิเตอร์ตามตำแหน่งที่กำหนดได้
3. ปรับปรุงวงจรให้ได้ความถี่กลางตามที่กำหนด
4. ปรับความถี่อินพุตได้ตามภาวะของวงจรเฟสล็อกกลุ่
5. บันทึกค่าความถี่ของวงจรเฟสล็อกได้
6. อธิบายการทำงานของวงจรเฟสล็อกกลุ่ได้
7. อธิบายการประยุกต์ใช้งานวงจรเฟสล็อกกลุ่ได้

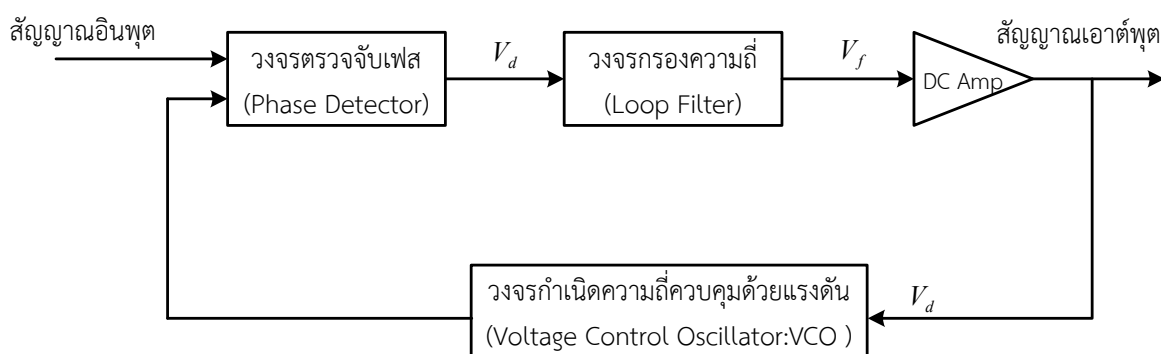
เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---------------------------------------------|-----------|
| 1. ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี | 1 ชุด |
| 2. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 3. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 1 เครื่อง |

เนื้อหาทฤษฎี

หลักการของระบบเฟสล็อกกลุ่แบบเชิงเส้น (Linear Phase Lock Loop)

เฟสล็อกกลุ่เป็นระบบป้อนกลับที่บังคับให้วงจรออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงความถี่ไปตามความถี่หรือเฟสของสัญญาณความถี่อ้างอิง (Reference Frequency : f_r) จากภายนอก



ภาพที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบเฟสล็อกกลุ่

จากภาพที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบเฟสล็อกกลุ๊ป สมมติว่ามีสัญญาณความถี่ภายนอกเข้ามาที่อินพุต ภาคเปรียบเทียบ (Phase Detector ; PD) จะทำการเปรียบเทียบเฟสระหว่างความถี่จากภายนอกกับความถี่ที่มาจาก VCO ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์สัญญาณผิดพลาด (Error Pulse) แรงดันผิดพลาดที่ได้จะถูกส่งไปให้วงจรถู๊ปฟิลเตอร์ (Loop Filter) และถู๊ปฟิลเตอร์จะกรองสัญญาณพัลส์ให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรง เพื่อเอาแรงดันไฟกระแสตรงไปบังคับ VCO ผลิตความถี่ให้ตรงกับความถี่อ้างอิงที่มาจากภายนอก เมื่อลู๊ปอยู่ในสภาวะล็อก ความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตพอดี แต่เฟสอาจต่างกันซึ่งค่าความต่างเฟสที่ได้จะมีค่าคงที่ กรณีที่เฟสจะคลาดเคลื่อนออกไปภาคเฟสดีเทคเตอร์จะจ่ายแรงดันความคลาดเคลื่อน (Error Pulse Voltage) ไปควบคุมการทำงานของวงจรถู๊ปกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน VCO เพื่อปรับให้ความต่างเฟสกลับมาคงที่ เพื่อให้ความถี่ของสัญญาณ VCO ตรงกับความถี่อ้างอิงตลอดเวลา

โดยทั่วไป แบ่งวงจรถู๊ปเฟสล็อกกลุ๊ป มี 3 ภาวะ คือ

1. ภาวะทำงานเป็นอิสระ (Free Running) คือ ความถี่ของ VCO ถูกกำหนดจากโครงสร้างวงจรถู๊ปของ VCO

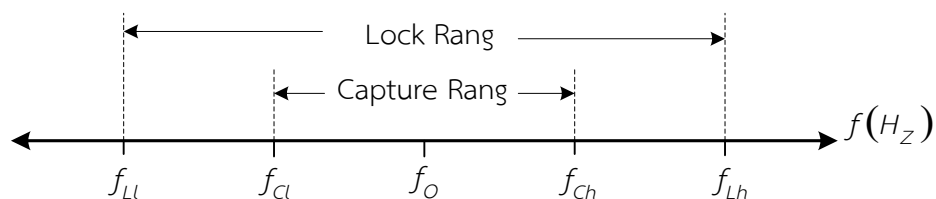
2. ภาวะแคปเจอร์ (Capture) ; ความถี่ f_0 ของ VCO กำลังวิ่งเข้าหาความถี่อินพุต : f_i

3. ภาวะเฟสล็อก (Phase Locked) คือ ความถี่ f_0 ของ VCO เท่ากับความถี่อินพุต : f_i

ย่านความถี่การทำงานของเฟสล็อกกลุ๊ป ดังภาพที่ 4.2 ได้แก่

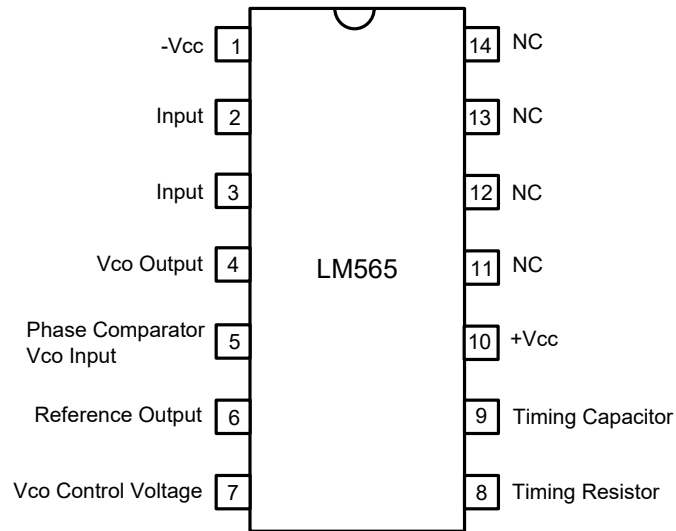
ย่านความถี่ ซึ่งในระบบสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุตได้ เราเรียกว่า “ย่านล็อก (Lock Range)”

ย่านความถี่ ซึ่งระบบลู๊ปสามารถเข้าถึงภาวะเฟสล็อกได้ เรียกว่า “ย่านแคปเจอร์ (Capture Range)” ซึ่งจะมีย่านแคบกว่า Lock Range



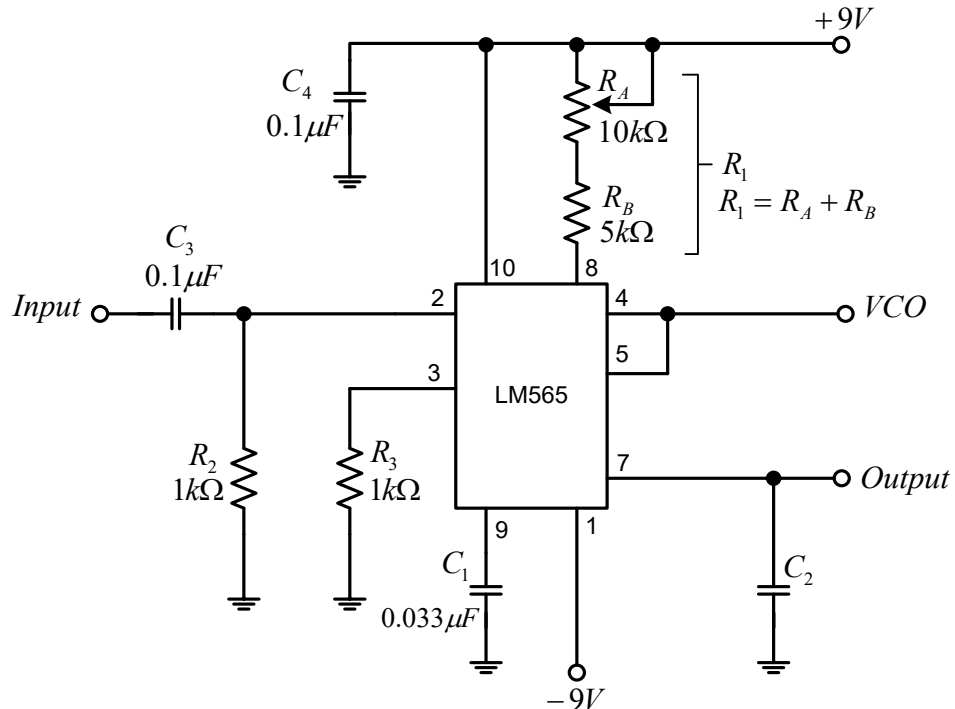
ภาพที่ 4.2 ย่านความถี่การทำงานของเฟสล็อกกลุ๊ป

การใช้งานไอซีเฟสล็อกกลุ๊ป ในวงจรถู๊ปเฟสล็อกกลุ๊ปมีไอซีรวมเบอร์ LM565 ซึ่งเป็นไอซีรวมมีตำแหน่งการจัดวางขาของไอซีดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งขาไอซีเฟสล็อกแบบเบอร์ LM565

โครงสร้างภายในจะมีตัวต้านทานเชื่อมต่อภายในขา 7 คือ มีความต้านทาน $3.6 \text{ k}\Omega$ ที่ต่อร่วมกับ วงจรกรองความถี่ โดยมีตัวเก็บประจุภายนอกต่อคร่อมระหว่างขา 7 ในการออกแบบการใช้งานด้วย ไอซีเฟสล็อก การนำไอซีเฟสล็อกมาต่อใช้งานได้ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 วงจรเฟสล็อก โดยใช้ไอซี LM565

จากภาพที่ 4.4 มีพารามิเตอร์และสมการที่สำคัญดังนี้

ความถี่กลางเอาต์พุตของวงจร (Free Running Frequency ; f_o)

$$f_o = \frac{0.3}{R_1 C_1}$$

ย่านความถี่ล็อก (Lock Frequency ; f_L)

$$f_L = \pm \frac{8f_o}{V}$$

เมื่อ

$$V = +V - (-V)$$

ย่านความถี่แคปเจอร์ (Capture Frequency ; f_c)

$$k_o k_D = \frac{33.6 f_o}{V}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_o k_D}{R_2 C_2}}$$

เมื่อ R_1 คือ Timing Resistor (ที่ขา 8)

R_2 คือ ความต้านทานภายในมีค่า $3.6 \text{ k}\Omega$

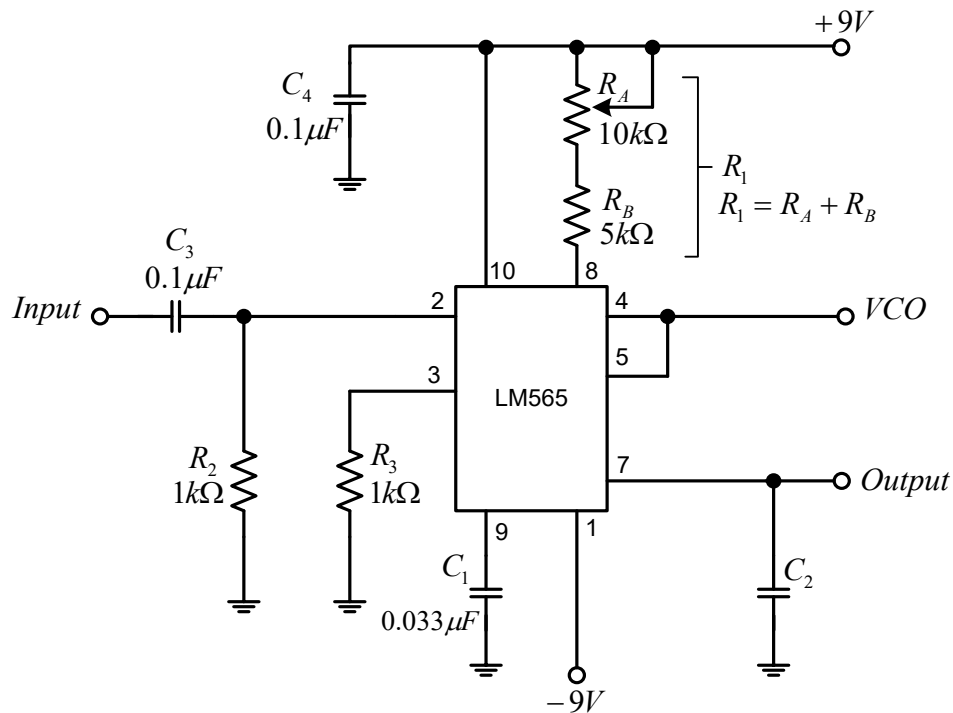
C_1 คือ Timing Capacitor (ที่ขา 9)

C_2 คือ ตัวเก็บประจุรองความถี่ (ที่ขา 7)

V คือ แรงดันไฟเลี้ยงตัวไอซี แรงดันบวกและลบ

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- ประกอบวงจรเฟสล็อกตามภาพที่ 4.5 กำหนดให้ $C_2 = 10 \mu\text{F}$



ภาพที่ 4.5 วงจรเฟสล็อก

- ใช้ออสซิลโลสโคปวัดความถี่ VCO ที่ตำแหน่ง VCO ปรับค่าความถี่ของ VCO ให้ได้ความถี่กลาง (f_0) = 1 kHz โดยปรับค่าความต้านทาน R_A จนกระทั่งได้ความถี่ VCO = 1 kHz (ในขั้นตอนนี้ยังไม่ต้องจ่ายสัญญาณอินพุต)
- ปลดตัวต้านทาน R_A ออกจากวงจร จากนั้นใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน และคำนวณค่าความต้านทาน R_1 ($R_1 = R_A + R_B$)

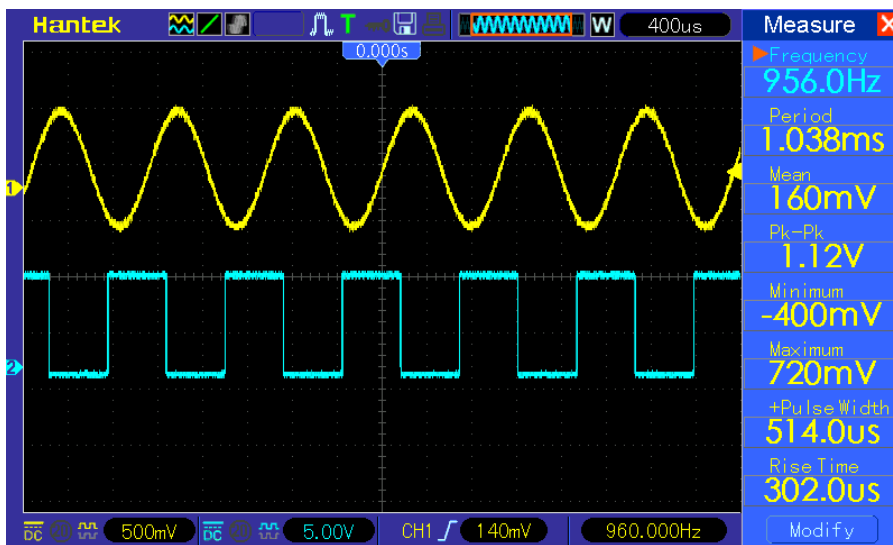
$$R_A = \dots\dots\dots 5.4 \text{ k}\Omega \dots\dots\dots, \quad R_1 = \dots\dots\dots 10.4 \text{ k}\Omega \dots\dots\dots$$

- ใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ ความถี่ 600 Hz ขนาด 1 V_{p-p} ที่ตำแหน่ง Input
- ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดสัญญาณที่ตำแหน่ง Input และแชนแนล 2 วัดสัญญาณที่ตำแหน่ง VCO สังเกตรูปคลื่นทั้งสองแชนแนล มีภาวะล็อกเฟสหรือไม่ล็อกเฟสหรือไม่ เพราะอะไร
ไม่อยู่ในภาวะล็อกเฟส เนื่องจากสัญญาณอินพุตมีค่าไม่ใกล้เคียงหรือเท่ากับความถี่ VCO ที่ 1 kHz.....

6. ค่อย ๆ ปรับเพิ่มความถี่ของสัญญาณอินพุตจนกระทั่งวงจรถึงจุดเริ่มล็อกเฟส (สังเกตเส้นภาพของแชนเนล 2 จะเริ่มนิ่งเป็นปกติ) สัญญาณอินพุต และ VCO จะมีเฟสที่ต่างกันแต่ความถี่จะมีค่าเท่ากัน ณ จุดนี้ คือ ย่านแคปเจอร์ด้านล่าง (The Bottom of the Capture Range) หรือ f_{CL} และบันทึกผลค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต

$$f_{CL} = \dots\dots\dots 956 \text{ Hz} \dots\dots\dots$$

7. บันทึกรูปสัญญาณอินพุต และ VCO



แชนแนลที่ 1 VOLT/DIV = 500 mV , แชนแนลที่ 2 VOLT/DIV = 5 V
 TIME/DIV = 400 μs

8. ค่อย ๆ ปรับเพิ่มความถี่ของสัญญาณอินพุตจนกระทั่งวงจรเริ่มหลุดล็อกเฟส (สังเกตเส้นภาพทั้ง 2 แชนแนล จะไม่นิ่งเป็นปกติและ ความถี่ VCO กลับมาเท่ากับ 1 kHz) เรียกจุดนี้ว่า ย่านล็อกด้านบน (The top of the Lock Range) หรือ f_{LH} และบันทึกผลค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต

$$f_{LH} = \dots\dots\dots 1.3 \text{ kHz} \dots\dots\dots$$

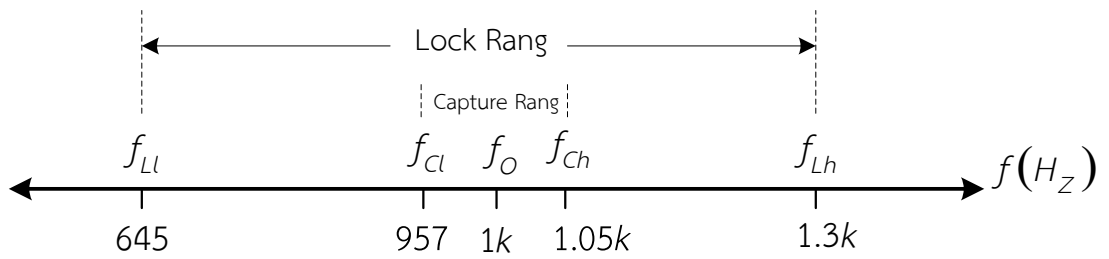
9. ค่อย ๆ ปรับลดความถี่ของสัญญาณอินพุตจนกระทั่งสัญญาณทั้งสองกลับมาล็อกเฟสอีกครั้ง เรียกจุดนี้ว่า ย่านแคปเจอร์ด้านบน (The Top of the Capture Range) หรือ f_{CH} และบันทึกผลค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต

$$f_{CH} = \dots\dots\dots 1.05 \text{ kHz} \dots\dots\dots$$

10. ค่อย ๆ ปรับลดความถี่สัญญาณอินพุต จนกระทั่งสัญญาณทั้งสองหลุดล็อกเฟส เรียกจุดนี้ว่า ย่านล็อกด้านล่าง (The Bottom of the Lock Range) หรือ f_{LL} และบันทึกผลค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต

$$f_{LL} = \dots\dots\dots 645 \text{ Hz} \dots\dots\dots$$

เขียนย่านการทำงานของวงจรเฟสล็อกกลุ่ม f_o , f_{cl} , f_{ch} , f_{Ll} , f_{Lh} จากการทดลอง



คำนวณหาค่า f_o , f_c , f_L

$$f_o = \frac{0.3}{R_1 C_1}$$

$$f_o = \frac{0.3}{9k\Omega \times 0.033\mu F} = 1kHz$$

$$f_L = \pm \frac{8f_o}{V} ; \quad V = \pm 9V$$

$$f_L = \pm \frac{8 \times 1kHz}{18V} = 444Hz$$

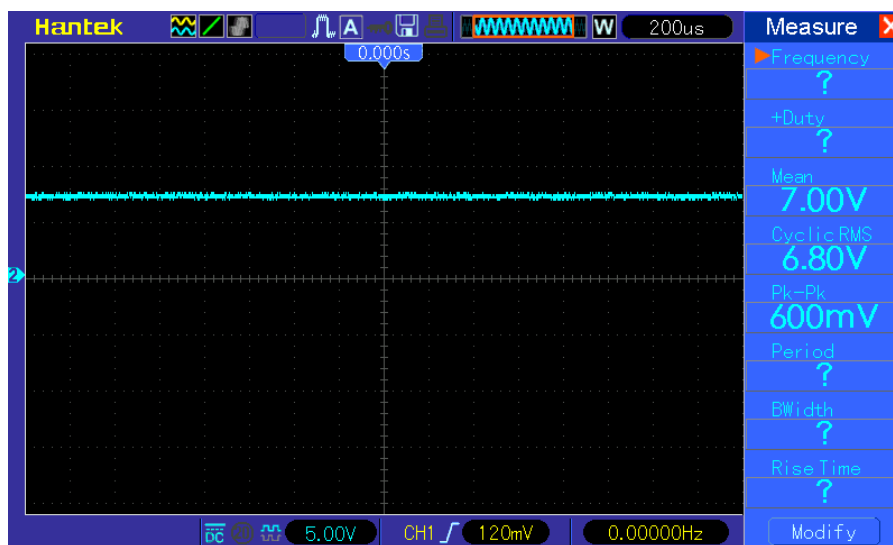
$$k_o k_D = \frac{33.6 f_o}{V}$$

$$k_o k_D = \frac{33.6 \times 1kHz}{18V} = 1.866k$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{f_L}{R_2 C_2}}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1.866k}{3.6k\Omega \times 10\mu F}} = 36Hz$$

11. ปรับความถี่สัญญาณอินพุต 1 kHz จากนั้นใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง Output บันทึกผลรูปสัญญาณ



VOLT/DIV = 5 V

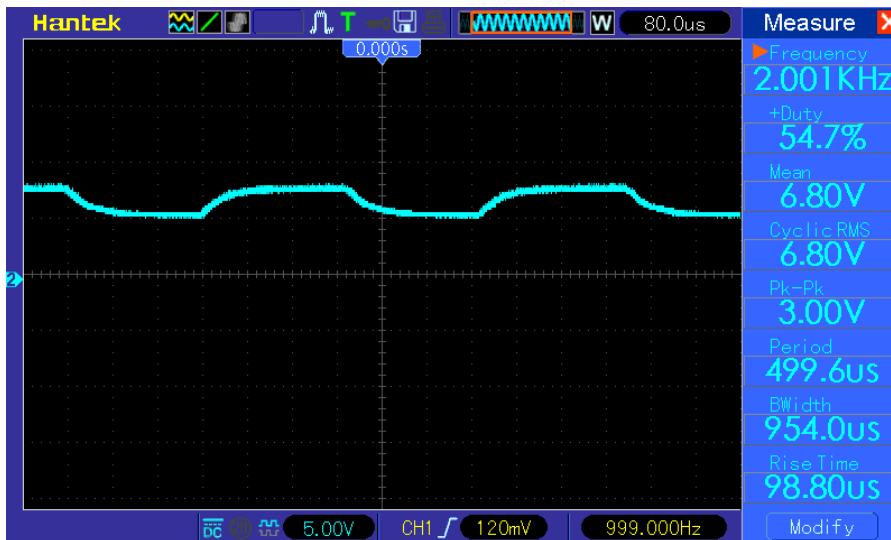
TIME/DIV = 200 μ s

12. ปรับความถี่สัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นและสังเกตรูปสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่
สัญญาณคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง.....
13. เปลี่ยนค่า C_2 ตามตารางที่ 1 และทำการทดลองหาค่า f_{cl} , f_{ch} , f_{LL} , f_{Lh} โดยทำซ้ำ
ข้อ 5 – 9

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

C_2	f_{cl}	f_{ch}	f_{LL}	f_{Lh}
0.1 μ F	810 Hz	1.1 kHz	655 Hz	1.3 kHz
1 μ F	925 Hz	1.2 kHz	655 Hz	1.3 kHz

14. ปรับความถี่สัญญาณอินพุต 1 kHz กำหนดให้ $C_2 = 0.1 \mu$ F จากนั้นใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง Output บันทึกผลรูปสัญญาณ



VOLT/DIV = 5 V

TIME/DIV = 80 μs

คำถามท้ายการทดลอง

- จงอธิบายวิธีการปรับปรุงวงจรเฟสล็อกคู่ให้มีความถี่กลาง (f_0) = 1 kHz

การปรับปรุงวงจรให้มีความถี่กลางมี 2 วิธี คือ กำหนดค่า R_1 และออกแบบหาค่าความจุของ C_1 ที่เหมาะสม แต่วิธีนี้ค่อนข้างไม่สะดวกเนื่องจากข้อจำกัดค่าความจุไม่ได้มีทุกค่าที่ต้องการ จึงปรับความถี่โดยกำหนดค่า C_1 และออกแบบโดยค่าความต้าน R_1 ทำได้ 2 วิธี คือ ใช้ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ ที่มีค่าใกล้เคียงกับที่ออกแบบและควรมีค่าความผิดพลาดต่ำ หรือใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานปรับได้และปรับค่าความต้านทานจนกระทั่งได้ความถี่ตามค่าที่ต้องการ.....

- ค่าความจุของตัวเก็บประจุ C_2 มีผลต่อ สภาพะการทำงานของวงจรเฟสล็อกคู่อย่างไร

ค่าความจุของ C_2 มีผลต่อภาวะหรือย่านแคปเตอร์ (f_c) คือ ที่ความจุของ C มีค่าสูงจะมีย่านความถี่แคปเตอร์แคบ และความจุของ C มีค่าต่ำจะมีย่านความถี่แคปเตอร์กว้างกว่า ในส่วนย่านความถี่ล็อก (f_L) มีย่านความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อค่า C_2 เปลี่ยน.....

- จงอธิบายขั้นตอนการป้อนสัญญาณให้กับอินพุตของวงจรเฟสล็อกคู่ ที่ย่านแคปเตอร์ (Capture Range) ย่านล็อก (Lock Range)

...ใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ ความถี่ 600 Hz ขนาด 1 V_{p-p} ที่ตำแหน่ง Input... สังเกตรูปคลื่นของสัญญาณอินพุตและ VCO... ถ้ารูปคลื่นทั้งสองมีความถี่เท่ากันและเส้นภาพของรูปคลื่น VCO... หนึ่งเป็นเป็นปกติแสดงว่าเกิดภาวะล็อกเฟส... และถ้ารูปคลื่นของสัญญาณอินพุตและ VCO... ถ้ารูปคลื่นทั้งสองความถี่ไม่เท่ากันและรูปคลื่นของ VCO... หนึ่งเป็นปกติแสดงว่าเกิดการหลุดล็อกเฟส... ทำการปรับความถี่สัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นจนกระทั่งวงจรเกิดล็อกเฟสจุดนี้เรียกว่า f_{CL} ... จากนั้นปรับความถี่สัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นอีกจนกระทั่งวงจรเริ่มหลุดล็อกเฟส... จุดนี้เรียกว่า f_{CH}

จากนั้นปรับความถี่สัญญาณอินพุตลดลงจนกระทั่งวงจรกลับมาล็อกเฟสอีกครั้งเรียกจุดนี้ว่า f_{ch} และปรับความถี่สัญญาณอินพุตลดลงจนกระทั่งวงจรหลุดล็อกเฟสอีกครั้งเรียกจุดนี้ว่า f_{cl}

- ศึกษาการนำเฟสล็อกกลุ่มมาต่อประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรเอฟเอ็มดีมอดูเลชัน

จากเว็บไซต์ : https://youtu.be/EjWwkep_vJA

หรือสแกน QR Code



อธิบายผลที่เกิดขึ้นเมื่อป้อนสัญญาณอินพุต FM กับ จุด Demod

เมื่อป้อนสัญญาณ FM ให้กับวงจรเฟสล็อกกลุ่ม โดยมีเงื่อนไขคือ ความถี่ของคลื่นพาหะของสัญญาณ FM จะต้องมีค่าเท่ากับความถี่ VCO คือ 300 kHz และนำสัญญาณข้อมูล 1 kHz ไปมอดูเลเลชันแบบ FM และความถี่ VCO ของวงจรเฟสล็อกกลุ่มได้จากการออกแบบค่า R_1 และ C_1 ที่เหมาะสม สัญญาณเอาต์พุตที่จุด Demod ที่ได้จะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 kHz ซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูลแต่จะมีขนาดสัญญาณค่อนข้างต่ำ

- บอกประโยชน์ของวงจรเฟสล็อกกลุ่มนำไปใช้งานด้านใดได้บ้าง
วงจรดีมอดูเลชัน... วงจรวิทยุสื่อสาร... วงจรโทรศัพท์มือถือ

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 5

วงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. วัดและทดสอบการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลได้
2. ประกอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้
3. บันทึกผลการแสดงค่าของ LED ได้
4. อธิบายคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลได้
5. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้
6. อธิบายวงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรมได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

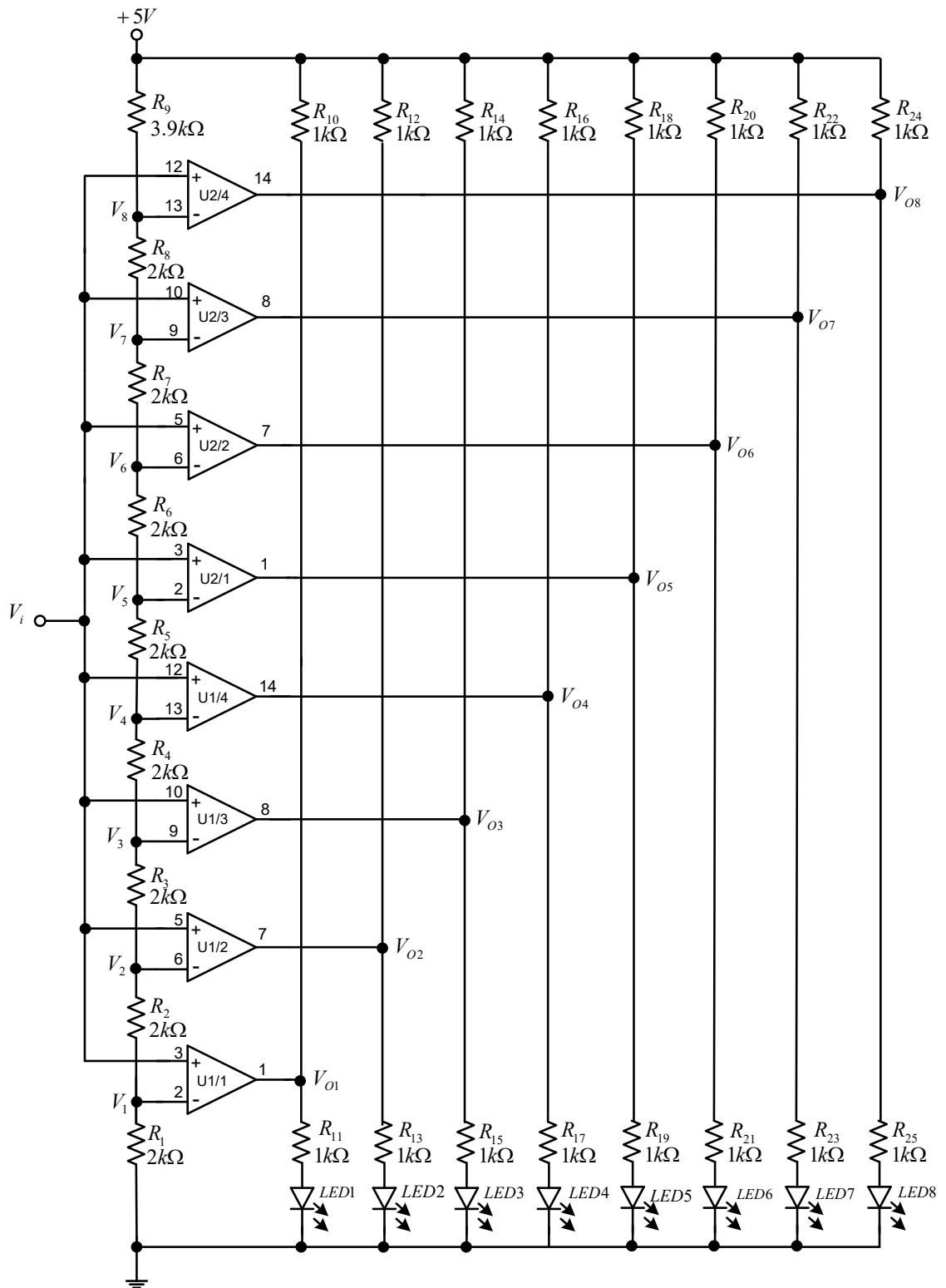
- | | |
|---------------------------------------------|-----------|
| 1. ชุดฝึกปฏิบัติวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี | 1 ชุด |
| 2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. ไดรฟ์เป่าลมร้อน | 1 อัน |

เนื้อหาทฤษฎี

1. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับ (Sensor) ที่เป็นสัญญาณนอกในรูปของแรงดันหรือกระแสที่เปลี่ยนแปลง เช่น ตัวตรวจจับอุณหภูมิ ความดัน แสง ฯลฯ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่แปลงปริมาณทางฟิสิกส์ให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้า นำสัญญาณมาแสดงค่า และนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยจะนำสัญญาณ ที่ได้จากตัวตรวจจับมาประมวลผลด้วยตัวประมวลผลที่เป็นวงจรดิจิทัล ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ และพีแอลซี จะต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณออกจากตัวตรวจจับเหล่านั้นให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้วงจรที่เรียกว่า วงจร Analog to Digital Converter (ADC) ในใบงานนี้จะใช้วงจรออปแอมป์ขยายผลต่างแรงดันมาต่อเป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

จากภาพที่ 5.1 คือวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล จากวงจรออปแอมป์ 8 ตัว ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Comparators Voltage) แบบลูปเปิด เปรียบเทียบระหว่างแรงดันอินพุต (V_i) กับแรงดัน $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ และ V_8 จากวงจรแบ่งแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรง +5 V เมื่อ V_1 เปรียบเทียบกับแรงดันที่ V_i ที่อินพุตบวกของออปแอมป์ ถ้า V_i มีค่ามากกว่า V_1 ทำให้ LED1 ติด แสดงผลเป็น (00000001) ถ้าแรงดันที่ V_i มากกว่า V_8 ทำให้ LED ทุกตัวติดหมด แสดงผลเป็น (11111111)



ภาพที่ 5.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 4 บิต

การคำนวณหาค่าแรงดันอ้างอิงของ $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ และ V_8 ได้ดังนี้

$$V_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

$$V_2 = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

$$V_3 = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

$$V_4 = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

$$V_5 = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

$$V_6 = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

$$V_7 = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

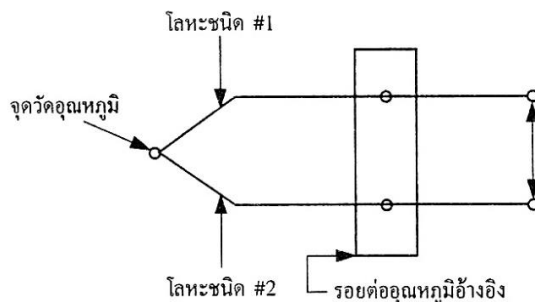
$$V_8 = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \right) \times V_i$$

2. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นตัวแปลงที่มีความไวต่ออุณหภูมิและสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเทอร์โมคัปเปิลจึงมีบทบาทที่สำคัญเกี่ยวกับการวัดอุณหภูมิในงานทางด้านวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาหรืออาจจะใช้เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ นอกจากนี้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ยังใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิของเหลวและแก๊สภายในที่จัดเก็บ หรือการไหลภายในท่อ

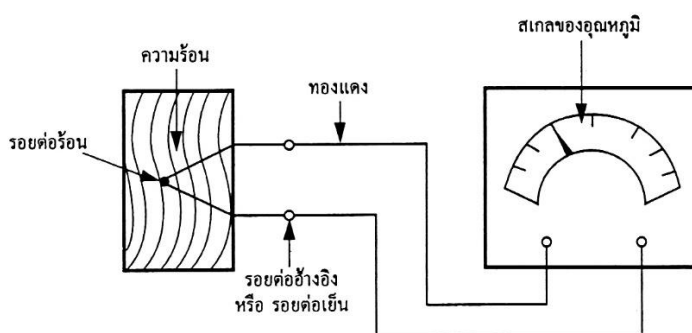
หลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Effect) นี้เกิดจากคู่ของเส้นลวดที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะถูกต่อเข้าด้วยกันที่เป็นรอยต่อการรับรู้ (Sensing Junction) หรืออาจเรียกว่า “รอยต่อร้อน” (Hot Junction) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะเรียกว่า “รอยต่อเย็น” (Cold Junction) เมื่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างปลายรอยต่อร้อนกับรอยต่อเย็น ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดขึ้นได้ ดังแสดงในภาพที่ 5.2 ซึ่งค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้า

ที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ใช้ทำเส้นลวด และจำนวนของอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างปลายรอยต่อร้อนกับรอยต่อเย็น



ภาพที่ 5.2 แสดงหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมคัปเปิล

ในการใช้งาน ปกติปลายรอยต่อร้อนจะถูกนำไปไว้ภายใน หรือบนวัตถุที่ต้องจะตรวจสอบ และปลายรอยต่อเย็นของเส้นลวดจะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์เครื่องวัดแรงดัน เมื่อเทอร์โมคัปเปิลมีอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างปลายรอยต่อร้อนและปลายรอยต่อเย็น ซึ่งจะเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ คือปลายรอยต่อเย็นทั้งคู่ที่ถูกต่อเก็บไว้ ณ จุดอุณหภูมิคงตัว (Constant Reference Temperature) หรือ ในกรณีของเทอร์โมคัปเปิลราคาถูก สามารถเก็บได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องเมื่อนำมันมาใช้ในการวัดอุณหภูมิ ค่าแรงดันเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลที่อ่านได้จะต้องสำหรับการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในอุณหภูมิห้อง เพราะอุณหภูมิที่ปลายสายของเส้นลวดเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง (Reference Temperature) จะเป็นรอยต่ออ้างอิง หรือเรียกบ่อย ๆ ว่า “รอยต่อเย็น” จะเป็นขั้วต่ออุปกรณ์ หรือเส้นลวดอื่น ๆ เส้นลวดที่นำมาต่อที่ขั้วของรอยต่ออ้างอิงเข้ากับอุปกรณ์การวัดจะเป็นเส้นลวดทองแดง ดังแสดงในภาพที่ 5.3

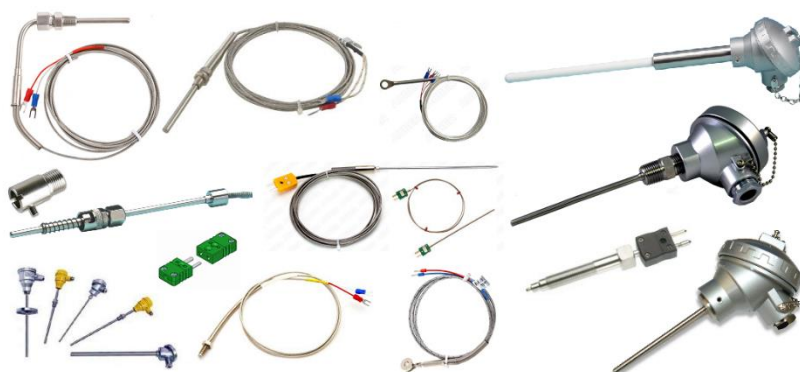


ภาพที่ 5.3 แสดงการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลอย่างง่าย

ที่มา : อนันท์ คัมภีรานนท์ (2542 : 26)

เทอร์โมคัปเปิลจะทำมาจากจำนวนของโลหะต่างชนิดกัน หรือโลหะผสมเพื่อให้มีพิสัยการใช้งานของอุณหภูมิที่กว้าง คือ ต่ำสุด -270°C (-418°F) ถึงสูงสุดที่ $2,700^{\circ}\text{C}$ (ประมาณ $5,000^{\circ}\text{F}$) จาก

ภาพที่ 5.4 จะแสดงชนิดของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป และรูปร่างลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ

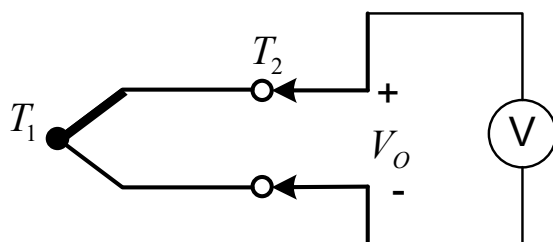


ภาพที่ 5.4 แสดงรูปร่างลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ

ที่มา : <http://www.hipowertech.co.th/viewproduct.php?pid=62>

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดัน V_0 ที่ตำแหน่ง T_2 หรือ V_0 ดังภาพที่ 5.5 (จุด T_1 และ T_2 แสดงดังภาพที่ 5.6)
2. เพิ่มอุณหภูมิที่จุด T_1 หรือจุดรอยต่อร้อน โดยใช้ไดร์เป่าลมร้อนเป่าที่ปลายโลหะที่ตำแหน่ง T_1 สังเกตการเปลี่ยนของค่าแรงดัน V_0
3. เปลี่ยนอุณหภูมิที่จุด T_1 เป็นอุณหภูมิต่ำ โดยนำปลายโลหะที่ตำแหน่ง T_1 จุ่มในน้ำเย็น สังเกตการเปลี่ยนของค่าแรงดัน V_0



ภาพที่ 5.5 การวัดและทดสอบเทอร์โมคัปเปิล

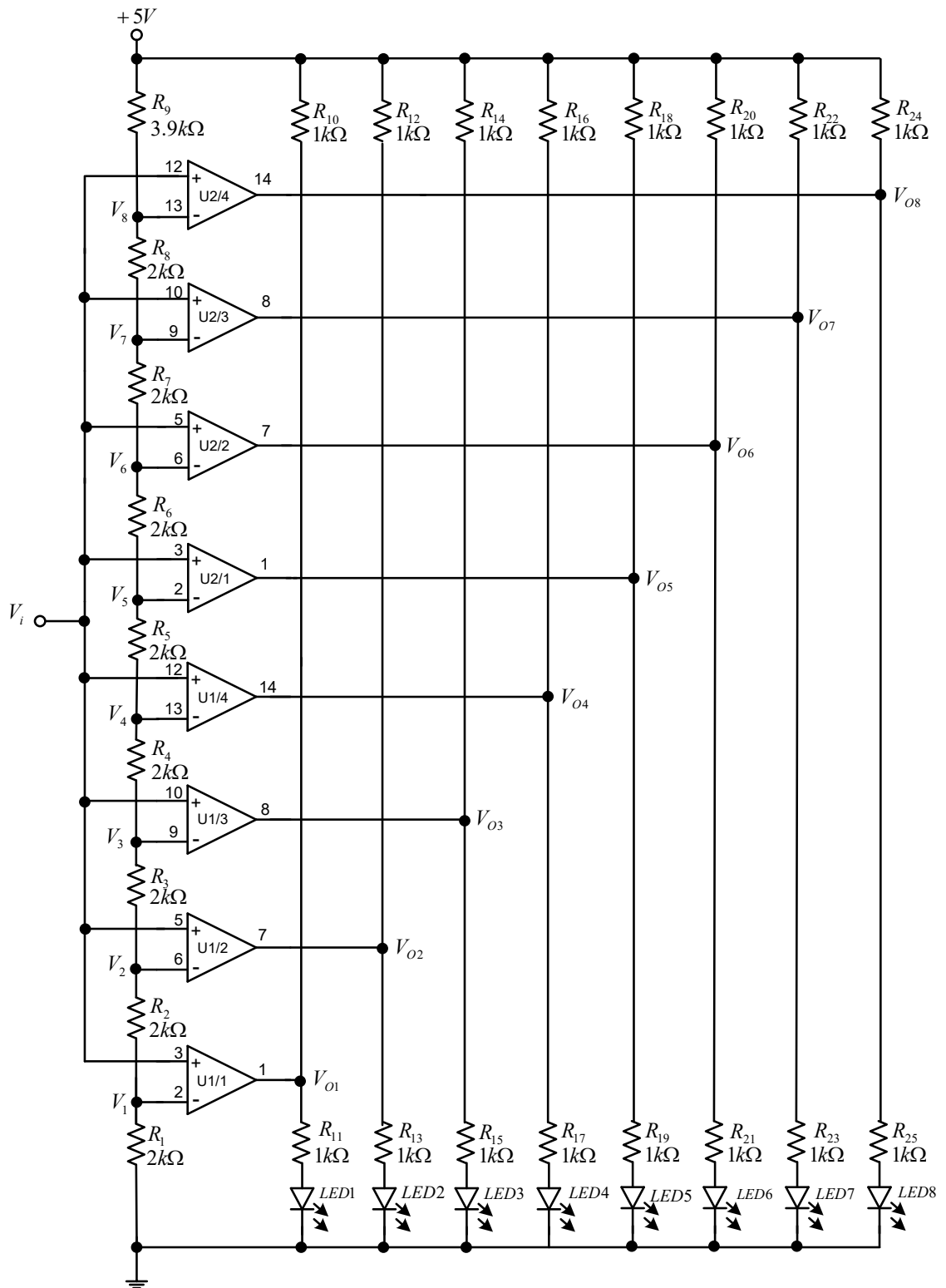


ภาพที่ 5.6 เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการทดลอง

4. อุณหภูมิที่เทอร์โมคัปเปิลได้รับ ณ ตำแหน่ง T_1 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน V_0 หรือไม่อย่างไร

เมื่อให้ความร้อนที่จุด T_1 โดยใช้ไดร์เป่าลมร้อน เป็นผลทำให้ค่าแรงดันที่จุด T_2 เพิ่มขึ้น ค่าแรงดันมีค่าระดับหน่วย mV และเมื่อให้ความเย็นที่จุด T_1 โดยจุ่มลงในน้ำเย็น เป็นผลให้ค่าแรงดันที่จุด T_2 ค่อย ๆ ลดลง และมีค่าแรงดันที่เป็นแรงดันลบ.....

5. ประกอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ไอซีออปแอมป์ LM324 ดังภาพที่ 5.7 ให้จ่ายไฟเลี้ยงให้กับไอซีที่ ขา 4 ด้วยแรงดัน +5 V และ ขา 11 ต่อดึงกราวด์



ภาพที่ 5.7 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

$$V_8 = \frac{2k\Omega + 2k\Omega + 2k\Omega + 2k\Omega + 2k\Omega + 2k\Omega + 2k\Omega + 2k\Omega}{19.9k\Omega} \times 5V = 4V$$

8. จากภาพที่ 5.7 เปลี่ยนค่า R_9 จาก $3.9\text{ k}\Omega$ เป็น $7.5\text{ k}\Omega$ อุปกรณ์ที่เหลือคงเดิม จากนั้นปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_i) ให้ LED ติดและดับ ตามตารางที่ 5.2 และใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่า V_i บันทึกผลลงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

LED 8	LED 7	LED 6	LED 5	LED 4	LED 3	LED 2	LED 1	V_i
ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ติด	0.4 V
ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ติด	ติด	0.8 V
ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ติด	ติด	ติด	1.2 V
ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ติด	ติด	ติด	ติด	1.7 V
ดับ	ดับ	ดับ	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	2 V
ดับ	ดับ	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	2.6 V
ดับ	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	2.9 V
ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	3.3 V

9. การเปลี่ยนค่า R_9 มีผลต่อค่าแรงดัน V_i และการติด ดับ ของ LED อย่างไร

การติด ดับ ของ LED ขึ้นอยู่กับระดับของแรงดัน V_i กับ ค่าความต้านทานที่ต่อแบบแบ่งแรงดันตั้งแต่ R_1 ถึง R_9 เมื่อปรับเพิ่มค่าความต้านทาน R_9 มีผลให้ระดับแรงดันที่ทำให้ LED ติด ดับ มีค่าระดับแรงดันลดลงจากเดิม เช่น เมื่อเทียบกับติดดับของ LED เป็น BINARY 00000001 เดิม ต้องป้อน $V_i = 0.5\text{ V}$ แต่เมื่อปรับค่า R_9 ใหม่ จะใช้ป้อน $V_i = 0.1\text{ V}$ หรือที่ 11111111 เดิมต้องป้อน $V_i = 5\text{ V}$ แต่เมื่อปรับค่า R_9 ใหม่ จะใช้ป้อน $V_i = 3.3\text{ V}$

คำถามท้ายการทดลอง

1. อุณหภูมิที่ตัวเทอร์โมคัปเปิลได้รับที่จุด T_1 มีผลอย่างไรต่อแรงดัน V_0 อย่างไร

เมื่อเทอร์โมคัปเปิลได้รับอุณหภูมิเพิ่มสูงตัวเทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนอุณหภูมิให้เป็นแรงดัน V_0 ที่เป็นค่าบวกที่สูงขึ้น และเมื่อเทอร์โมคัปเปิลได้รับอุณหภูมิต่ำตัวเทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนอุณหภูมิให้เป็นแรงดัน V_0 ที่เป็นค่าลบ

2. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน V_i มีผลต่อเอาต์พุตที่เป็น LED อย่างไร

.....การเปลี่ยนระดับแรงดันของ V_i มีผลต่อการติดดับของ LED คือ เมื่อ V_i มีค่ามากกว่าแรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้งของออปแอมป์ตัวใดก็จะทำให้ออปแอมป์ตัวนั้นทำงานเป็นผลให้ LED ที่ต่อที่เอาต์พุตติด แรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้งในวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะประกอบด้วย $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ และ V_8

3. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีในงานอุตสาหกรรม

จากเว็บไซต์ : <https://youtu.be/UTZuObgvyMc>

หรือสแกน QR Code



อธิบายขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีในงานอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีในงานอุตสาหกรรม มีขั้นตอนคือใช้เทอร์โมคัปเปิลทรานสดิวเซอร์ในการตรวจวัดอุณหภูมิโดยที่จุดรอยต่อร้อนจะเป็นตัวรับอุณหภูมิในเตาเผาและแปลงค่าอุณหภูมิให้เป็นแรงดัน ในการใช้งานเทอร์คัปเปิลสามารถต่อเข้ากับโดยไม่ต้องขยายเนื่องจากใช้ในอุณหภูมิสูงมากก็ให้แรงดันสูง ต่อเข้าการ์ดอนาล็อกและส่งให้ PLC ทำการประมวลข้อมูลนำข้อมูลส่งออกออกเพื่อความคุ้มค่าก๊าซและวาล์วอีกซิเจน ทำให้เตาอบมีอุณหภูมิคงที่.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 6

ใบงานรวม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อให้ นักศึกษาสามารถ

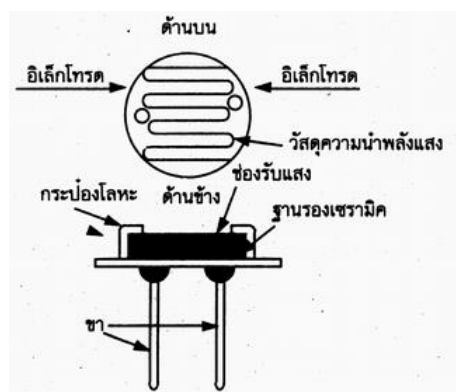
1. ประกอบวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ร่วมกับแอลดีอาร์ได้
2. ประกอบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันด้วยไอซี LM331 ได้
3. ประกอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลได้
4. เชื่อมต่อวงจรรวมตามบล็อกไดอะแกรมได้
5. ปรับค่าความถี่ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้เหมาะสม
6. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้
7. อธิบายการทำงานของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้
8. อธิบายการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลได้
9. อธิบายผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เอาต์พุตได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

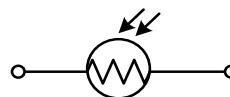
- | | |
|---------------------------------------------|-----------|
| 1. ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี | 1 ชุด |
| 2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 1 เครื่อง |

เนื้อหาทฤษฎี

แอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor : LDR) หรือตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงเป็นอุปกรณ์ชนิด 2 ขั้ว ที่ค่าความต้านทานระหว่างขั้วทั้งสองสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของแอลดีอาร์ดังภาพที่ 6.1



(ก) โครงสร้าง



(ข) สัญลักษณ์

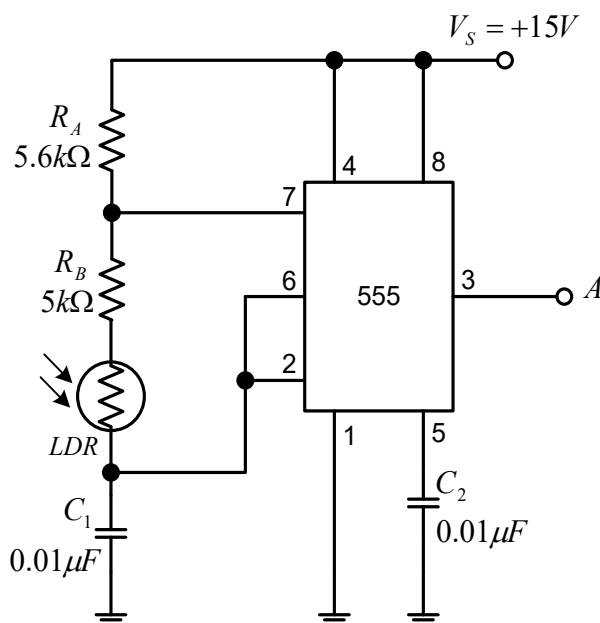
ภาพที่ 6.1 แอลดีอาร์

จากภาพที่ 6.1 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของแอลดีอาร์ โครงสร้างประกอบด้วยสารตัวต้านทานไวแสงประเภทสารกึ่งตัวนำ ส่วนมากผลิตจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium : CdS) หรือ แคดเมียมซีลีไนด์ (Cadmium Selenide : CdSe) สร้างเป็นขดลักษณะหยักไปมาบนฐานเซรามิก ปลายทั้งสองของสารตัวต้านทานไวแสงถูกต่อขาออกมาใช้งานภายนอก

ตัวแอลดีอาร์ที่ผลิตมาใช้งานจะมีลักษณะโครงสร้างภายนอกแตกต่างกัน เช่น ตัวถังเป็นพลาสติกหุ้มรอบตัว ตัวถังเป็นโลหะหุ้มโดยรอบทุกด้านเว้นด้านบนเป็นแก้วใสบังส่วนแอลดีอาร์ไว้ หรือแบบที่ถูกเคลือบด้วยเรซินทั้งตัว ถึงแม้ว่าลักษณะโครงสร้างภายนอกมีความแตกต่างกัน แต่คุณสมบัติในการทำงานเหมือนกันคือ เมื่อมีแสงความเข้มสูงส่องมาตกระบบแอลดีอาร์ ความเข้มของแสงทำให้อิเล็กตรอนในตัวแอลดีอาร์เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายในโครงสร้างสูงเป็นผลทำให้เกิดจำนวนอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานในตัวแอลดีอาร์ลดต่ำลง ในทางตรงข้ามเมื่อแสงความเข้มต่ำส่องมาตกระบบแอลดีอาร์ ความเข้มแสงทำให้อิเล็กตรอนในตัวแอลดีอาร์ เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายในโครงสร้างต่ำ เป็นผลให้เกิดจำนวนอิเล็กตรอนอิสระลดต่ำลง ค่าความต้านทานในตัวแอลดีอาร์จึงเพิ่มสูงขึ้น

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ดังภาพที่ 6.2



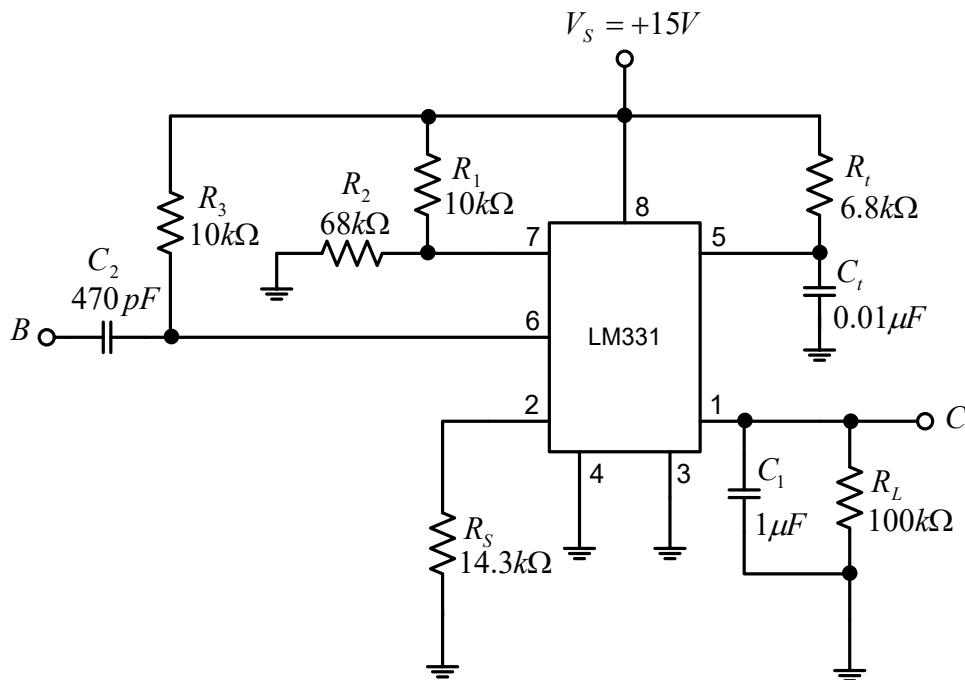
ภาพที่ 6.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ตำแหน่ง A จากนั้นทดลองเพิ่มแสงและลดแสงที่ส่องกระทบให้แอลดีอาร์ พร้อมทั้งสังเกตค่าความถี่ที่ตำแหน่ง A

3. ความเข้มแสงที่ส่องกระทบแอลดีอาร์ มีผลกับความถี่ที่ตำแหน่ง A หรือไม่ อย่างไร

ความเข้มแสงที่ส่องกระทบแอลดีอาร์ มีผลกับความถี่ที่ตำแหน่ง โดยตรง คือ เมื่อแอลดีอาร์ ได้รับแสงทำให้ความต้านทานของแอลดีอาร์ลดลงลดลง ทำให้ความถี่ที่ตำแหน่ง A เพิ่มขึ้น และ เมื่อลดความเข้มแสงที่ส่องให้แอลดีอาร์ทำให้ความต้านทานที่แอลดีอาร์เพิ่มขึ้น ทำให้ที่ตำแหน่ง A ความถี่ลดลง.....

4. ประกอบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันดังภาพที่ 6.3

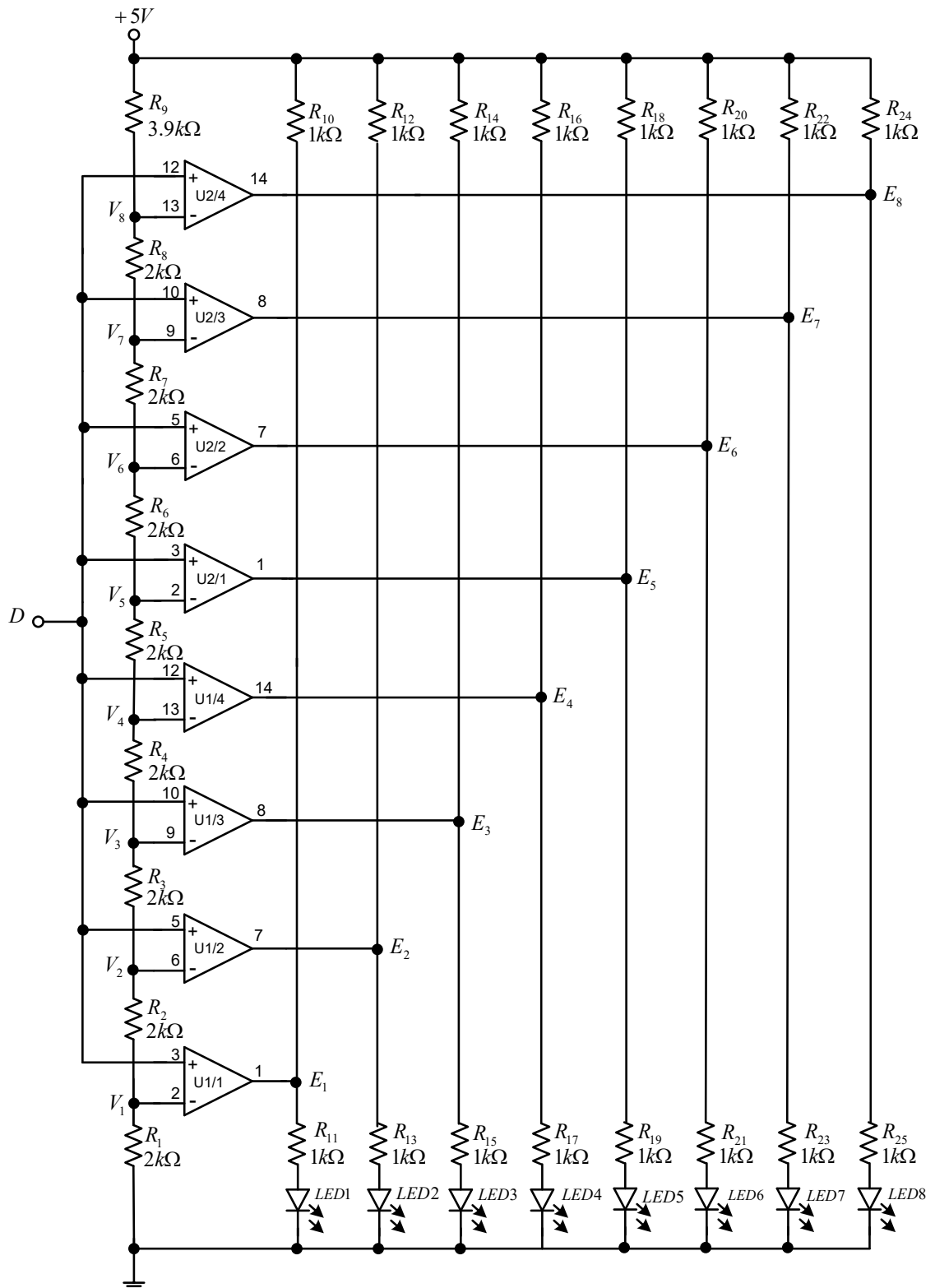


ภาพที่ 6.3 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

5. ใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์บ่อนสัญญาณอินพุต (f) รูปคลื่น Square Wave ความถี่ 1 kHz ขนาด 4 V_{p-p} ที่ตำแหน่ง B
6. ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุต (V_O) ที่ตำแหน่ง C จากนั้นปรับความถี่จาก 1 kHz เพิ่มทีละ 1 kHz จนถึง 10 kHz พร้อมทั้งสังเกตค่าแรงดันเอาต์พุต V_O
7. ความถี่ของสัญญาณอินพุตที่ตำแหน่ง B ที่เปลี่ยนแปลง มีผลต่อค่าแรงดันเอาต์พุตที่ตำแหน่ง Cหรือไม่ อย่างไร

ความถี่ของสัญญาณอินพุตที่ตำแหน่ง B ที่เปลี่ยนแปลง มีผลต่อค่าแรงดันเอาต์พุตโดยตรง คือ เมื่อปรับความถี่ของสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นทำให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกัน เมื่อเพิ่มความถี่ 1 kHz ก็ทำให้แรงเอาต์พุตเพิ่มขึ้น 1 V.....

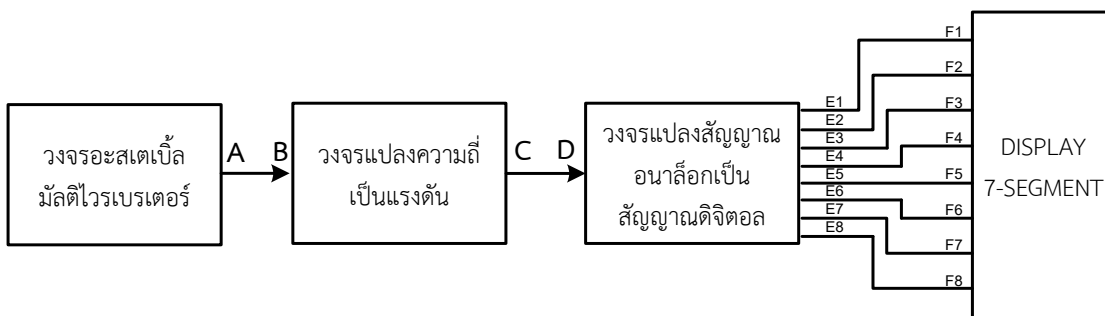
8. ประกอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังภาพที่ 6.4



ภาพที่ 6.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

9. ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ ป้อนให้ตำแหน่ง D จากนั้นปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 V พร้อมสังเกตการติดและดับของ LED

10. นำสัญญาณจากตำแหน่ง A ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เชื่อมต่อกับตำแหน่ง B ของวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน จากนั้นนำสัญญาณจากตำแหน่ง C ของวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันเชื่อมต่อกับตำแหน่ง D ของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และนำสัญญาณจากตำแหน่ง E₁, E₂, E₃, E₄, E₅, E₇ และ E₈ ของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเชื่อมต่อกับ ตำแหน่ง F₁, F₂, F₃, F₄, F₅, F₇ และ F₈ ที่บอร์ดชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี การเชื่อมต่อวงจรดังภาพที่ 6.5



ภาพที่ 6.5 บล็อกไดอะแกรมวงจรรวม

11. โยกสวิตช์ SW1 ON ที่บอร์ดชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี จากนั้นทดลองเพิ่มแสงและลดแสงที่ส่องกระทบให้แอลดีอาร์ พร้อมสังเกตการติด/ดับของ LED และการแสดงผลของ 7 Segment ที่บอร์ดชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

12. ความเข้มของแสงมีผลต่อการทำงานของวงจรแสดงผลอย่างไร

.....ความเข้มแสงที่ส่องกระทบแอลดีอาร์ มีผลกับวงจรแสดงผล คือ ความเข้มแสงที่ส่องกระทบแอลดีอาร์ ที่มีความเข้มของแสงในระดับต่าง ๆ...ทำให้วงจรแสดงผลแสดงตัวเลขในรูปแบบ 7-เซกเมนต์เป็นเลข 0-7 ที่ความเข้มแสงที่ส่องกระทบแอลดีอาร์สูงวงจรแสดงผลจะแสดงเลข 7 และเมื่อให้ความเข้มแสงลดลงการแสดงผลตัวเลขก็จะลดลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแสดง 0 เมื่อแอลดีอาร์ไม่ได้รับแสงเลย.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ถ้าต้องการลดจำนวนสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ทำได้หรือไม่อย่างไร

ทำได้ ขึ้นอยู่กับการใช้งานและต้องออกแบบวงจรให้สอดคล้องให้การทำงานของอุปกรณ์ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด.....

2. ความเข้มแสงที่ส่องกระทบแอลดีอาร์ มีผลต่อการทำงานของวงจรต่าง ๆ อย่างไรบ้าง

เมื่อแอลดีอาร์ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงทำให้ความต้านทานของแอลดีอาร์ลดลงส่งผลให้ความถี่ที่ตำแหน่ง A ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เพิ่มสูงขึ้น ส่งต่อเป็นสัญญาณอินพุตที่ตำแหน่ง B ให้กับวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน ทำให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ตำแหน่ง C สูงด้วย และแรงดันจะถูกส่งต่อให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าที่ตำแหน่ง D เอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล อุปกรณ์ทำงานทั้ง 8 บิต LED ทุกดวงติดหมด วงจรแสดงผลแสดงตัวเลข 7 ถ้าลดแสงลงความเข้มแสงลดลงทำให้ความต้านทานของแอลดีอาร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความถี่ที่ตำแหน่ง A ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ลดลง วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันก็ให้แรงดันเอาต์พุตลดลง วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เอาต์พุตของวงจร อุปกรณ์ทำงานไม่ครบทั้ง 8 บิต LED มีทั้งติดและดับ ขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน ส่งผลให้วงจรแสดงผลแสดงตัวเลขต่ำกว่า 7 ลงมา

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ค

แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

แบบประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านใบงาน
ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

คำชี้แจง เนื้อหาของใบงานชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี มีคุณภาพอยู่ในระดับใด

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องด้านขวามือ ตามความคิดเห็นของท่าน

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5 , ดี = 4 , ปานกลาง = 3 , พอใช้ = 2 , ควรปรับปรุง = 1

ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ความสอดคล้องของจุดประสงค์กับหัวข้อใบงาน					
2. ความสอดคล้องของเนื้อหากับการทดลอง					
3. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างจร ตาราง กราฟ กับการทดลอง					
4. ความเหมาะสมในการกำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจร					
5. ขั้นตอนการทดลองสอดคล้องตามจุดประสงค์					
6. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง					
7. การบันทึกผลการทดลองสัมพันธ์กับขั้นตอนการทดลอง					
8. การช่วยกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดการคิดวิเคราะห์					
9. การทดลองใช้เวลาได้ตามกำหนดเวลา					
10. ความเหมาะสมกับระดับความรู้ของนักศึกษา					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)

**แบบประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านแผนทดลอง
ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี**

คำชี้แจง แผนทดลองของชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี มีคุณภาพอยู่ในระดับใด โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องด้านขวามือ ตามความคิดเห็นของท่าน
คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5 , ดี = 4 , ปานกลาง = 3 , พอใช้ = 2 , ควรปรับปรุง = 1

ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ความสัมพันธ์ของแผนทดลองกับใบงาน					
2. ขนาด รูปร่าง ของแผนทดลองมีความเหมาะสมในการปฏิบัติ					
3. แผนทดลองมีความแข็งแรง คงทน					
4. วัสดุที่นำมาใช้มีความเหมาะสม					
5. น้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้ในการทดลองได้สะดวก					
6. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งอุปกรณ์					
7. แผนทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้					
8. ความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ					
9. ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา					
10. ความสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินความสอดคล้องด้านการออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (ด้านใบงาน) สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

คำชี้แจง การออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี มีความสอดคล้องกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมอยู่ในระดับใด โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องด้านขวามือ
ตามความคิดเห็นของท่าน

ระดับคะแนน +1 หมายถึง ความคิดเห็นว่าการออกแบบสร้างใบงานมีความสอดคล้องกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ระดับคะแนน 0 หมายถึง ความคิดเห็นไม่แน่ใจว่าการออกแบบสร้างใบงานมีความสอดคล้อง
กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ระดับคะแนน -1 หมายถึง ความคิดเห็นว่าการออกแบบสร้างใบงานไม่สอดคล้องกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น		
	+1	0	-1
1. ความสอดคล้องของจุดประสงค์กับหัวข้อใบงาน			
2. ความสอดคล้องของเนื้อหากับการทดลอง			
3. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปวงจร ตาราง กราฟ กับการทดลอง			
4. ความเหมาะสมในการกำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจร			
5. ขั้นตอนการทดลองสอดคล้องตามจุดประสงค์			
6. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง			
7. การบันทึกผลการทดลองสัมพันธ์กับขั้นตอนการทดลอง			
8. การช่วยกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดการคิดวิเคราะห์			
9. การทดลองใช้เวลาได้ตามกำหนดเวลา			
10. ความเหมาะสมกับระดับความรู้ของนักศึกษา			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)

แบบประเมินความสอดคล้องด้านการออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (ด้านแฝงทดลอง) สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

คำชี้แจง การออกแบบสร้างแฝงทดลองชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมอยู่ในระดับใด โปรดทำเครื่องหมาย
✓ ลงในช่องด้านขวามือ ตามความคิดเห็นของท่าน
ระดับคะแนน +1 หมายถึง ความคิดเห็นว่าการออกแบบสร้างแฝงทดลองมีความสอดคล้อง
กับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
ระดับคะแนน 0 หมายถึง ความคิดเห็นไม่แน่ใจว่าการออกแบบสร้างแฝงทดลองมีความ
สอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
ระดับคะแนน -1 หมายถึง ความคิดเห็นว่าการออกแบบสร้างแฝงทดลองไม่สอดคล้องกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น		
	+1	0	-1
1. ความสัมพันธ์ของแฝงทดลองกับใบงาน			
2. ขนาด รูปร่าง ของแฝงทดลองมีความเหมาะสมในการปฏิบัติ			
3. แฝงทดลองมีความแข็งแรง คงทน			
4. วัสดุที่นำมาใช้มีความเหมาะสม			
5. น้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้ในการทดลองได้สะดวก			
6. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งอุปกรณ์			
7. แฝงทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้			
8. ความปลอดภัยในขณะฝึกปฏิบัติ			
9. ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา			
10. ความสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)

ตารางที่ ค.1 ความสอดคล้องด้านการออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ด้านใบงาน

รายการ	$\sum R$	IOC	การแปลค่า
1. ความสอดคล้องของจุดประสงค์กับหัวข้อใบงาน	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2. ความสอดคล้องของเนื้อหากับการทดลอง	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่าง ตาราง กราฟ กับการทดลอง	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4. ความเหมาะสมในการกำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจร	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
5. ขั้นตอนการทดลองสอดคล้องตามจุดประสงค์	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
6. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
7. การบันทึกผลการทดลองสัมพันธ์กับขั้นตอนการทดลอง	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
8. การช่วยกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดการคิดวิเคราะห์	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
9. การทดลองใช้เวลาได้ตามกำหนดเวลา	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
10. ความเหมาะสมกับระดับความรู้ของนักศึกษา	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้

ตารางที่ ค.2 ความสอดคล้องด้านการออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ด้านแผงทดลอง

รายการ	$\sum R$	IOC	การแปลค่า
1. ความสัมพันธ์ของแผงทดลองกับใบงาน	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
2. ขนาด รูปร่าง ของแผงทดลองมีความเหมาะสมในการปฏิบัติ	5	0.8	สอดคล้อง ใช้ได้
3. แผงทดลองมีความแข็งแรง คงทน	5	0.8	สอดคล้อง ใช้ได้
4. วัสดุที่นำมาใช้มีความเหมาะสม	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
5. น้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้ในการทดลองได้สะดวก	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
6. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งอุปกรณ์	5	0.8	สอดคล้อง ใช้ได้
7. แผงทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	5	0.8	สอดคล้อง ใช้ได้
8. ความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
9. ความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
10. ความสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง	4	0.8	สอดคล้อง ใช้ได้

ตารางที่ ค.3 ผลการประเมินหาคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

ด้านใบงาน

ข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ					\bar{X}	SD.	แปลผล
	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5			
1	5	5	4	5	4	4.60	0.55	ดีมาก
2	4	5	4	5	4	4.40	0.55	ดี
3	5	4	4	5	4	4.40	0.55	ดี
4	5	5	4	5	5	4.80	0.45	ดีมาก
5	5	5	4	5	4	4.60	0.55	ดีมาก
6	4	5	4	5	4	4.40	0.55	ดี
7	4	5	4	5	4	4.40	0.55	ดี
8	4	5	4	5	4	4.40	0.55	ดี
9	4	4	4	5	5	4.40	0.55	ดี
10	4	5	4	5	5	4.60	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย						4.50	0.54	ดีมาก

ตารางที่ ค.4 ผลประเมินหาคุณภาพชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

ด้านแพ่งทดลอง

ข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ					\bar{X}	SD.	แปลผล
	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5			
1	5	5	4	5	4	4.80	0.45	ดีมาก
2	5	4	4	4	5	4.40	0.55	ดี
3	4	5	4	5	5	4.60	0.55	ดีมาก
4	4	5	4	4	5	4.40	0.55	ดี
5	5	4	4	4	5	4.40	0.55	ดี
6	5	5	4	5	5	4.60	0.55	ดีมาก
7	4	4	4	4	4	4.00	0.00	ดี
8	4	5	4	5	4	4.40	0.55	ดี
9	5	5	4	5	4	4.60	0.55	ดีมาก
10	5	5	4	5	4	4.60	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย						4.48	0.48	ดี

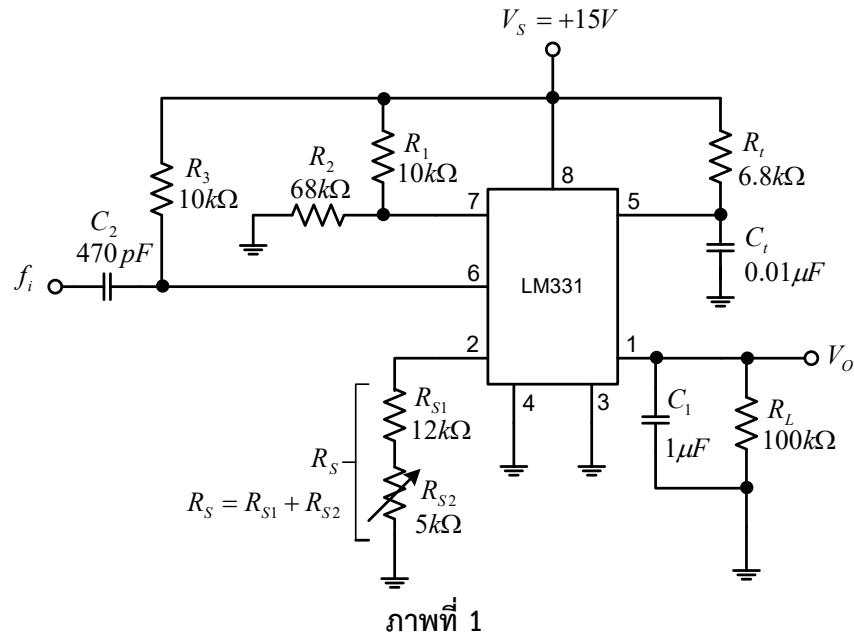
ภาคผนวก ง

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบข้อที่ถูกที่สุด

จากภาพที่ 1 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 1- 8



- สัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน คือ
 - Sine Wave
 - Square Wave**
 - Triangle Wave
 - Saw tooth Wave
- R_S ในวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน ทำหน้าที่อะไร
 - กรองความสูงผ่าน
 - จำกัดค่าฮิตเตอร์ริซิส
 - จำกัดสัญญาณรบกวน
 - ปรับอัตราขยายของวงจร**
- กำหนดให้ $f_{in} = 10 \text{ kHz}$, $V_o = 10 \text{ V}$ จงหาค่าความต้านทาน R_S
 - 12.421 kΩ
 - 12.212 kΩ
 - 14.212 kΩ**
 - 14.412 kΩ
- เมื่อต้องการออกแบบหาค่า R_S ควรใช้สูตรใด

ก.
$$R_S = \frac{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t \times f_i}{V_O}$$

ข.
$$R_S = \frac{V_O}{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t \times f_i}$$

ค.
$$R_S = \frac{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t}{f_i \times V_O}$$

ง.
$$R_S = 2.09 \times R_L \times R_t \times C_t \times f_i \times V_O$$

5. เมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_L มีผลต่อค่าแรงดัน V_O อย่างไร
- แรงดัน V_O คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
 - เพิ่มค่าความต้านทาน R_L ทำให้ค่าแรงดัน V_O ลดลง
 - ลดค่าความต้านทาน R_L ทำให้ค่าแรงดัน V_O เพิ่มขึ้น
 - ลดค่าความต้านทาน R_L ทำให้ค่าแรงดัน V_O ลดลง**
6. C_t, R_t มีผลต่อวงจรอย่างไร
- มีผลต่อค่าแรงดันเอาต์พุต**
 - มีผลต่อความถี่ของสัญญาณอินพุต
 - มีผลต่อรูปร่างแรงดันเอาต์พุต
 - รักษาเสถียรภาพด้านอนุภูมิของวงจร
7. ถ้ากำหนดให้ $R_S = 14.3 \text{ k}\Omega$ และ $f_i = 3 \text{ kHz}$ จงคำนวณหาค่า V_O
- 2.98 V**
 - 3.3 V
 - 4.3 V
 - 10 V
8. ข้อใดไม่ใช่วิธีการปรับปรุงวงจรให้มีการเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น
- ป้อนสัญญาณอินพุต 1 kHz ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งค่าแรงดัน $V_O = 1 \text{ V}$
 - ป้อนสัญญาณอินพุต 1 kHz ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งค่าแรงดัน $V_O = 10 \text{ V}$**
 - ป้อนสัญญาณอินพุต 10 kHz ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งค่าแรงดัน $V_O = 10 \text{ V}$
 - ถูกทั้งข้อ ก และ ข้อ ข

9. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันมีลักษณะอย่างไร
- ก. แบบขั้นบันได
 - ข. เอ็กโพเนนเชียล
 - ค. ลิเนียร์**
 - ง. นอนลิเนียร์
10. ข้อใดไม่ใช่การนำวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไปใช้ในงาน
- ก. เครื่องวัดความถี่
 - ข. ควบคุมความเร็วมอเตอร์
 - ค. เครื่องวัดความเร็วรอบ
 - ง. แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล**

ตาราง ง.1 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

ข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ					IOC	แปลผล
	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2	0	1	0	1	1	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
3	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
5	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
7	0	1	1	1	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
8	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
9	1	1	-1	0	1	0.40	ตัดทิ้ง
10	1	1	0	1	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
11	1	1	0	1	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
12	1	1	0	0	1	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
13	1	1	0	0	1	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
14	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง ง.2 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ
เรื่องวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

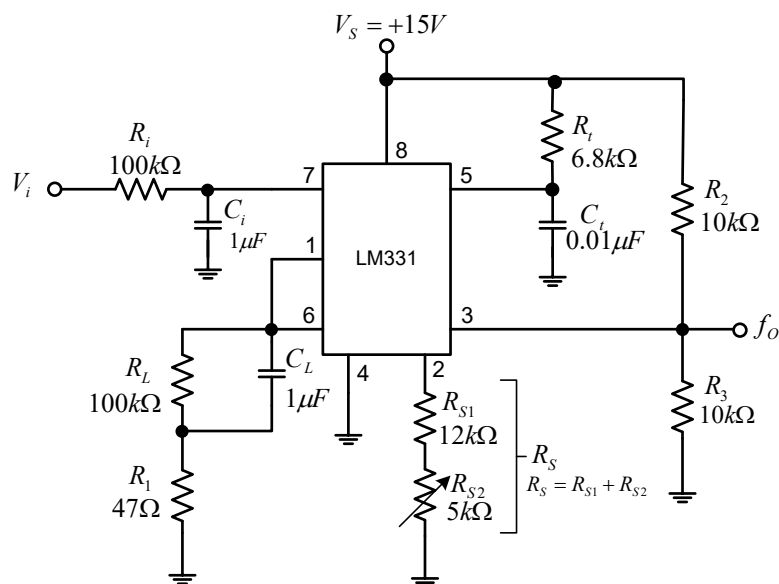
ข้อ ที่	กลุ่ม เก่ง (P _H)	กลุ่ม อ่อน (P _L)	P	แปลความหมาย	r	แปล ความหมาย	ผลการ ประเมิน
1	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
2	5	5	1	ง่ายมาก	0	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
3	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
4	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
5	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
6	4	1	0.5	ยากง่ายปานกลาง	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
7	2	5	0.7	ค่อนข้างง่าย	-0.6	ไม่สามารถจำแนกได้	นำไปใช้
8	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
10	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
11	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
12	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
13	5	5	1	ง่ายมาก	0	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
14	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้

หมายเหตุ แบบทดสอบข้อที่ 9 ตัดทิ้งเนื่องจากค่า IOC ต่ำกว่า 0.5

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบข้อที่ถูกที่สุด

จากภาพที่ 1 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 1- 9



ภาพที่ 1

1. วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ จะได้สัญญาณเอาต์พุตแบบใด
 - ก. แบบคลื่นไซน์
 - ข. แบบคลื่นสี่เหลี่ยม
 - ค. แบบคลื่นสามเหลี่ยม
 - ง. แบบคลื่นฟันเลื่อย
2. R_S ในวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ ทำหน้าที่อะไร
 - ก. กรองความสูงผ่าน
 - ข. กำจัดค่าฮิสเตอร์ซิส
 - ค. กำจัดสัญญาณรบกวน
 - ง. ปรับอัตราส่วนของ V_{in} กับ f_{out}
3. กำหนดให้ $f_{in} = 1 \text{ kHz}$, $V_O = 1 \text{ V}$ จงหาค่าความต้านทาน R_S จะมีค่าเท่าใด
 - ก. 12.421 $k\Omega$
 - ข. 12.212 $k\Omega$
 - ค. 14.212 $k\Omega$
 - ง. 14.412 $k\Omega$

4. เมื่อต้องการออกแบบหาค่า R_S ควรใช้สูตรใด

ก.
$$R_S = \frac{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t \times f_o}{V_i}$$

ข.
$$R_S = \frac{V_i}{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t \times f_o}$$

ค.
$$R_S = \frac{2.09 \times R_L \times R_t \times C_t}{f_o \times V_i}$$

ง.
$$R_S = 2.09 \times R_L \times R_t \times C_t \times f_o \times V_i$$

5. R_1 ทำหน้าที่อะไร

- ก. ปรับอัตราขยายของสัญญาณเอาต์พุต
- ข. ปรับค่ากระแสเอาต์พุตให้สูงขึ้น
- ค. เพิ่มค่าไมท์คอนสแตนต์ให้กับ C_L กับ R_L
- ง. ลดค่าอิมพีแดนซ์ ช่วยให้งจรทำงานเป็นเชิงเส้น

6. ถ้ากำหนดให้ $R_S = 14.3 \text{ k}\Omega$ และ $V_i = 5 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่า f_o

- ก. 1 kHz
- ข. 4.3 kHz
- ค. 5 kHz
- ง. 10 kHz

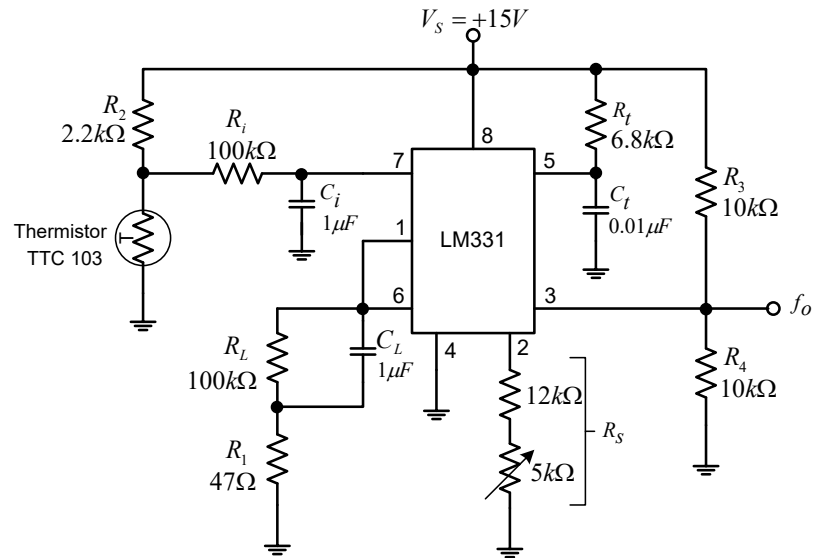
7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันมีลักษณะอย่างไร

- ก. แบบขั้นบันได
- ข. เอ็กโพเนนเชียล
- ค. ลิเนียร์
- ง. นอนลิเนียร์

8. วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันนำไปใช้ในงานอะไรบ้าง

- ก. แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล
- ข. ควบคุมความเร็วมอเตอร์
- ค. ควบคุมระบบเปิดปิดอัตโนมัติ
- ง. แปลงความถี่ในภาคจูนเนอร์เครื่องรับวิทยุ

9. ข้อใดไม่ใช่วิธีการปรับปรุงวงจรให้มีการเปลี่ยนแรงดันเป็นความถี่ มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น
- ป้อนสัญญาณอินพุต 1 V ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งความถี่ $f_o = 1 \text{ kHz}$
 - ป้อนสัญญาณอินพุต 1 V ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งความถี่ $f_o = 10 \text{ kHz}$
 - ป้อนสัญญาณอินพุต 10 V ปรับตัวต้านทาน R_{S2} จนกระทั่งความถี่ $f_o = 10 \text{ kHz}$
 - ถูกทั้งข้อ ก และ ข้อ ข
10. จากภาพที่ 2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทอร์มิสเตอร์ เมื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่เทอร์มิสเตอร์ มีผลต่อเอาต์พุตอย่างไร



ภาพที่ 2

- ค่าความถี่คงที่ 1 kHz
- ค่าความถี่คงที่ 10 kHz
- ค่าความถี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
- ค่าความถี่มีแนวโน้มลดลง

ตาราง ง.3 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

ข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ					IOC	แปลผล
	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5		
1	0	1	1	1	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
2	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
5	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
7	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
8	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
9	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
10	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	1	1	-1	1	1	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
12	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14	1	1	-1	1	1	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง ง.4 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ
เรื่องวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

ข้อ ที่	กลุ่ม เก่ง (P _H)	กลุ่ม อ่อน (P _L)	P	แปลความหมาย	r	แปล ความหมาย	ผลการ ประเมิน
1	5	5	1	ง่ายมาก	0	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
2	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
3	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
4	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
5	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
6	2	4	0.6	ยากง่ายปานกลาง	-0.4	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
7	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
8	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
9	2	4	0.6	ยากง่ายปานกลาง	-0.4	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
10	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
11	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
12	4	1	0.5	ยากง่ายปานกลาง	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
13	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
14	5	4	0.9	ง่ายมาก	0.2	จำแนกพอใช้ได้	ใช้ไม่ได้

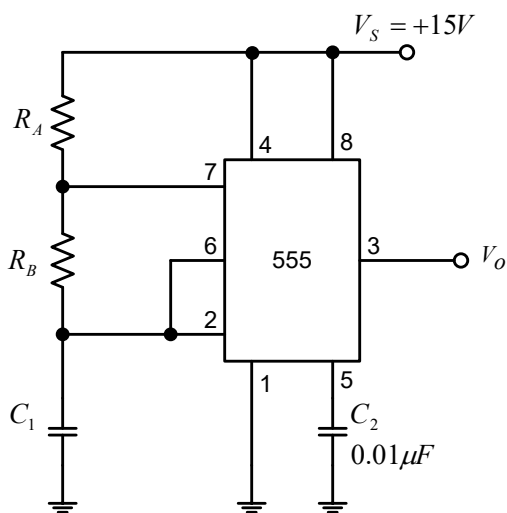
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

วงจรตั้งเวลา

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบข้อที่ถูกที่สุด

1. ข้อใดหมายถึงวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์
 - ก. วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะเอาต์พุตตลอดเวลาตามค่าอุปกรณ์
 - ข. วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะเอาต์พุตเป็นระยะเวลาหนึ่งเมื่อมีสัญญาณกระตุ้น
 - ค. วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะเอาต์พุตกลับไปกลับมาเมื่อมีสัญญาณกระตุ้น
 - ง. วงจรที่ทำหน้าที่รักษาระดับสถานะเอาต์พุตให้คงที่
2. ข้อใดหมายถึงวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์
 - ก. วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะเอาต์พุตตลอดเวลาตามค่าอุปกรณ์
 - ข. วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะเอาต์พุตเป็นระยะเวลาหนึ่งเมื่อมีสัญญาณกระตุ้น
 - ค. วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะเอาต์พุตกลับไปกลับมาเมื่อมีสัญญาณกระตุ้น
 - ง. วงจรที่ทำหน้าที่รักษาระดับสถานะเอาต์พุตให้คงที่

จากภาพที่ 1 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 3 - 6

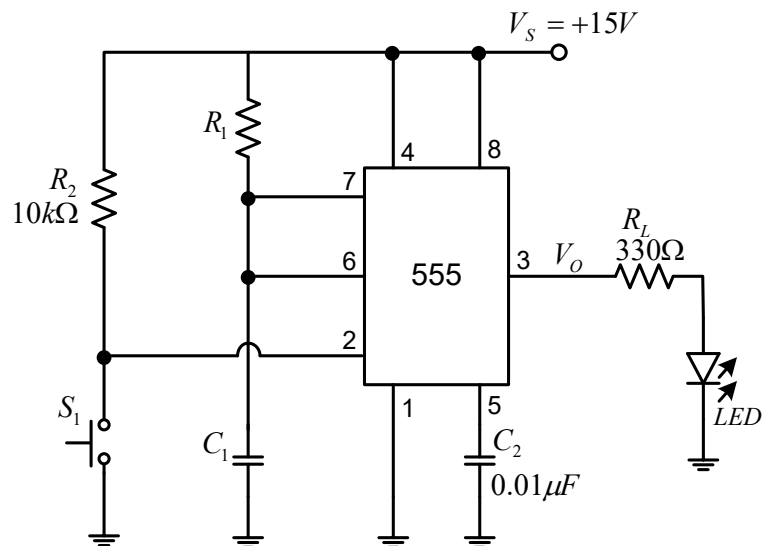


ภาพที่ 1

3. วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ดังภาพที่ 1 เมื่อกำหนดให้ R_A และ R_B มีค่าคงที่ และเปลี่ยนค่า C สัญญาณเอาต์พุตมีผลอย่างไร
 - ก. ความถี่เปลี่ยนแปลง
 - ข. ขนาดของสัญญาณเปลี่ยนแปลง
 - ค. ค่าตัวตีสไซเกิลมีการเปลี่ยนแปลง
 - ง. สัญญาณมีรูปร่างแบบเอ็กโพเนนเชียล

4. วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ดังภาพที่ 1 กำหนดให้ $R_A = 10 \text{ k}\Omega$, $R_B = 100 \text{ k}\Omega$
ค่า $C_1 = 0.022 \text{ }\mu\text{F}$ จงคำนวณหาค่าความถี่ของ V_O
- ก. 134 Hz
ข. 214 Hz
ค. 312 Hz
ง. 314 Hz
5. วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ดังภาพที่ 1 กำหนดให้ $C_1 = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$, $f = 10 \text{ kHz}$,
ค่าตัวที่ใช้เคลิล 60 % จงคำนวณหาค่า R_B
- ก. 4 k Ω
ข. 5.77 k Ω
ค. 7.47 k Ω
ง. 8.66 k Ω
6. วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ อุปกรณ์ใดที่ทำให้เกิดการสร้างสัญญาณที่เอาต์พุต
- ก. C_1 เก็บประจุและคายประจุ
ข. C_2 เก็บประจุและคายประจุ
ค. R_1 และ R_2 แบ่งค่าแรงดันที่ขา 7
ง. ถูกทุกข้อ

จากภาพที่ 2 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 7 - 10



ภาพที่ 2

7. วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ใช้สวิตช์ใดประเภทใดเหมาะสมที่สุด
- สวิตช์กดติดปล่อยดับ
 - สวิตช์โยก
 - สวิตช์เลื่อน
 - สวิตช์เลื่อนสองทาง
8. วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เวลาที่ LED ติดสว่าง ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ใด
- R_1
 - R_2
 - R_1, C_1
 - R_1, C_2
9. วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อกำหนดให้ $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 330 \mu\text{F}$ มีค่าช่วงเวลา (T) เท่าใด
- 20.2 s
 - 22.87 s**
 - 22.97 s
 - 23.24 s
10. ต้องการออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ให้ตั้งเวลา 20 วินาที โดยกำหนดให้ $C_1 = 100 \mu\text{F}$ จงคำนวณค่า R_1
- 122.5 $\text{k}\Omega$
 - 155 $\text{k}\Omega$
 - 168.81 $\text{k}\Omega$
 - 181.81 $\text{k}\Omega$**

ตาราง ง.5 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรตั้งเวลา

ข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ					IOC	แปลผล
	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
5	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
7	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
8	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
9	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
10	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง ง.6 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ
เรื่องวงจรตั้งเวลา

ข้อ ที่	กลุ่ม เก่ง (P _H)	กลุ่ม อ่อน (P _L)	P	แปลความหมาย	r	แปล ความหมาย	ผลการ ประเมิน
1	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
2	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
3	4	5	0.9	ง่ายมาก	-0.2	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
4	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
5	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
6	4	4	0.8	ค่อนข้างง่าย	0	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
7	3	1	0.4	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
8	2	5	0.7	ค่อนข้างง่าย	-0.6	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
9	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
10	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
11	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
12	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
13	5	1	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.8	จำแนกได้ดี	นำไปใช้

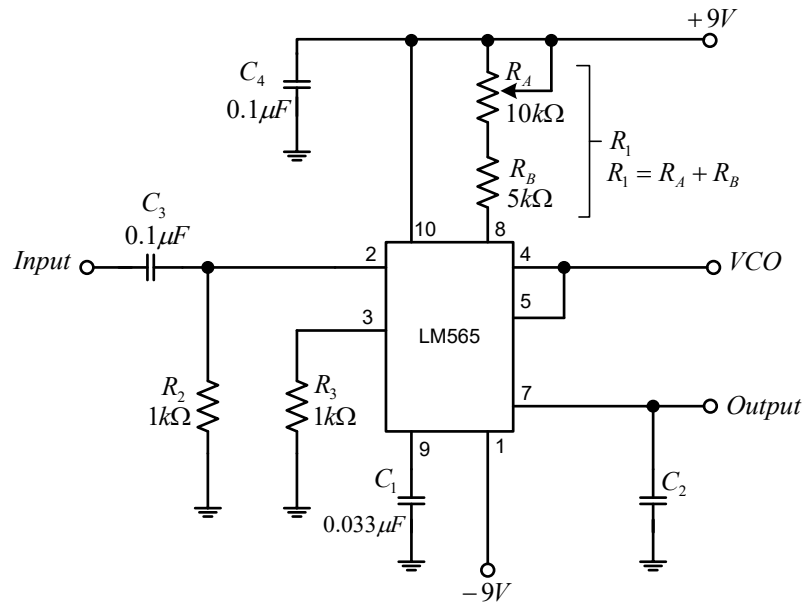
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
วงจรเฟสล็อกกลุ่

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบข้อที่ถูกที่สุด

1. วงจรเฟสล็อกกลุ่มีกี่ภาวะ
 - ก. 1 ภาวะ
 - ข. 2 ภาวะ
 - ค. 3 ภาวะ**
 - ง. 4 ภาวะ
2. ภาวะแคปเตอร์ คือ ข้อใด
 - ก. ความถี่ VCO กำลังวิ่งเข้าหาความถี่ Input**
 - ข. ความถี่ VCO เท่ากับความถี่ Input
 - ค. ความถี่ VCO มีค่าความถี่ขึ้นอยู่กับความถี่ Input
 - ง. ความถี่ VCO มีค่าเท่า 1 kHz
3. ภาวะเฟสล็อก คือ ข้อใด
 - ก. ความถี่ VCO กำลังวิ่งเข้าหาความถี่ Input
 - ข. ความถี่ VCO เท่ากับความถี่ Input**
 - ค. ความถี่ VCO มีค่าความถี่ขึ้นอยู่กับความถี่ Input
 - ง. ความถี่ VCO มีค่าเท่า 1 kHz
4. ในภาวะเฟสล็อก สัญญาณ Input กับ สัญญาณ VCO มีลักษณะอย่างไร
 - ก. มีเฟสตรงกัน ความถี่เท่ากัน
 - ข. มีเฟสต่างกัน ความถี่เท่ากัน**
 - ค. ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับความถี่ของ f_i
 - ง. ลักษณะของเฟสจะขึ้นอยู่กับความถี่ VCO
5. วงจรเฟสล็อกกลุ่นำไปประยุกต์ใช้งานอะไรได้บ้าง
 - ก. ขยายสัญญาณ
 - ข. กรองความถี่
 - ค. ดิมอดูเลตสัญญาณ**
 - ง. กำเนิดความถี่

6. การนำวงจรเฟสล็อกกลับไปต่อใช้งานในวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FM จะออกแบบวงจรอย่างไร
- ให้ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ขา 7 มีค่าต่ำ
 - ให้ย่านลือกมีความกว้างโดยให้แรงดัน V มีค่าสูงขึ้น
 - ให้ความถี่ของ VCO มีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณข้อมูล
 - ให้ความถี่ของ VCO มีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้

จากภาพที่ 1 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 7 – 10



ภาพที่ 1

7. ความถี่กลาง(f_0) หรือความถี่เฟรีรันนิ่ง ของ VCO กำหนดได้จากอุปกรณ์ใด
- R_1, C_1
 - R_1, C_2
 - R_2, C_1
 - R_3, C_4
8. อุปกรณ์ที่กำหนดย่านความถี่แคปเตอร์ (f_C) คือ
- C_1
 - C_2
 - C_3
 - C_4

9. ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดย่านความถี่ล็อกเฟสคือ

ก. C_2

ข. C_2 และสัญญาณอินพุต

ค. R_1C_1 และสัญญาณอินพุต

ง. ความถี่ VCO และ $\pm V$ แหล่งจ่าย

10. วงจรเฟสล็อกดังภาพที่ 1 ถ้ากำหนดให้ $R_1 = 9.1 \text{ k}\Omega$ จงคำนวณค่าความถี่ f_0 มีค่าเท่าใด

ก. 900 Hz

ข. 1 kHz

ค. 1.9 kHz

ง. 9.1 kHz

ตาราง ง.7 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรเฟสลือกูลูป

ข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ					IOC	แปลผล
	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
5	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
7	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
8	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
9	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
10	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
13	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง ง.8 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ
เรื่องเฟสรีกัลูป

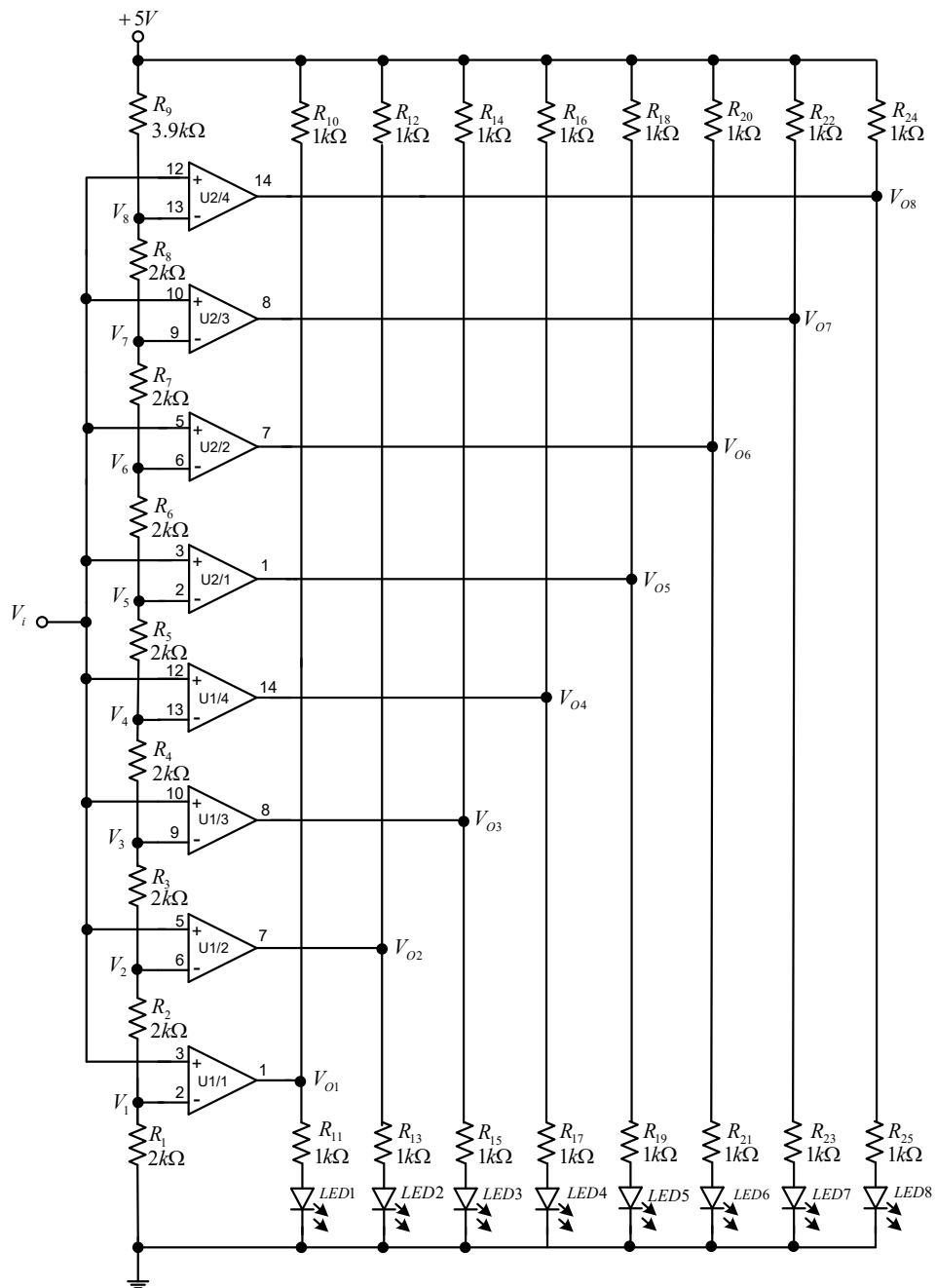
ข้อ ที่	กลุ่ม เก่ง (P _H)	กลุ่ม อ่อน (P _L)	P	แปลความหมาย	r	แปล ความหมาย	ผลการ ประเมิน
1	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
2	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
3	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
4	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
5	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
6	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
7	3	1	0.4	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
8	5	4	0.9	ง่ายมาก	0.2	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
9	2	4	0.6	ยากง่ายปานกลาง	-0.4	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
10	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
11	4	1	0.5	ยากง่ายปานกลาง	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
12	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
13	3	4	0.7	ค่อนข้างง่าย	-0.2	ไม่สามารถจำแนกได้	ใช้ไม่ได้
14	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
วงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบข้อที่ถูกที่สุด

1. เทอร์โมคัปเปิลถูกนำไปใช้งานด้านใด
 - ก. วัดแรงดันไฟฟ้า
 - ข. วัดอุณหภูมิ**
 - ค. วัดอัตราการไหล
 - ง. วัดความดัน
2. การควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาในโรงงานอุตสาหกรรม นิยมใช้อุปกรณ์ใดเป็นตัวแปลงสัญญาณ
 - ก. เทอร์มิสเตอร์
 - ข. เทอร์โมคัปเปิล**
 - ค. อาร์ ที ดี
 - ง. แอล ดี อาร์
3. สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิล คือ
 - ก. ค่าอุณหภูมิ
 - ข. ค่ากระแสไฟฟ้า
 - ค. ค่าแรงดันไฟฟ้า**
 - ง. ค่าความต้านทาน
4. ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบในงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์ประมวลผลคือ
 - ก. วงจรขยายสัญญาณ
 - ข. เทอร์โมคัปเปิล
 - ค. Human Machine Interface
 - ง. Programmable Logic Control**
5. เพราะเหตุใดจึงต้องติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลรอบเตาอบ
 - ก. สะดวกในการแสดงค่า
 - ข. ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันทุกจุด**
 - ค. เทอร์โมคัปเปิลสลับกันทำงาน
 - ง. สะดวกในการแบ่งโซนการทำงานของพนักงาน

จากภาพที่ 1 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 6 - 10



ภาพที่ 1

6. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลดังภาพที่ 1 จงคำนวณหาค่าแรงดัน V_3
- 1.01 V
 - 1.51 V**
 - 2.00 V
 - 3.05 V

7. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลดังภาพที่ 1 ถ้าจ่ายแรงดัน $V_i = 2\text{ V}$ ผลของ LED จะเป็นอย่างไร
- LED1, LED2, LED3, LED4 ติด และ LED5, LED6, LED7, LED8 ดับ
 - LED1, LED2, LED3, LED4 ดับ และ LED5, LED6, LED7, LED8 ติด
 - LED1, LED2 ติด และ LED3, LED4, LED5, LED6, LED7, LED8 ดับ
 - LED1, LED2, LED3, LED4, LED5 ติด และ LED6, LED7, LED8 ดับ
8. ผลการติด ดับ ของ LED ขึ้นอยู่กับปัจจัยใด
- ค่าแรงดันไฟฟ้าของ V_1
 - ค่าแรงดันไฟฟ้าของ V_2
 - ค่าแรงดันไฟฟ้าของ V_i**
 - ค่าแรงดันไฟฟ้าของ V_{CC}
9. การเปลี่ยนค่าความต้านทานของ R_9 มีผลอย่างไร
- ค่ากระแสอินพุต เปลี่ยนแปลง
 - ค่าแรงดัน V_i เปลี่ยนแปลง
 - อัตราขยายของวงจรเปลี่ยนแปลง
 - ระดับแรงดัน V_i ที่ทำให้ LED ติด/ดับ เปลี่ยนแปลง**
10. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลดังภาพที่ 1 ออปแอมป์ทำหน้าที่อะไร
- ขยายสัญญาณแบบกลับเฟส
 - เปรียบเทียบแรงดันแบบลูปเปิด**
 - รวมสัญญาณจากอินพุต
 - กรองความถี่สูงผ่าน

ตาราง ง.9 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เรื่องวงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม

ข้อที่	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ					IOC	แปลผล
	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4	ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5		
1	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	1	1	0	1	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
4	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
5	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
7	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
8	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
9	1	1	1	0	1	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
10	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12	1	1	1	1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองหาค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ
เรื่องวงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม

ข้อ ที่	กลุ่ม เก่ง (P _H)	กลุ่ม อ่อน (P _L)	P	แปลความหมาย	r	แปล ความหมาย	ผลการ ประเมิน
1	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
2	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
3	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
4	5	4	0.9	ง่ายมาก	0.2	จำแนกพอใช้	ใช้ไม่ได้
5	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
6	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
7	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
8	5	2	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.6	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
9	5	1	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.8	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
10	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
11	4	2	0.6	ยากง่ายปานกลาง	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้
12	5	3	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.4	จำแนกได้ดี	นำไปใช้

ภาคผนวก จ

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1 เรื่องวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

คำชี้แจง โปรดแสดงเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคะแนนที่ตรงกับการสังเกตของท่าน โดยเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ตามความคะเนนดังนี้

3 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

2 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลาง

1 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปรับปรุง

พฤติกรรมในขณะปฏิบัติงาน	คนที่.....			คนที่.....			คนที่.....			คนที่.....			คนที่.....		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
1. ประกอบวงจรได้ถูกต้อง															
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรได้ถูกต้อง															
3. ป้อนสัญญาณอินพุตให้กับวงจรได้ถูกต้อง															
4. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตได้ถูกต้อง															
5. ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุตได้ถูกต้อง															
6. ปฏิบัติงานถูกต้องตามขั้นตอนการทดลอง															
7. ปฏิบัติงานเสร็จตามกำหนด															
8. บันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอนครบถ้วน															
9. สรุปผลการทดลองได้ครบถ้วน															
10. ดูแลรักษาแผงทดลองและเครื่องมือและเก็บอย่างถูกต้อง															

ความถูกต้อง	ขั้นตอนการปฏิบัติ	ครบถ้วน	เวลาในการปฏิบัติ
ระดับ 3 ทำได้ถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	ระดับ 3 บันทึกผลครบถ้วนทุกหัวข้อ	ระดับ 3 ทำเสร็จก่อนเวลากำหนด
ระดับ 2 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ	โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 2 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ	ระดับ 2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด
2 จุด	ระดับ 2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	2 จุด	และหรือไม่เกิน 10 นาที
ระดับ 1 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ	เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	ระดับ 1 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ	ระดับ 1 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนด
3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	3 จุด ขึ้นไป	10 นาที - ขึ้นไป
	เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป		

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 2 เรื่องวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

คำชี้แจง โปรดแสดงเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคะแนนที่ตรงกับการสังเกตของท่าน โดยเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ตามความคะเนนดังนี้

3 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

2 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลาง

1 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปรับปรุง

พฤติกรรมในขณะปฏิบัติงาน	คนที่.....				คนที่.....				คนที่.....				คนที่.....				
	3	2	1		3	2	1		2	1	3		2	1	3		2
1. ประกอบวงจรได้ถูกต้อง																	
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรได้ถูกต้อง																	
3. ป้อนแรงดันอินพุตให้กับวงจรได้ถูกต้อง																	
4. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตได้ถูกต้อง																	
5. ใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่าแรงดันอินพุตได้ถูกต้อง																	
6. ปฏิบัติงานถูกต้องตามขั้นตอนการทดลอง																	
7. ปฏิบัติงานเสร็จตามกำหนด																	
8. บันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอน																	
9. สรุปผลการทดลองได้ครบถ้วน																	
10. ดูแลรักษาแผงทดลองและเครื่องมือและเก็บอย่างถูกต้อง																	

ความถูกต้อง	ขั้นตอนการปฏิบัติ	ครบถ้วน	เวลาในการปฏิบัติ
ระดับ 3 ทำได้ถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	ระดับ 3 บันทึกผลครบถ้วนทุกหัวข้อ	ระดับ 3 ทำเสร็จก่อนเวลากำหนด
ระดับ 2 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ	โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 2 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ	ระดับ 2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด
2 จุด	ระดับ 2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	2 จุด	และหรือไม่เกิน 10 นาที
ระดับ 1 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ	เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	ระดับ 1 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ	ระดับ 1 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนด
3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	3 จุด ขึ้นไป	10 นาที - ขึ้นไป
	เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป		

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 3 เรื่องวงจรตั้งเวลา

คำชี้แจง โปรดแสดงเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคะแนนที่ตรงกับการสังเกตของท่าน โดยเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ตามความคะเนนดังนี้

3 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

2 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลาง

1 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปรับปรุง

พฤติกรรมในขณะปฏิบัติงาน	คนที่.....				คนที่.....				คนที่.....				คนที่.....					
	3	2	1		3	2	1		2	1	3		2	1	3		2	1
1. ประกอบวงจรได้ถูกต้อง																		
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรได้ถูกต้อง																		
3. ใช้ข้อสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตได้ถูกต้อง																		
4. จับเวลาเอาต์พุตได้ถูกต้อง																		
5. ปรับค่าความถี่ของวงจรตามความเข้มแสงได้ถูกต้อง																		
6. ปฏิบัติงานถูกต้องตามขั้นตอนการทดลอง																		
7. ปฏิบัติงานเสร็จตามกำหนด																		
8. บันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอน																		
9. สรุปผลการทดลองได้ครบถ้วน																		
10. ดูแลรักษาแผงทดลองและเครื่องมือและเก็บอย่างถูกต้อง																		

ความถูกต้อง	ขั้นตอนการปฏิบัติ	ครบถ้วน	เวลาในการปฏิบัติ
ระดับ 3 ทำได้ถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 3 บันทึกผลครบถ้วนทุกหัวข้อ	ระดับ 3 ทำเสร็จก่อนเวลากำหนด
ระดับ 2 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	ระดับ 2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	ระดับ 2 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ 2 จุด	ระดับ 2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด และหรือไม่เกิน 10 นาที
ระดับ 1 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ 3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนด 10 นาที -ขึ้นไป

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 4 เรื่องวงจรเฟสสี่กลุ่ม

คำชี้แจง โปรดแสดงเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคะแนนที่ตรงกับการสังเกตของท่าน โดยเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ตามความคะแนสดังนี้

3 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

2 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลาง

1 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปรับปรุง

พฤติกรรมในขณะปฏิบัติงาน	คนที่.....				คนที่.....				คนที่.....				คนที่.....				
	3	2	1		3	2	1		3	2	1		3	2	1		
1. ประกอบวงจรได้ถูกต้อง																	
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรได้ถูกต้อง																	
3. ป้อนสัญญาณอินพุตและปรับความถี่ให้กับวงจรได้ถูกต้อง																	
4. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตได้ถูกต้อง																	
5. ปรับปรุงวงจรให้ได้ความถี่กลางได้ถูกต้อง																	
6. ปฏิบัติงานถูกต้องตามขั้นตอนการทดลอง																	
7. ปฏิบัติงานเสร็จตามกำหนด																	
8. บันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอน																	
9. สรุปผลการทดลองได้ครบถ้วน																	
10. ดูแลรักษาแผงทดลองและเครื่องมือและเก็บอย่างถูกต้อง																	

ความถูกต้อง	ขั้นตอนการปฏิบัติ	ครบถ้วน	เวลาในการปฏิบัติ
ระดับ 3 ทำได้ถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	ระดับ 3 บันทึกผลครบถ้วนทุกหัวข้อ	ระดับ 3 ทำเสร็จก่อนเวลากำหนด
ระดับ 2 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ	โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 2 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ	ระดับ 2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด
2 จุด	ระดับ 2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	2 จุด	และหรือไม่เกิน 10 นาที
ระดับ 1 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ	เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	ระดับ 1 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ	ระดับ 1 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนด
3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง	3 จุด ขึ้นไป	10 นาที - ขึ้นไป
	เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป		

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 5 เรื่องวงจรประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม

คำชี้แจง โปรดแสดงเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคะแนนที่ตรงกับการสังเกตของท่าน โดยเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ตามความคะเนนดังนี้

3 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

2 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลาง

1 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปรับปรุง

พฤติกรรมในขณะปฏิบัติงาน	คนที่.....			คนที่.....			คนที่.....			คนที่.....			คนที่.....		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
1. ประกอบวงจรได้ถูกต้อง															
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรได้ถูกต้อง															
3. ป้อนสัญญาณอินพุตให้กับวงจรได้ถูกต้อง															
4. ใช้ดีจิจิตอลมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุตได้ถูกต้อง															
5. ใช้อุปกรณ์เพิ่มและลดอุณหภูมิได้ถูกต้อง															
6. ปฏิบัติงานถูกต้องตามขั้นตอนการทดลอง															
7. ปฏิบัติงานเสร็จตามกำหนด															
8. บันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอน															
9. สรุปผลการทดลองได้ครบถ้วน															
10. ดูแลรักษาแผงทดลองและเครื่องมือและเก็บอย่างถูกต้อง															

ความถูกต้อง	ขั้นตอนการปฏิบัติ	ครบถ้วน	เวลาในการปฏิบัติ
ระดับ 3 ทำได้ถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ	ระดับ 3 บันทึกผลครบถ้วนทุกหัวข้อ	ระดับ 3 ทำเสร็จก่อนเวลากำหนด
ระดับ 2 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	ระดับ 2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	ระดับ 2 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ 2 จุด	ระดับ 2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด และหรือไม่เกิน 10 นาที
ระดับ 1 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ 3 จุด ขึ้นไป	ระดับ 1 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนด 10 นาที -ขึ้นไป

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 6 เรื่องใบงานรวม

คำชี้แจง โปรดแสดงเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคะแนนที่ตรงกับกรสังเกตของท่าน โดยเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ตามความคะแนนดังนี้

3 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

2 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลาง

1 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับปรับปรุง

พฤติกรรมในขณะปฏิบัติงาน	คนที่ 1			คนที่ 2			คนที่ 3			คนที่ 4			คนที่ 5					
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1			
1. ประกอบวงจรอะสเทเบิลล์ดีไวเซอร์ได้ถูกต้อง																		
2. ประกอบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันได้ถูกต้อง																		
3. ประกอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ถูกต้อง																		
4. เชื่อมต่อวงจรร่วมกันได้ถูกต้อง																		
5. ปรับค่าความถี่วงจรอะสเทเบิลล์ดีไวเซอร์ได้ถูกต้อง																		
6. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรได้ถูกต้อง																		
7. ป้อนสัญญาณอินพุตให้กับวงจรได้ถูกต้อง																		
8. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณได้ถูกต้อง																		
9. ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันเอาต์พุตได้ถูกต้อง																		
10. ปฏิบัติงานถูกต้องตามขั้นตอนการทดลอง																		
11. ปฏิบัติงานเสร็จตามกำหนด																		
12. บันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอน																		
13. สรุปผลการทดลองได้ครบถ้วน																		
14. ดูแลรักษาแผงทดลองและเครื่องมือและเก็บอย่างถูกต้อง																		
ความถูกต้อง ระดับ 3 ทำได้ถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ ระดับ 2 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด ระดับ 1 ทำได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป	ขั้นตอนการปฏิบัติ ระดับ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง โดยไม่มีจุดแนะนำ ระดับ 2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด ระดับ 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด ขึ้นไป						ครบถ้วน ระดับ 3 บันทึกผลครบถ้วนทุกหัวข้อ ระดับ 2 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ 2 จุด ระดับ 1 บันทึกผลไม่ครบถ้วนตามหัวข้อ 3 จุด ขึ้นไป						เวลาในการปฏิบัติ ระดับ 3 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด ระดับ 2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด และหรือไม่เกิน 10 นาที ระดับ 1 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนด 10 นาที - ขึ้นไป					

ภาคผนวก ฉ

แบบสรุประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวิชาอปแอมป์และลิเนียร์

ตารางที่ ๑.1 คะแนนผลการทดลองระหว่างเรียน

	ใบงานที่ 1				ใบงานที่ 2				ใบงานที่ 3				ใบงานที่ 4				ใบงานที่ 5				คะแนนรวมใบงานที่ 1 - 5
	นักศึกษาค้นที่ / คะแนน	แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน	ประเมินผลการทดลอง	คะแนนรวมใบงานที่ 1	แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน	ประเมินผลการทดลอง	คะแนนรวมใบงานที่ 2	แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน	ประเมินผลการทดลอง	คะแนนรวมใบงานที่ 3	แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน	ประเมินผลการทดลอง	คะแนนรวมใบงานที่ 4	แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน	ประเมินผลการทดลอง	
	10	10	5	25	10	10	5	25	10	10	5	25	10	10	5	25	10	10	5	25	125
1	8	9	4	21	7	9	4	20	7	8	4	19	8	9	4	21	8	9	4	21	102
2	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	100
3	7	9	4	20	8	9	4	21	7	10	4	21	8	9	4	21	7	9	4	20	103
4	8	9	4	21	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	101
5	8	9	4	21	8	8	4	20	8	9	4	21	7	9	4	20	8	9	4	21	103
6	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	7	9	4	20	100
7	7	9	4	20	8	8	4	20	8	9	4	21	8	8	4	20	8	9	4	21	102
8	8	9	4	21	8	9	4	21	8	9	4	21	7	9	4	20	8	9	4	21	104
9	7	10	5	22	7	9	5	21	7	9	5	21	7	9	5	21	7	9	5	21	106
10	7	9	5	21	8	9	4	21	8	9	4	21	8	9	4	21	8	9	4	21	105

ตารางที่ ๑.2 คะแนนผลการทดลองหลังเรียน

นักศึกษาคนที่ / คะแนน	ใบงานที่ 6			คะแนนรวมใบงานที่ 6
	แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน	ประเมินผลการทดลอง	
	50	50	25	
1	40	42	18	100
2	40	41	19	100
3	42	43	18	103
4	40	43	18	101
5	42	42	18	102
6	39	43	18	100
7	39	43	18	100
8	43	43	17	103
9	42	42	18	102
10	42	43	19	104

ตารางที่ ๑.3 กำหนดการทดลองชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

วัน / เดือน / ปี	เวลา	กลุ่ม	ใบงาน
4 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G1	ใบงานที่ 1
	13.00 – 16.00 น.	G1	ใบงานที่ 2
5 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G1	ใบงานที่ 3
	13.00 – 16.00 น.	G1	ใบงานที่ 4
6 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G1	ใบงานที่ 5
	13.00 – 16.00 น.	G2	ใบงานที่ 1
7 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G2	ใบงานที่ 2
	13.00 – 16.00 น.	G2	ใบงานที่ 3
8 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G2	ใบงานที่ 4
	13.00 – 16.00 น.	G2	ใบงานที่ 5
11 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G3	ใบงานที่ 1
	13.00 – 16.00 น.	G3	ใบงานที่ 2
12 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G3	ใบงานที่ 3
	13.00 – 16.00 น.	G3	ใบงานที่ 4
13 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G3	ใบงานที่ 5
	13.00 – 16.00 น.	G4	ใบงานที่ 1
14 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G4	ใบงานที่ 2
	13.00 – 16.00 น.	G4	ใบงานที่ 3
15 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G4	ใบงานที่ 4
	13.00 – 16.00 น.	G4	ใบงานที่ 5
18 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G1	ใบงานที่ 6
	13.00 – 16.00 น.	G2	ใบงานที่ 6
22 มีนาคม 2562	09.00 – 12.00 น.	G3	ใบงานที่ 6
	13.00 – 16.00 น.	G4	ใบงานที่ 6



ภาพที่ ๑.1 กิจกรรมนักศึกษาทดลองชุดฝึกปฏิบัติการวิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

ภาคผนวก ข

แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อ
ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

คำชี้แจง ชุดปฏิบัติการวิชาอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี นักศึกษามีความพึงพอใจอยู่ในระดับใด

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องด้านขวามือ ตามความคิดเห็นของนักศึกษา

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ มากที่สุด = 5 , มาก = 4 , ปานกลาง = 3 , น้อย = 2 , น้อยมาก = 1

ความคิดเห็นของนักศึกษา	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านการออกแบบชุดฝึกปฏิบัติเหมาะสมสวยงาม					
2. ด้านวัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมง่ายต่อการปฏิบัติทดลอง					
3. ด้านการวางตำแหน่งพินต่อวงจรในแผงทดลอง สะดวก และง่ายต่อการทดลอง					
4. ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน					
5. ด้านความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ					
6. ด้านแรงจูงใจทำให้เกิดความสนใจในการเรียน					
7. ด้านคุณค่าและความคุ้มค่า					
8. ภาพรวมในการเรียนรู้ด้วยฝึกปฏิบัติ					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อ
ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับจุดประสงค์ สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

คำชี้แจง การออกแบบสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการ
วิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับจุดประสงค์ อยู่ในระดับใด โปรดทำเครื่องหมาย ✓
ลงในช่องด้านขวามือตามความคิดเห็นของท่าน
ระดับคะแนน +1 หมายถึง ความคิดเห็นว่าการออกแบบสร้างแบบประเมินความพึงพอใจมี
ความสอดคล้องกับจุดประสงค์
ระดับคะแนน 0 หมายถึง ความคิดเห็นไม่แน่ใจว่าการออกแบบสร้างแบบประเมินความพึง
พอใจมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์
ระดับคะแนน -1 หมายถึง ความคิดเห็นว่าการออกแบบสร้างแบบประเมินความพึงพอใจไม่
สอดคล้องกับจุดประสงค์

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น		
	+1	0	-1
1. ด้านการออกแบบชุดฝึกปฏิบัติเหมาะสมสวยงาม			
2. ด้านวัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการปฏิบัติทดลอง			
3. ด้านการวางตำแหน่งพินต่อวงจรในแผงทดลอง สะดวก และง่ายต่อ การทดลอง			
4. ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน			
5. ด้านความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ			
6. ด้านแรงจูงใจทำให้เกิดความสนใจในการเรียน			
7. ด้านคุณค่าและความคุ้มค่า			
8. ภาพรวมในการเรียนรู้ด้วยฝึกปฏิบัติ			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

ตาราง ข.1 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อ
ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีกับจุดประสงค์

รายการ	$\sum R$	IOC	แปลค่า
1. ด้านการออกแบบชุดฝึกปฏิบัติเหมาะสมสวยงาม	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
2. ด้านวัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการปฏิบัติทดลอง	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
3. ด้านการวางตำแหน่งพินต่อวงจรในแผงทดลอง สะดวก และง่ายต่อการทดลอง	4	0.8	สอดคล้อง ใช้ได้
4. ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
5. ด้านความปลอดภัยในขณะที่ฝึกปฏิบัติ	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
6. ด้านแรงจูงใจทำให้เกิดความสนใจในการเรียน	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้
7. ด้านคุณค่าและความคุ้มค่า	4	0.8	สอดคล้อง ใช้ได้
8. ภาพรวมในการเรียนรู้ด้วยฝึกปฏิบัติ	5	1	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง ข.2 ผลการประเมินหาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และ
ลิเนียร์ไอซี

ข้อที่	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	คนที่ 8	คนที่ 9	คนที่ 10	\bar{x}	S.D.
1	5	4	5	4	5	5	5	4	5	5	4.70	0.48
2	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	4.70	0.48
3	4	4	5	4	5	4	4	5	5	5	4.50	0.53
4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	4.80	0.42
5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	4.70	0.48
6	4	4	4	4	5	5	4	5	5	5	4.50	0.53
7	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4.70	0.48
8	5	4	5	4	5	5	4	5	5	4	4.60	0.52
\bar{x}	4.75	4.38	4.88	4.38	4.75	4.75	4.38	4.75	5.00	4.50	4.65	0.49
S.D.	0.46	0.52	0.35	0.52	0.46	0.46	0.52	0.46	0.00	0.53		

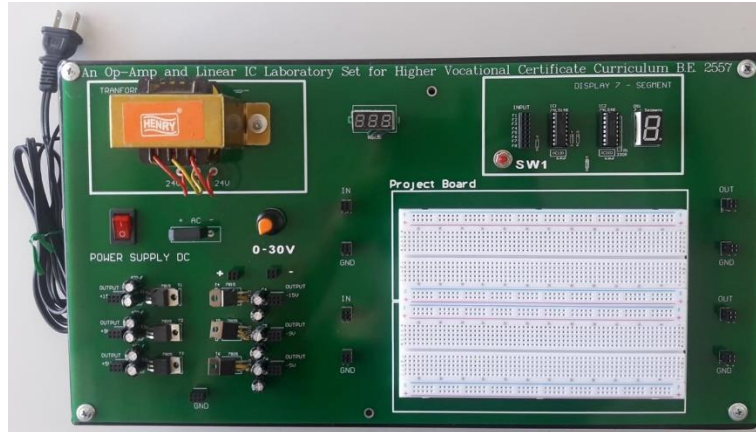
ภาคผนวก ซ

คู่มือใช้งานชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

คู่มือใช้งาน
ชุดปฏิบัติการวิชาออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

ส่วนประกอบ

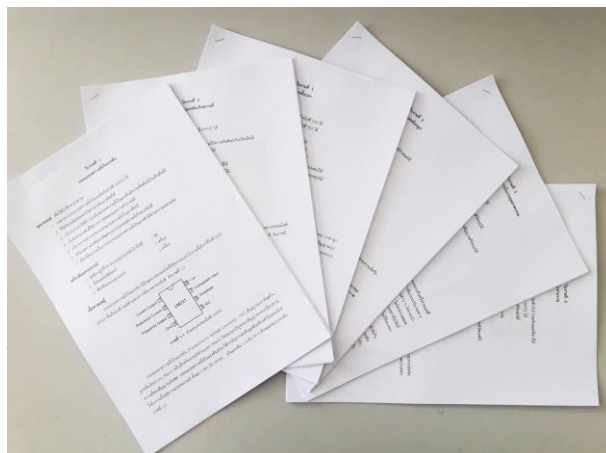
1. แผงทดลอง



2. กล่องอุปกรณ์



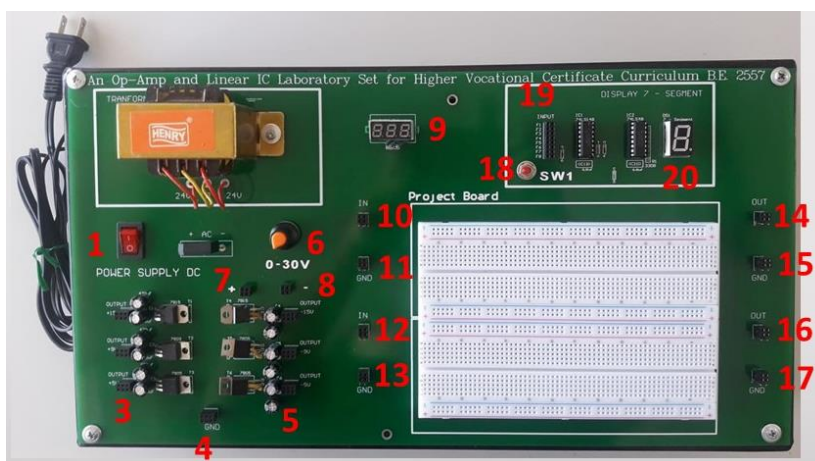
3. ใบงาน



รายการอุปกรณ์ ประกอบด้วย

IC				TRANSDUCER				สายต่อวงจร			
555	2 ตัว			LDR		1 ตัว		สายต่อวงจร	40 เส้น		
LM324	2 ตัว			Thermistor		1 ตัว					
LM331	1 ตัว			Thermocouples		1 ตัว					
LM565	1 ตัว			สวิตช์กดติดปล่อยดับ		1 ตัว					
CAPACITOR				RESISTOR				VR		LED	
470 pF	1 ตัว	1 μ F	2 ตัว	47	1 ตัว	12 k Ω	1 ตัว	5 k Ω	1 ตัว	LED	8 ตัว
				330	1 ตัว	15 k Ω	1 ตัว				
0.01 μ F	3 ตัว	10 μ F	1 ตัว	1k	16 ตัว	14.3 k Ω	1 ตัว	10 k Ω	1 ตัว		
				2.2k	1 ตัว	22 k Ω	1 ตัว				
0.033 μ F	1 ตัว	47 μ F	1 ตัว	2k	8 ตัว	47 k Ω	1 ตัว				
				3.9 k Ω	1 ตัว	68 k Ω	1 ตัว				
0.047 μ F	1 ตัว	100 μ F	1 ตัว	5 k Ω	1 ตัว	100 k Ω	2 ตัว				
				5.6k Ω	1 ตัว	150 k Ω	1 ตัว				
0.1 μ F	3 ตัว	220 μ F	1 ตัว	6.8 k Ω	1 ตัว	500 k Ω	1 ตัว				
				7.5 k Ω	1 ตัว	1 M Ω	1 ตัว				
0.47 μ F	1 ตัว			10 k Ω	2 ตัว	2 M Ω	1 ตัว				

ตำแหน่งและหน้าที่ในแผงทดลอง



หมายเลข	หน้าที่	หมายเลข	หน้าที่
1	สวิตช์ ปิด-เปิด ภาคจ่ายไฟ	9	จอแสดงค่าแรงดัน VDC
2	Project Board สำหรับต่อวงจร	10,12	จุดต่อ Input ของวงจร
3	จุดต่อ +5V, +9V, +15V	11,13	จุดต่อ GND ของวงจร
4	GND ของภาคจ่ายไฟ	14,16	จุดต่อ Output ของวงจร
5	จุดต่อ -5V, -9V, -15V	15,17	จุดต่อ GND ของวงจร
6	ปุ่มปรับ VDC ปรับค่าได้ 0-30 V	18	สวิตช์ ปิด-เปิด Display 7-Segment
7	จุดต่อ + VDC	19	จุดต่อสัญญาณ F ₁ - F ₈
8	จุดต่อ - VDC	20	7-Segment

การใช้งานแผงทดลอง

1. เสียบปลั๊ก AC
2. ประกอบวงจรตามใบงานลงแผงโปรโตบอร์ด หมายเลข 2 และตรวจสอบความถูกต้องของวงจร
3. เลือกการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายแรงดัน (ดูรายละเอียด 3, 4, 5, 6, 7, 8 ในตารางหน้าที่)
4. เลือกการเชื่อมต่อจุดต่อ Input (ดูรายละเอียด 10, 11, 12, 13 ในตารางหน้าที่) ผู้ใช้อาจไม่ใช้จุดเชื่อมต่อ Input ก็ได้ โดยต่อตรงกับสัญญาณ Input ได้เลย ขึ้นอยู่กับการออกแบบการประกอบวงจรของผู้ใช้
5. เลือกการเชื่อมต่อจุดต่อ Output (ดูรายละเอียด 14, 15, 16, 17 ในตารางหน้าที่) ผู้ใช้อาจไม่ใช้จุดเชื่อมต่อ Output ก็ได้ โดยต่อตรงกับเครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์ Output ได้เลย ขึ้นอยู่กับการออกแบบการประกอบวงจรของผู้ใช้
6. เปิดสวิตช์หมายเลข 1
7. ใบงานที่ 6 ที่เชื่อมต่อกับวงจร Display 7-Segment เมื่อเชื่อมต่อวงจรเข้าจุดต่อสัญญาณ $F_1 - F_8$ ตามหมายเลข 19 จากนั้น เปิดสวิตช์ หมายเลข 18 และสังเกตการแสดงผล 7-Segment ตามหมายเลข 20

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นางพัชรินทร์ วัลย์โรจน์
วัน-เดือน-ปีเกิด	20 ธันวาคม 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดนครนายก
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 16/1 ตำบลหินตั้ง อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2538 สำเร็จการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์-อากาศยาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี ปีการศึกษา 2540 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า (วศ.บ.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตรบัณฑิตสาขารัฐศาสตรมหาบัณฑิต (ค.อ.ม.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถานที่ทำงาน	ครู สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพนครนายก