การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

นางสาวชนัญชิดา หมอยา
นางสาวปัณชญา โชติกะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดี ร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

นางสาวชนัญชิดา หมอยา
นางสาวปัณชญา โชติกะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดี ร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

โดย นางสาวชนัญชิดา หมอยา

นางสาวปัณชญา โชติกะ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

_____ หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หุตะมาน)

_____ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูแก้ว)

_____ กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรพงศ์ ทานอก)

ชื่อ : นางสาวชนัญชิดา หมอยา
นางสาวปัณชญา โชติกะ
ชื่อปริญญานิพนธ์ : การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม
สาขาวิชา : วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หุตะมาน
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาริณี ทองเกิด
ปีการศึกษา : 2566

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิด โดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม และพัฒนาสื่อประกอบการสอน ที่ใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ในรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียน หลังจากที่ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติและมีแอปพลิเคชันที่ประกอบไปด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม และแอนิเมชันจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบอร์ดได้อย่างถูกต้อง และเพื่อประเมินทัศนคติของผู้เรียนจากการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมชุดฝึกทักษะปฏิบัติ สำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดี ผู้จัดทำได้สร้างแบบประเมินให้ผู้เรียนนั้นทำการประเมินทัศนคติหลังจากได้เรียนรู้ในชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น โดยผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียน พบว่าส่วนใหญ่มีพัฒนาการทางเรียนรู้ในระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 69.23 และทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.66 และ S.D. = 0.49) มีการกระจายตัวของข้อมูลในระดับที่น้อย

(ปริญญานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 181 หน้า)

คำสำคัญ : เทคโนโลยีความจริงเสริม แอปพลิเคชัน ชุดฝึกทักษะปฏิบัติ การเรียนรู้แบบสืบสอบ

_____อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก

Name : Chananchida Moya
Panchaya Chotika
Project Title : PID control with Augmented reality Training kit by op-amp controller
Major Field : Mechatronics Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Project Advisor : Associate Professor Dr. Santi Hutamarn
Co- Advisor : Assistant Professor Dr.Tarinee Tonggoed
Academic Year : 2023

Abstract

The aim of this project is to develop a practical skill training set for closed-loop control systems using PID controllers combined with augmented reality (AR) technology and the development of instructional media to be used as learning aids in automatic control courses. The study evaluates the practical skill outcomes of learners after they have learned with the practical skill training set and utilized an application that includes augmented reality and animation technology to assist learners in assembling electronic equipment onto a board accurately. Additionally, it assesses the learners' attitudes towards the practical skill training set for closed-loop control systems using PID controllers. The researchers created an assessment tool for learners to assess their attitudes after learning with the developed practical skill training set. The results regarding the practical skill outcomes of the learners showed that the majority demonstrated significant improvement in learning outcomes, with an average score of 69.23%. Regarding learners' attitudes towards the practical skill training set they mostly agreed strongly with a mean of 4.66 and standard deviation of 0.49 indicating a low level of data dispersion.

(Total 181 pages)

Keyword : Augmented Reality, Application, Practical skills training set and Inquiry-based Learning

_____Advisor

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หุตะมาน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาริณี ทองเกิด อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ทั้งสองท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ ตลอดจน แนวทางในการทำงานและการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด ขอขอบคุณพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา พร้อมแนะแนวการทำปริญญานิพนธ์ อีกทั้งรุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำดี ๆ และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกลที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอ กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นประโยชน์ให้แก่ผู้สนใจ และเป็นแนวทางในการศึกษา

ชนัญชิดา หมอยา
ปัณชญา โชติกะ

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ง
สารบัญ		จ
สารบัญตาราง		ช
สารบัญภาพ		ซ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
	2.1 เทคโนโลยีความจริงเสริม	6
	2.2 การพัฒนาแอปพลิเคชัน	6
	2.3 การควบคุมระบบ	8
	2.4 ออปแอมป์	12
	2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	21
	3.1 การศึกษาข้อมูลและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	22
	3.2 แผนผังการจัดทำโครงงาน	23
	3.3 การออกแบบลายวงจรควบคุมระบบด้วยออปแอมป์	26
	3.4 การออกแบบใบงานประกอบการจัดการเรียนรู้	35
	3.5 การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมร่วมกับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	37
	3.6 การสร้างแอปพลิเคชันสำหรับใช้ร่วมกับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	41
	3.7 การออกแบบใบประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC จากผู้เชี่ยวชาญ	44
	3.8 ดำเนินการเก็บรวบรวมผล	48
บทที่ 4	ผลการดำเนินงาน	53
	4.1 ผลการสร้างสื่อประกอบการเรียนรู้	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียน	70
4.3 ผลการประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น	76
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผลการจัดทำโครงงาน	83
5.2 อภิปรายผล	84
5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	85
5.4 ข้อจำกัด	85
5.5 ข้อเสนอแนะ	85
บรรณานุกรม	87
ภาคผนวก ก	89
ภาคผนวก ข	141
ภาคผนวก ค	147
ภาคผนวก ง	165
ภาคผนวก จ	175
ภาคผนวก ช	179
ประวัติผู้จัดทำ	181

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	การหาดัชนีความสอดคล้องของข้อสอบปฏิบัติ	44
3-2	สรุปผลการพิจารณาแบบประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)	47
4-1	เกณฑ์ประเมินแบบรูบริกใช้สำหรับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมหัวข้อที่ใช้โปรแกรมแมทแลป	70
4-2	เกณฑ์ประเมินแบบรูบริกใช้สำหรับงานปฏิบัติ มีเกณฑ์ประเมินดังนี้	71
4-3	ผลคะแนนการประเมินผลทางด้านทักษะของผู้เรียนก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	71
4-4	ผลคะแนนการประเมินผลทางด้านทักษะของผู้เรียนหลังได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	73
4-5	ค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะในการใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	75
4-6	ผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม	76
4-7	ความคิดเห็นและข้อเสนอเพิ่มเติมของผู้เรียน	80

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	เทคโนโลยีความจริงเสริม	6
2-2	ขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน	7
2-3	แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบเปิด	8
2-4	แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบปิด	9
2-5	วงจรออปแอมป์สำหรับตัวควบคุมพี	9
2-6	แผนภาพบล็อกการควบคุมลูปปิดตัวควบคุมพี	10
2-7	แผนภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบพีไอดี	11
2-8	สัญลักษณ์ของออปแอมป์	12
2-9	วงจรภายในของออปแอมป์	13
2-10	หน้าต่างเลือกวิธีการเรียนรู้ของอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์	14
2-11	ภาพตัวอย่างหน้าจอแสดงกล้องเทคโนโลยีความจริงเสริมเพื่อใช้ส่องรูปภาพการ์ตูนในหนังสือภาพ	15
2-12	Marker หรือ AR Code ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุที่สร้างขึ้น	16
2-13	แสดงเทคโนโลยีมิติเสมือนจริงปลาหมึก	18
2-14	โมเดลฉากที่ 11 และ 12	18
2-15	แสดงเทคโนโลยีมิติเสมือนจริงภายในคอมพิวเตอร์	20
3-1	แผนผังการดำเนินงานการจัดทำปริญญานิพนธ์	23
3-2	แผนผังการออกแบบแอปพลิเคชัน	25
3-3	วงจรสัดส่วนโดยใช้ออปแอมป์	26
3-4	ลายวงจรสัดส่วน	26
3-5	การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรสัดส่วน	27
3-6	วงจรอินทิเกรตโดยใช้ออปแอมป์	27
3-7	ลายวงจรอินทิเกรต	28
3-8	การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรอินทิเกรต	28
3-9	วงจรลำดับหนึ่งโดยใช้ออปแอมป์	29
3-10	ลายวงจรลำดับหนึ่ง	29
3-11	การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรลำดับหนึ่ง	30
3-12	วงจรลำดับสองแบบหน่วงเกินโดยใช้ออปแอมป์	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-13	ลายวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน	31
3-14	การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน	31
3-15	วงจรลำดับสองแบบหน่วงขาดโดยใช้ออปแอมป์	32
3-16	ลายวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด	32
3-17	การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด	33
3-18	วงจรพีไอดีโดยใช้ออปแอมป์	33
3-19	ลายวงจรพีไอดี	34
3-20	การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรพีไอดี	34
3-21	แผนภาพรวมการเรียนรู้	37
3-22	แผนผังการทำงานของแอปพลิเคชัน	37
3-23	การวางอุปกรณ์ของวงจรลำดับหนึ่งในโปรแกรม SolidWorks	41
3-24	ลงสีในโปรแกรม Blender ให้เสมือนของจริง	41
3-25	การสร้างข้อมูลภาพใน www.Vuforia.com	42
3-26	การสร้างแอปพลิเคชันในส่วนที่ 2 ในโปรแกรม Unity	42
3-27	การสร้างแอปพลิเคชันในส่วนที่ 3 ในโปรแกรม Unity	43
3-28	การสร้างแอปพลิเคชันในส่วนที่ 4 ในโปรแกรม Unity	43
3-29	หน้าเมนูหลักของแอปพลิเคชันภายในโปรแกรม Unity	44
3-30	ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1	46
3-31	ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2	46
3-32	ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3	46
3-33	ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4	47
3-34	ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5	47
3-35	ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียนก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	49
3-36	ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียนก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	49
3-37	ผู้เรียนดูขั้นตอนการใส่อุปกรณ์ลงบอร์ดของวงจรลำดับหนึ่ง	50
3-38	ผู้เรียนวัดสัญญาณผลตอบสนองของวงจรลำดับหนึ่ง	50
3-39	ผู้เรียนศึกษาการเขียนโปรแกรมแมทแลปในใบเนื้อหา	51
3-40	ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียน	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-41	ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียน	52
4-1	วงจรพีโดยใช้ออปแอมป์	54
4-2	ผลตอบสนองของวงจรพี	54
4-3	วงจรไอโดยใช้ออปแอมป์	55
4-4	ผลตอบสนองของวงจรไอ	55
4-5	วงจรลำดับหนึ่งโดยใช้ออปแอมป์	56
4-6	ผลตอบสนองของวงจรลำดับหนึ่ง	56
4-7	วงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินโดยใช้ออปแอมป์	57
4-8	ผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน	57
4-9	วงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาดโดยใช้ออปแอมป์	58
4-10	ผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด	58
4-11	วงจรพีไอดีโดยใช้ออปแอมป์	59
4-12	ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรพีไอดี	59
4-13	แอปพลิเคชัน AR for control	60
4-14	หน้าต่างเมนูหลักของแอปพลิเคชัน AR for control	60
4-15	คู่มือการใช้งานของแอปพลิเคชัน AR for control	61
4-16	แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรพี	61
4-17	ผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรพี	62
4-18	สูตรคำนวณจากผลตอบสนองของวงจรพี	62
4-19	แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรไอ	63
4-20	ผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรไอ	63
4-21	สูตรคำนวณจากผลตอบสนองของวงจรไอ	64
4-22	แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรลำดับหนึ่ง	64
4-23	แสดงการต่อสัญญาณและไฟบวก ลบของวงจรลำดับหนึ่ง	65
4-24	ผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรลำดับหนึ่ง	65
4-25	การคำนวณค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับหนึ่ง	65
4-26	แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน	66
4-27	ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-28	การคำนวณค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน	67
4-29	แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด	67
4-30	ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด	68
4-31	อธิบายค่าเวลาของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด	68
4-32	แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรพีไอดี	69
4-33	ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรพีไอดี	69
4-34	สมการฟังก์ชันถ่ายโอนพีไอดี	69
4-35	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน	74
4-36	ผลการเรียนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของผู้เรียนรายบุคคล	75
4-37	ผลการประเมินทัศนคติด้านเนื้อหา	78
4-38	ผลการประเมินทัศนคติด้านชุดฝึกทักษะปฏิบัติ	79
4-39	ผลการประเมินทัศนคติด้านการวัดและประเมินผล	79
4-40	ค่าเบี่ยงเบนและค่าเฉลี่ยของทัศนคติข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 14	80
ก-1	ใบงานสำหรับประกอบการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	90
ก-2	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	96
ก-3	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	108
ก-4	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	109
ก-5	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	115
ก-6	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	129
ก-7	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง การใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม	130
ก-8	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	134
ก-9	ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	140
ข-1	แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์โดยผู้เชี่ยวชาญ	142

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ค-1 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 148

ค-2 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2 151

ค-3 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 154

ค-4 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4 158

ค-5 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5 161

ง-1 แบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติ 166

ง-2 ตัวอย่างผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติคนที่ 1 169

ง-3 ตัวอย่างผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติคนที่ 2 171

ง-4 ตัวอย่างผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติคนที่ 3 173

จ-1 เกณฑ์ประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียน 176

จ-2 ตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนแบบทดสอบการควบคุมลูปเปิด 177

จ-3 ตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนทำแบบทดสอบการควบคุมลูปปิด 177

จ-4 ตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนจากการเขียนโปรแกรมในใบงาน 178

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีความจริงเสริมได้มีการพัฒนา และเติบโตอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีความจริงเสริม เป็นเทคโนโลยีที่นำภาพเสมือนที่เป็นรูปแบบสามมิติ จำลองเข้าสู่โลกจริงผ่านกล้อง และการประมวลผลที่นำวัตถุมาทับซ้อนเข้าเป็นภาพเดียวกัน สามารถมองเห็นผ่านกล้องได้ เทคโนโลยีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางทั้งด้าน อุตสาหกรรม การแพทย์การทหาร และการศึกษาที่ช่วยเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้ และการประยุกต์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ (รุ่งศักดิ์ เยื่อใย, 2562) โดยการนำเทคโนโลยีความจริงเสริมเข้ามาใช้เพื่อให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ และเข้าใจเนื้อหาลึกซึ้งในสิ่งที่ต้องการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น (พฤทธิ์ พุฒจร, 2561)

จากงานด้านอุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้ปัจจุบันสายงานการผลิตมีการใช้เทคโนโลยี เช่น อุปกรณ์ เครื่องจักร และซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เพื่อลดขั้นตอนการทำงานของมนุษย์ และช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน ด้วยการทำให้ระบบ หรือกระบวนการผลิตเป็นไปโดยอัตโนมัติ (บริษัท ปตท. จำกัด, 2565) ซึ่งระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นระบบที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในงานอุตสาหกรรม จึงทำให้การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน และในการต่อวงจรเพื่อควบคุมระบบการทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องมีความปลอดภัยสูง และต้องมีบุคลากรที่มีความชำนาญด้านระบบควบคุมการทำงานภายในระบบอุตสาหกรรม จากสาเหตุนี้ทางสถาบันการศึกษาต่าง ๆ จึงจัดให้มีการเรียนการสอนในวิชาการควบคุมอัตโนมัติ 020133943 (Automatic control) (กลุ่มงานหลักสูตรและพัฒนาคณาจารย์, 2560) เพื่อสร้างบุคลากรที่มีคุณภาพ และความสามารถในการทำงานเกี่ยวกับระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งในการใช้งานตัวควบคุมอุตสาหกรรมนั้น หากผู้ที่ไม่ชำนาญหรือไม่เคยใช้งาน อาจจะก่อให้เกิดความผิดพลาดจนอุปกรณ์เสียหายหรือปัญหาตามมาได้ (ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน, 2560) ดังนั้นการวางรากฐานในด้านการเรียนการสอนวิชาการควบคุมอัตโนมัติจึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับผู้เรียน

จากที่กล่าวมาข้างต้นทางคณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ได้เล็งเห็นถึงแนวการแก้ไขปัญหาของการเรียนการสอนในวิชาการควบคุมอัตโนมัติ โดยจัดทำสื่อการเรียนการสอนที่สามารถทำให้ผู้เรียนเห็นภาพอุปกรณ์ และการต่อวงจรเป็นภาพเสมือนจริงสามมิติ และแอนิเมชัน ด้วยการนำเอาเทคโนโลยีการผสานโลกแห่งความเป็นจริงเข้ากับโลกภาพเสมือน เพื่อให้เกิดความเข้าใจก่อนที่จะลงมือปฏิบัติจริง ด้วยสื่อการสอนในรูปแบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

1.2.2 เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียนที่มีต่อสื่อการเรียนการสอนชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น

1.2.3 เพื่อประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อสื่อการเรียนการสอนชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 กลุ่มเป้าหมายนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ชั้นปีที่ 3 ที่กำลังศึกษาวิชาการควบคุมอัตโนมัติ

1.3.2 ด้านเนื้อหา

1.3.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลตอบสนองของระบบทางกล และทางไฟฟ้า

1.3.2.1.1 หลักการพื้นฐานของออปแอมป์

1.3.2.1.2 ฟังก์ชันโอนย้าย

1.3.2.1.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

1.3.2.2 ตัวควบคุมในงานอุตสาหกรรม

1.3.2.2.1 การเลือก และการปรับตั้งตัวควบคุม

1.3.3 สื่อประกอบการเรียนการสอน

1.3.3.1 ชุดฝึกทักษะปฏิบัติโดยใช้ออปแอมป์ตัวควบคุม

1.3.3.2 ใบงานประกอบการจัดการเรียนรู้

1.3.3.3 แอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมที่ใช้ในโครงงานนี้ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนทำการประกอบอุปกรณ์ลงแผ่น PCB ได้อย่างถูกต้อง

1.3.3.4 โปรแกรมที่ใช้จำลองระบบ คือ โปรแกรมแมทแลป (MATLAB)

1.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดผล

1.3.4.1 แบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

1.3.4.2 แบบทดสอบด้านปฏิบัติของผู้เรียนด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สื่อการเรียนการสอนเรื่องการควบคุมลูปปิดโดยใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนเพื่อช่วยให้ผู้เรียนเห็นภาพ และเกิดความเข้าใจในเนื้อมากยิ่งขึ้น

1.4.2 ผู้เรียนมีทักษะทางด้านปฏิบัติในการใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น

1.4.3 ผู้เรียนมีทัศนคติที่ดีเพิ่มขึ้นที่มีต่อรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ

1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 เทคโนโลยีความจริงเสริม (Augmented Reality : AR) หมายถึง ทำให้ผู้เรียนสามารถประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดหรือวงจรได้อย่างถูกต้อง และมีผลตอบสนองตัวอย่างให้ผู้เรียนได้เห็นก่อนต่อใช้งาน

1.5.2 แอปพลิเคชัน (Application) หมายถึง โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของโทรศัพท์และเพื่อให้ทำงานตามคำสั่ง และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้

1.5.3 ชุดฝึกทักษะปฏิบัติ (Practical skills training set) หมายถึง สื่อประกอบการเรียนรู้ที่เป็นชุดใช้สำหรับฝึกทักษะ ในรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ โดยจะประกอบไป 6 วงจรดังนี้ วงจรพีวงจรไอ วงจรลำดับหนึ่ง วงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน วงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด และวงจรพีไอดี ซึ่งวงจรที่กล่าวมาข้างต้นจะใช้ควบคู่กับแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริม

1.5.4 การเรียนรู้แบบสืบสอบ (Inquiry-based Learning) หมายถึง ช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกวิเคราะห์เป้าหมายและสร้างคำถามที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ ได้ฝึกการสรุป อภิปราย และสังเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้และพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ผู้เรียนยังสนุกกับการเรียน และประเด็นที่ผู้เรียนสนใจเรียนรู้ และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้เดิมที่มีให้เกิดเป็นความรู้ใหม่ได้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำปริญญานิพนธ์จำเป็นจะต้องศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมที่จะต้องนำข้อมูลหลาย ๆ ด้านมาผสมผสานให้เข้ากัน จนเกิดความเข้าใจ และสามารถนำเสนอกระบวนการสร้างปริญญานิพนธ์ และเกิดเป็นปริญญานิพนธ์นี้ขึ้นมา โดยต้องศึกษาตามหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

2.1 เทคโนโลยีความจริงเสริม

2.1.1 ความหมายของเทคโนโลยีความจริงเสริม

2.1.2 หลักการทำงานของเทคโนโลยีความจริงเสริม

2.2 การพัฒนาแอปพลิเคชัน

2.2.1 ความหมายของแอปพลิเคชัน

2.2.2 ขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน

2.3 การควบคุมระบบ

2.3.1 ความหมายของการควบคุมระบบ

2.3.2 ประเภทของการควบคุมระบบ

2.3.3 การควบคุมระบบโดยใช้ตัวควบคุม

2.4 ออปแอมป์

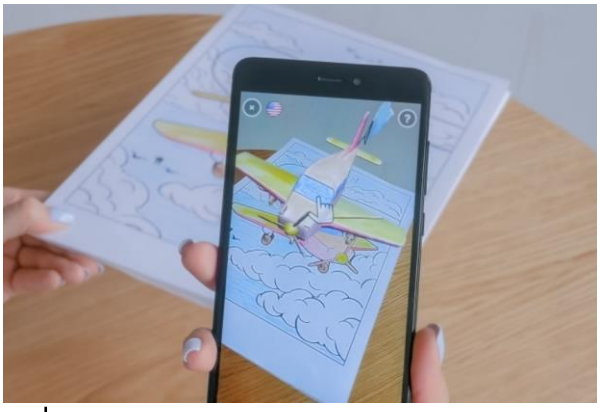
2.4.1 ความหมายของออปแอมป์

2.4.2 ออปแอมป์อุดมคติ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีความจริงเสริม (Augmented Reality)

2.1.1 เทคโนโลยีความจริงเสริม เป็นเทคโนโลยีชนิดใหม่ที่ผสานโลกแห่งความเป็นจริงเข้ากับโลกเสมือน ผ่านอุปกรณ์ดิจิทัลต่าง ๆ ได้แก่ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต แว่นตา ดิจิทัล หรืออุปกรณ์แสดงผลภาพอื่น ๆ ด้วยการซ้อนภาพในโลกเสมือนไว้บนภาพในโลกแห่งความเป็นจริง เพื่อให้ปรากฏภาพเสมือนอยู่ในสภาวะแวดล้อมจริงดังภาพที่ 2-1 อีกทั้งรูปแบบของภาพในโลกเสมือนยังสามารถกำหนดให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ และองค์ประกอบของงานชิ้นนั้น เช่น ภาพจำลองการต่อวงจรไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่ 2-1 เทคโนโลยีความจริงเสริม (ปลูกปัญญา, 2564)

2.1.2 หลักการทำงานของเทคโนโลยีความจริงเสริม เป็นการนำเทคโนโลยีมาผสานระหว่างโลกแห่งความเป็นจริง และความเสมือนจริงเข้าด้วยกัน ด้วยการใช้ระบบซอฟต์แวร์ และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่าง ๆ เช่น เว็บแคมคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้องโดยองค์ประกอบของระบบเทคโนโลยี มีดังนี้

2.1.2.1 ตัว Marker ซึ่งเป็นเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์หรือรูปภาพที่กำหนดไว้เป็นตัวเปรียบเทียบกับสิ่งที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล (Marker Database)

2.1.2.2 กล้อง มือถือ แว่น และอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับของต่าง ๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ภาพ

2.1.2.3 จอแสดงผล จอมือถือ หรือ จอภาพต่าง ๆ เพื่อทำการแสดงผลภาพ

2.1.2.4 ระบบประมวลผลเพื่อสร้างวัตถุ 3D เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นกระบวนการสร้างภาพ 2 มิติจากโมเดล 3 มิติ

2.2 การพัฒนาแอปพลิเคชัน

2.2.1 การพัฒนาแอปพลิเคชัน เป็นการเขียนซอฟต์แวร์สำหรับอุปกรณ์พกพา เช่น สมาร์ทโฟน

และแท็บเล็ต คือ การสร้างแอปพลิเคชันสำหรับมือถือ ซึ่งผู้พัฒนาจะเขียนแอปพลิเคชันมือถือ เพื่อใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์บางอย่างของมือถือที่มีคุณลักษณะเฉพาะ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับลักษณะการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟน (Accelerator Sensor) GPS และข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตัวอื่น ๆ เป็นต้น

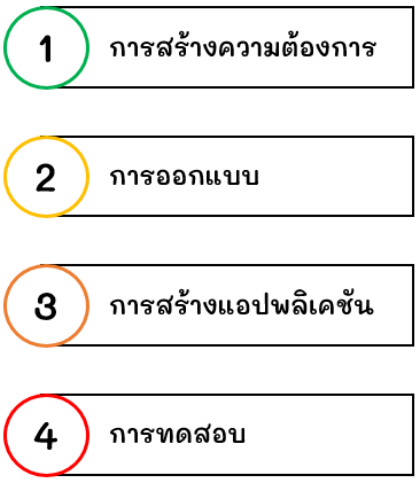
2.2.2 ขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ดีต้องมีการวางแผนการดำเนินการอย่างเป็นระบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งขั้นตอนในการพัฒนาแอปพลิเคชันให้สำเร็จตามเป้าหมายดังภาพที่ 2-2 มีดังนี้

2.2.2.1 ศึกษาความต้องการของแอปพลิเคชัน ผู้พัฒนาจำเป็นต้องทราบถึงความต้องการ และปัญหาก่อนที่จะเริ่มออกแบบหรือลงมือแก้ปัญหา เพื่อให้ได้ข้อกำหนดต่าง ๆ ของแอปพลิเคชัน

2.2.2.2 การออกแบบ ขั้นตอนการออกแบบนั้นนับเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาแอปพลิเคชันที่พร้อมนำไปใช้งานนั้นมักมีความซับซ้อน และรายละเอียดย่อยจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นในการนำแนวคิดเชิงคำนวณมาประยุกต์ให้เข้ากับการออกแบบ เพื่อให้การออกแบบสามารถตรวจสอบ หรือปรับเปลี่ยนภายหลังได้

2.2.2.3 การสร้างแอปพลิเคชัน เป็นขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมเพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ในส่วนต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ ผู้พัฒนาจะเริ่มพบปัญหาหรือข้อจำกัดที่มองข้ามไปในขั้นตอนก่อนหน้านี้ จึงเป็นเรื่องปกติหากต้องย้อนกลับไปคิดทบทวนเกี่ยวกับประเด็นต่าง ๆ ของขั้นตอนเหล่านั้น

2.2.2.4 การทดสอบ การทดสอบมีเป้าหมายเพื่อค้นหาข้อผิดพลาด และปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้แน่ใจว่าแอปพลิเคชันทำงานได้ถูกต้องและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน



ภาพที่ 2-2 ขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน

2.3 การควบคุมระบบ

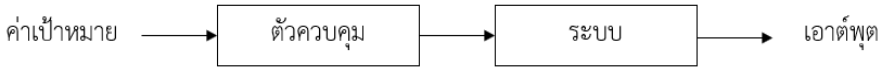
2.3.1 การควบคุมระบบ เป็นกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่นั้นมักใช้กระบวนการควบคุมที่เป็นแบบอัตโนมัติ โดยมีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ อันได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ระดับ อัตราการไหล ตำแหน่งการเคลื่อนที่ แรง น้ำหนัก เป็นต้น ซึ่งถ้าใช้ระบบการควบคุมที่ดีก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตให้มีสินค้าที่คุณภาพดี ช่วยลดต้นทุน และประหยัดพลังงาน

ปัจจุบันการควบคุมระบบอัตโนมัตินิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นการควบคุมเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้สามารถทำงานแทนมนุษย์ได้ โดยมีความผิดพลาดในการผลิตน้อยลง เวลาการผลิตเร็วขึ้น ลดการใช้แรงงาน และความสิ้นเปลืองของพลังงานลง โดยทั่วไปแล้วการทำงานของการควบคุมระบบอัตโนมัติจะต้องมีการควบคุมการทำงานด้วยวงจรต่าง ๆ จึงทำให้ต้องมีผู้ที่ชำนาญและรอบคอบในการต่อวงจร เพื่อความปลอดภัยและความแม่นยำที่สูง

ดังนั้น การควบคุมการทำงานของระบบให้ได้นั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของวงจรควบคุมต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความรู้ และความเข้าใจการทำงานของระบบได้อย่างถูกต้อง

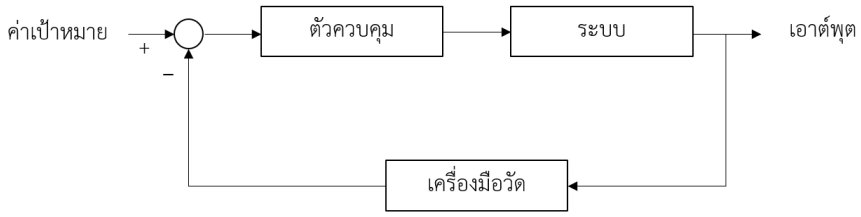
2.3.2 ประเภทของการควบคุมระบบ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

2.3.2.1 การควบคุมระบบลูปเปิด คือระบบที่มีการป้อนอินพุตซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้ามาที่ระบบ และได้สัญญาณออกหรือเอาต์พุต โดยไม่มีการนำสัญญาณป้อนกลับมาที่ระบบซึ่งสามารถแสดงในลักษณ์ของบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบเปิด

2.3.2.2 การควบคุมระบบลูปปิด คือระบบที่มีการป้อนอินพุต ซึ่งอาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าที่ระบบ และมีอุปกรณ์เครื่องมือวัด นำสัญญาณออกหรือเอาต์พุตป้อนกลับสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการ สามารถแสดงในลักษณะของบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 2-4



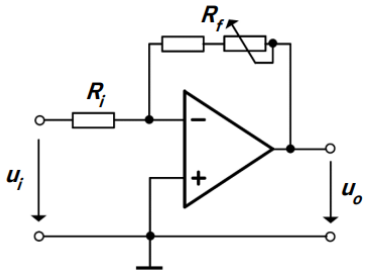
ภาพที่ 2-4 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบปิด

2.3.3 การควบคุมระบบโดยใช้ตัวควบคุม ในที่นี้จะพิจารณาเลือกใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิเกรต และอนุพันธ์หรือบางครั้งจะเรียกสั้น ๆ ว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) การควบคุมแบบพีไอดีนี้ นิยมนำมาใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่งจะใช้ออปแอมป์เป็นตัวแทนของระบบลำดับหนึ่ง (PT1) และระบบลำดับสอง (PT2) การนำตัวควบคุมแบบพีไอดีมาใช้ควบคุมระบบเนื่องจากให้ผลตอบสนองทางพลวัตได้ดี มีความแม่นยำสูง โดยมีหลักการออกแบบที่เริ่มจากตัวควบคุมแบบพีก่อน แล้วจึงเลือกกำหนดค่าเวลาปรับตั้งใหม่ (reset time) สำหรับตัวควบคุมไอ จากนั้นขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการออกแบบเพื่อหาเวลาคงตัวในการอนุพันธ์ (derivative time constant) โดยมีรายละเอียดดังตอไปนี้

2.3.3.1 ตัวควบคุมพี (P-controller) เป็นตัวควบคุมที่ง่ายต่อการการปรับตั้ง ขณะเดียวกันก็มีวงจรของตัวควบคุมที่สร้างขึ้นจากออปแอมป์เป็นวงจรพื้นฐานง่าย ๆ แต่ก่อนที่จะอธิบายหลักการทำงาน และพฤติกรรมของระบบที่มีต่อตัวควบคุมพี จะเขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$F_R(s) = \frac{y_R(s)}{e(s)} = K_{pR} \qquad (2\text{-}1)$$

จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้สมการที่ (2-1) เขียนเป็นวงจรออปแอมป์ได้ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 วงจรออปแอมป์สำหรับตัวควบคุมพี

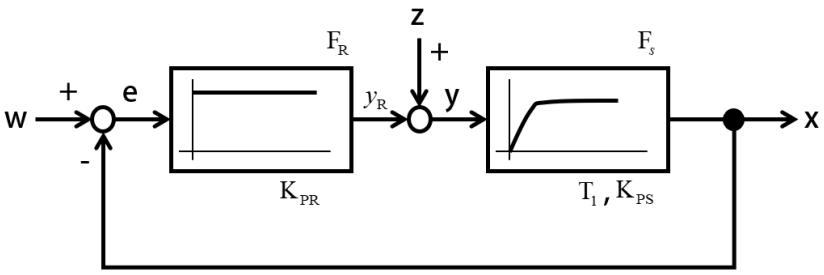
แต่ขณะเดียวกันวงจรออปแอมป์ตามภาพที่ 2-5 เขียนฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังสมการที่ (2-2)

$$F_R(s) = \frac{y_R(s)}{e(s)} = \frac{u_o(s)}{u_i(s)} = K_{pR} \tag{2-2}$$

โดยที่

$$K_{pR} = \frac{R_f}{R_i} \tag{2-3}$$

ข้อดีของวงจรตัวควบคุมพี ที่สร้างขึ้นจากออปแอมป์ตามภาพที่ 2-5 ค่าอัตราการขยาย K_{pR} ในสมการที่ (2-3) สามารถเลือกปรับค่าได้จากค่าของ R_f ทำให้เลือกปรับค่าพารามิเตอร์ต่ำกว่า 1 ได้ การใช้ตัวควบคุมพีในการควบคุมระบบลูปปิด ผลตอบสนองที่ได้จะเกิดสัญญาณความผิดพลาดขึ้น ในการออกแบบระบบลำดับหนึ่งแสดงดังภาพที่ 2-6 ตัวระบบ $F_s(s)$ มีแผนภาพบล็อกดังนี้



ภาพที่ 2-6 แผนภาพบล็อกการควบคุมลูปปิดตัวควบคุมพี

2.3.3.2 ตัวควบคุมพีไอดี ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอดี เป็นการรวมสัญญาณแบบพีนำมารวมกับอินทิเกรต และอนุพันธ์ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอดีเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$u_o(t) = K_p u_i(t) + K_i \int u_i(t)dt + K_d \frac{du_i(t)}{dt} \tag{2-4}$$

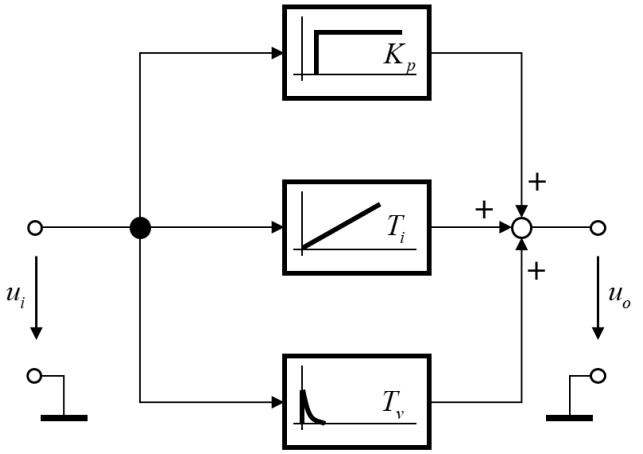
โดยที่

u_o คือ แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)

u_i คือ แรงดันอินพุต (โวลต์)

K คือ อัตราการขยาย

สมการที่ (2-4) เป็นสมการที่เขียนในรูปอย่างง่ายที่เขียนขึ้นจากแผนภาพบล็อกตามภาพที่ 2-7 ขณะที่ในทางปฏิบัติจะต้องแปลงรูปสมการให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยแปลงสมการที่ (2-4) ให้อยู่ในรูปอัตราการขยาย K_p และเวลาคงตัวของการอินทิเกรต T_n และเวลาคงตัวของการอนุพันธ์ T_v ดังนี้



ภาพที่ 2-7 แผนภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบพีไอดี

$$u_o(t) = K_p u_i(t) + \left(\frac{1}{T_i}\right)\int u_i(t)dt + K_p T_v \frac{du_i(t)}{dt} \qquad (2\text{-}5)$$

กำหนดให้ $K_i = \frac{1}{T_i}$ ขณะที่ $T_n = K_p T_i$ และ $K_d = K_p T_v$ ดังนั้นเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการที่ (2-4) สมการจะเปลี่ยนรูปไปดังสมการที่ (2-5) และเมื่อดึงตัวร่วม K_p ออกนอกวงเล็บสมการจะเปลี่ยนรูปไปเป็นสมการที่ (2-6)

$$u_o(t) = K_p\left\{u_i(t) + \frac{1}{T_n}\int u_i(t)dt + T_v \frac{du_i(t)}{dt}\right\} \qquad (2\text{-}6)$$

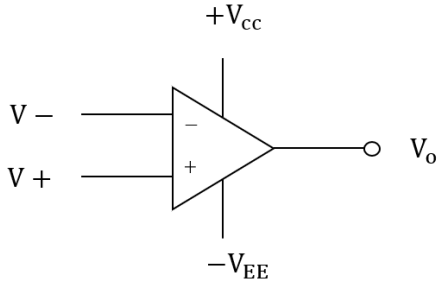
เมื่อนำสมการที่ (2-6) แปลงเข้าลาปลาซ ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมเป็นสมการที่ (2-7)

$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = F_c(s) = K_p \left\{ 1 + \frac{1}{T_n s} + T_v s \right\} \quad (2\text{-}7)$$

2.4 ออปแอมป์

2.4.1 ออปแอมป์ หรือออปเปอเรชั่นแนล แอมปลิไฟร์ (Operational amplifier) เป็นวงจรรวมในกลุ่มวงจรรวมที่ใช้งานมากที่สุดในวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์ มีการใช้ออปแอมป์ในวงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรในระบบควบคุมอัตโนมัติ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ และเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมนำมาช่วยจำลองการทำงาน และสามารถนำไปใช้ในงานควบคุมและจำลองการทำงานของระบบได้จริง การทำงานของออปแอมป์จะอาศัยหลักทฤษฎีของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ควบคุมได้ (voltage-controlled voltage source) ทำงานร่วมกับตัวต้านทาน ออปแอมป์นี้สามารถออกแบบให้เป็นวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้เกือบทั้งหมด เช่น การบวก การลบ การคูณ การหาค่าอนุพันธ์ แม้กระทั่งการอินทิเกรต โดยสัญญาณที่ป้อนเข้าทางด้านอินพุตสามารถเลือกให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับได้ การนำออปแอมป์ไปใช้งานจะต้องป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ออปแอมป์พร้อมที่จะทำงานเสียก่อน โดยจะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีทั้งขั้วบวกและลบ จึงจะทำให้ออปแอมป์ทำงานได้ ดังนั้นจึงเรียกออปแอมป์ว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า – อิเล็กทรอนิกส์ ประเภทองค์ประกอบแอกทีฟ (active element) (วิทยาลัยเทคโนโลยีชื่นชมไทย-เยอรมัน สระบุรี, 2564)

2.4.2 ออปแอมป์อุดมคติ มีสัญลักษณ์ของออปแอมป์แสดงในภาพที่ 2-8 เป็นรูปสามเหลี่ยม มี 2 อินพุต คือ อินพุตลบ (inverting input, -) และ อินพุตบวก (non-inverting input, +) มี 1 เอาต์พุต V_{cc} คือแรงดันไบอัสบวก และ V_{EE} คือแรงดันไบอัสลบ



ภาพที่ 2-8 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

ซึ่งมีคุณสมบัติอุดมคติที่สำคัญดังนี้

2.4.2.1 ค่าความต้านทานอินพุต มีค่าสูงมาก (ประมาณค่าเท่ากับอนันต์)

2.4.2.2 ค่าความต้านทานเอาต์พุต มีค่าน้อยมาก (ประมาณค่าเท่ากับศูนย์)

2.4.2.3 อัตราขยายลูปเปิด มีค่าสูงมาก (ประมาณค่าเท่ากับอนันต์)

ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และแรงดันที่ขาบวกและขาลบจะมีค่าเท่ากันเสมอดังสมการที่ (2-8)

$$i_1 = i_2 \text{ และ } V_+ = V_- \qquad (2\text{-}8)$$

ซึ่งถ้าภายในตัวออปแอมป์เมื่อพิจารณาถึงวงจรภายใน ในสภาวะที่ไม่เป็นอุดมคติจะประกอบไปด้วยวงจรสมมูล ดังภาพที่ 2-9

โดยที่

R_i คือ ความต้านทานอินพุต (โอห์ม)

V_d คือ ผลต่างของแรงดันอินพุต (โวลต์)

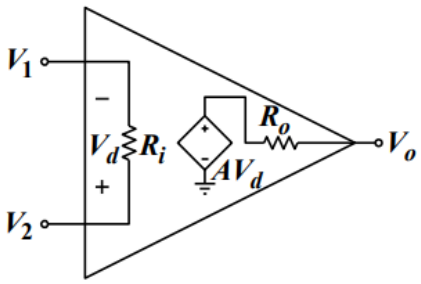
R_o คือ ความต้านทานเอาต์พุต (โอห์ม)

A คือ อัตราขยายแรงดัน (โวลต์)

V_O คือ แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)

V_1 คือ แรงดันอินพุตที่ขา ลบ (โวลต์)

V_2 คือ แรงดันอินพุตที่ขา บวก (โวลต์)



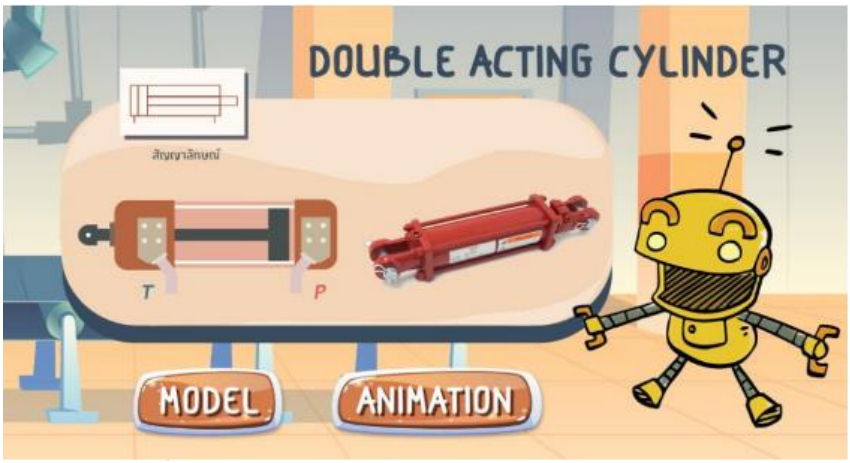
ภาพที่ 2-9 วงจรภายในของออปแอมป์ (วิทยาลัยเทคโนโลยีชื่นชมไทย-เยอรมัน สระบุรี, 2564)

สมการที่ (2-9) สมการแรงดันเอาต์พุต ของวงจรออปแอมป์ ในสภาวะที่ไม่เป็นอุดมคติ

$$V_O = A(V_2 - V_1) \qquad (2\text{-}9)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 พุฒิพงศ์ คชฤทธิ์ โกวิท นกโตและพรจิต ประทุมสุวรรณ. (2563) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนา และสร้างสื่อการเรียนการสอนในหัวข้อเรื่องระบบไฮดรอลิกส์ขั้นพื้นฐาน โดยใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมที่ประกอบด้วยหนังสือภาพประกอบ และแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมที่ใช้งานควบคู่กัน ภายในแอปพลิเคชันนำเสนอเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกส์ ขั้นพื้นฐานผ่านการจำลองโมเดลสามมิติเสมือนจริงของอุปกรณ์ และวิดีโอแอนิเมชันอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์นั้น ๆ ดังภาพที่ 2-10 ซึ่งโมเดลสามมิติและวิดีโอแอนิเมชันมีต้นแบบ และโครงสร้างจากอุปกรณ์จริงที่จะสามารถทำใจให้ผู้ใช้เห็นภาพ ส่วนของเทคโนโลยีความจริงเสริม และส่วนวิดีโอแอนิเมชันแสดงการทำงานต่าง ๆ ซึ่งโปรแกรมที่ผู้จัดทำเลือกใช้ในการสร้างแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมคือ โปรแกรม Unity ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ อีกทั้งยังสามารถสร้างหน้าต่างเมนูแสดงการทำงานได้ภายในตัว และแอปพลิเคชันที่ได้ยังสามารถติดตั้งบนสมาร์ทโฟนได้ทันที ผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม Adobe Animate CC ในการสร้างวิดีโอแอนิเมชัน ซึ่งภายในวิดีโอประกอบด้วยรูปภาพโครงสร้างของอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามหัวข้อนั้น ๆ พร้อมกับคำบรรยายอธิบายใต้ภาพ จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า การนำแอปพลิเคชันไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ที่ไม่เคยศึกษาเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกขั้นพื้นฐาน และกลุ่มผู้ที่เคยศึกษาเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกส์ขั้นพื้นฐาน โดยผู้ที่ไม่เคยศึกษาเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกพื้นฐานส่วนใหญ่เห็นว่าแอปพลิเคชันช่วยให้ผู้ใช้งานเห็นภาพโมเดลสามมิติเสมือนจริงของอุปกรณ์ และแอปพลิเคชันช่วยให้ผู้ใช้งานเกิดความเข้าใจถึงหลักการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ขั้นพื้นฐาน



ภาพที่ 2-10 หน้าต่างเลือกวิธีการเรียนรู้ของอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ (พุฒิพงศ์และโกวิท, 2563)

2.5.2 อัญชนา ลักษณ์วิรามสิริ และคนอื่น ๆ (2564) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแอปพลิเคชันการละเล่นพื้นบ้านด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันได้แก่ โปรแกรม Android Studio สำหรับใช้พัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ การละเล่นไทยพื้นบ้านด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริมดังภาพที่ 2-11 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิจัยได้แก่ แบบสอบถามความเห็นที่มีต่อการใช้งานแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ การละเล่นไทยพื้นบ้านด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม จากกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ อาจารย์ที่เป็นผู้สอนทางด้านคอมพิวเตอร์ และ/หรือมัลติมีเดีย จำนวน 10 คน นักศึกษาที่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จำนวน 30 คน และนักเรียนระดับประถมศึกษา จำนวน 30 คน ทั้งสิ้น 70 คน สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการจัดทำพบว่า การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์การละเล่นไทยพื้นบ้านด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม มีการผลิตออกมาเป็นโปรแกรม และหนังสือภาพสำหรับใช้ประกอบการเล่นการ์ตูน 3 มิติ โดยโปรแกรมสามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งานได้ตามฟังก์ชัน ภาพประกอบมีความสวยงาม และน่าสนใจ ผู้ใช้งานสามารถดูการละเล่นพื้นบ้านประกอบด้วยประวัติความเป็นมา ประเภทการละเล่นที่มีเพลงประกอบและไม่มีเพลงประกอบ อุปกรณ์ประกอบการละเล่น และวิธีการเล่นผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่มีกล้องถ่ายรูปสำหรับใช้ส่องไปที่รูปภาพการ์ตูนการละเล่นในหนังสือภาพจะปรากฏการ์ตูน 3 มิติพร้อมเสียงบทร้องประกอบให้มีความน่าสนใจมากขึ้น และจากการเก็บความคิดเห็นต่อการใช้งานโปรแกรมการละเล่นไทย

ภาพที่ 2-11 ภาพตัวอย่างหน้าจอแสดงกล้องเทคโนโลยีความจริงเสริมเพื่อใช้ส่องรูปภาพการ์ตูนในหนังสือภาพ (อัญชนา ลักษณ์วิรามสิริ และคนอื่น ๆ 2564)

2.5.3 วรรณวิศา วัฒนสินธุ์และยุภี อาบสุวรรณ (2565) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสื่อการเรียนรู้เทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ซึ่งการวิจัยนี้สำหรับพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ประเมินความความพึงพอใจที่มีต่อสื่อการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้น โดยทำการศึกษาผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือในการจัดทำคือ สื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น แบบประเมินความเหมาะสมของสื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น และแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อการเรียนรู้ มีความเหมาะสมของสื่อการสอนอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$=4.56, S.D.= 0.5) ผลการสร้างสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น เนื้อหาประกอบไปด้วย ความหมาย การหาค่าความต้านทาน และวิดีโอแสดงการต่อวงจรแบบอนุกรม ขนาน ผสม สร้างด้วยโปรแกรมออนไลน์ V-Director by VIDINOTI และใช้แอปพลิเคชัน V-Player อ่านข้อมูล QR-Code ให้แอปพลิเคชันเชื่อมต่อกับภาพ Marker หรือ AR Code ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 2-12 และผลประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น โดยนักศึกษาจำนวน 25 คน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$=4.56, S.D.= 0.54)

ภาพที่ 2-12 Marker หรือ AR Code ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุที่สร้างขึ้น (วรรณวิศาและยุภี, 2565)

2.5.4 นางมาลี อินทร์ประเสริฐ (2563) ได้จัดทำงานวิจัยเกี่ยวกับทัศนคติของนักศึกษาระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่มีต่อวิชาศึกษาทั่วไป และคุณลักษณะ GREATS เป็นคุณลักษณะของบัณฑิตที่มหาวิทยาลัยพึงต้องการ งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงผสมผสาน โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาสายวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จาก 4 คณะ ประกอบด้วย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง และสถาบัน

เทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร จำนวนทั้งสิ้น 331 คน โดยทั้งหมดเป็นนักศึกษาที่กำลังศึกษาในปีการศึกษา 2562 ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นอย่างเป็นสัดส่วน และเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม และใช้การสัมภาษณ์รายบุคคลกับตัวแทนนักศึกษา จำนวน 12 คน จากผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาสายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความคิดเห็นต่อวิชาศึกษาทั่วไปในเชิงบวก และมีทัศนคติต่อคุณลักษณะ GREATS ไปในทางที่ดี ผลการวิจัยอยู่ระดับเห็นด้วย โดยนักศึกษามองว่าเนื้อหา และวิธีการสอนของวิชาศึกษาทั่วไปเป็นหนทางหลักที่มหาวิทยาลัยสามารถใช้ในการพัฒนาคุณลักษณะ GREATS ให้กับนักศึกษาได้

2.5.5 พัชรินทร์ (2564) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาชุดปฏิบัติการออปแอมป์ สำหรับการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการออปแอมป์สำหรับการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ชุดปฏิบัติการนี้ประกอบด้วยใบงานและคู่มือการใช้งานของชุดปฏิบัติการ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 2 สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 20 คน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ ชุดปฏิบัติการ ใบงาน คู่มือ การใช้ชุดปฏิบัติการแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการ แบบประเมินคุณภาพใบงาน แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ การวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาชุดปฏิบัติการออปแอมป์ มีคุณภาพโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก $(\bar{X}=4.86, S.D.= 0.27)$ และการพัฒนาใบงานโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก $(\bar{X}=4.88, S.D.= 0.28)$ และประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการ E_1 / E_2 เท่ากับ 81.91/82.25 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

2.5.6 เกวลี พิเชนทร์ และอภิวัฒน์ (2561) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีมิติเสมือนจริง เรื่อง คำศัพท์ภาษาอังกฤษสัตว์โลกน่ารู้ ซึ่งผู้จัดทำได้เล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีมิติเสมือนจริง เรื่อง คำศัพท์ภาษาอังกฤษสัตว์โลกน่ารู้ โดยมีกลุ่มตัวอย่าง คือ ชั้นอนุบาลปีที่ 1–3 จำนวน 30 คน มีเครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ สื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีมิติเสมือนจริง เรื่อง คำศัพท์ภาษาอังกฤษสัตว์โลกน่ารู้ ดังภาพที่ 2-13 และแบบประเมินความพึงพอใจ สื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีมิติเสมือนจริง สถิติที่ใช้ได้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า หน้าหลักของสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีมิติเสมือนจริง ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวเลือก 3 ตัวเลือก ได้แก่ 1)เปิดแฟ้มสัตว์โลก 2)วิธีการใช้งาน และ 3)ประวัติผู้จัดทำงานวิจัย ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนมีความพึงพอใจต่อสื่อโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

ภาพที่ 2-13 แสดงเทคโนโลยีมิติเสมือนจริงปลาหมึก (เกวลีและอภิวัฒน์, 2561)

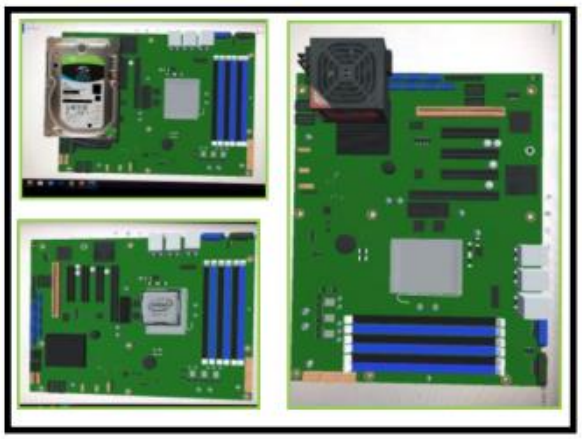
2.5.7 ชาญชัย และเกศรา (2562) ทำงานวิจัยเกี่ยวกับหนังสือวรรณคดีไทยสามมิติ เรื่อง หลวิชัย คาวี ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ และพัฒนาหนังสือวรรณคดีไทยสามมิติ เรื่อง หลวิชัย คาวี ด้วย เทคโนโลยีความจริงเสริมที่พัฒนาขึ้น มีแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อหนังสือวรรณคดีไทยสาม มิติ เรื่องหลวิชัย คาวี เนื้อเรื่องจะถูกจำลองโมเดลในลักษณะแอนิเมชัน ดังภาพที่ 2-14 ผลการวิจัยพบว่ามีรูปแบบสามมิติของเนื้อเรื่องอยู่ทั้งหมด 13 ฉาก โดยมีผลการศึกษาความพึงพอใจมาจากผู้ใช้งานจำนวน 50 คน ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ได้ค่าคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.64 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 ซึ่งสรุปได้ว่าหนังสือวรรณคดีไทยสามมิติ เรื่อง หลวิชัย คาวี นี้ช่วยให้ผู้ใช้มีความเข้าใจเพิ่มแรงจูงใจในการศึกษาวรรณคดีไทย และช่วยอนุรักษ์วรรณคดีไทย

ภาพที่ 2-14 โมเดลฉากที่ 11 และ 12 (ชาญชัยและเกศรา, 2562)

2.5.8 ณัฐพงศ์ (2560) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสื่อการสอน ชิ้นส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ด้วย เทคโนโลยีเสมือนจริง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบ และแนวทางการพัฒนาสื่อการสอน ชิ้นส่วน อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง (Augmented Reality) พัฒนาสื่อการสอน ชิ้นส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และ การสื่อสาร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 60 คนเครื่องมือที่ แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อสื่อเทคโนโลยี เสมือนจริงผลการวิจัย พบว่า ผลการศึกษาองค์ประกอบและแนวทางการพัฒนาสื่อการสอนชิ้นส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เห็นด้วยมากกว่าร้อยละ 80.00

2.5.9 ทวีพร และจิรพันธุ์ (2564) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เรื่องการประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ซึ่งผู้จัดทำได้พัฒนาสื่อการเรียนการสอนเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม รายวิชาคอมพิวเตอร์และการบำรุงรักษา และหาประสิทธิภาพของสื่อการเรียนการสอนด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริมที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสื่อการเรียนการสอน และศึกษาความพึงพอใจ พร้อมทั้งสอบถามความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 แผนกวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยอาชีวศึกษานครปฐม จำนวน 40 คน ผลการวิจัยพบว่า สื่อเทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่องการประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.06/80.20 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนด้วยสื่อเทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่องการประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนสื่อเทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่องการประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่พัฒนาขึ้นอยู่ที่ระดับมาก จากการหาคุณภาพของสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริมสำหรับรายวิชาคอมพิวเตอร์ และการบำรุงรักษา โดยผู้เชี่ยวชาญ ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิค ทั้ง 3 ท่าน พบว่าสื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น ด้านเนื้อหามีค่าเฉลี่ยของคุณภาพเท่ากับ 4.42 ซึ่งอยู่ในระดับดี และด้านเทคนิคมีค่าเฉลี่ยของคุณภาพเท่ากับ 4.45 ซึ่งอยู่ในระดับดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลหน่วยการเรียนรู้ที่ 6 เรื่องการประกอบ เครื่องคอมพิวเตอร์ อย่างละเอียด รวมถึงสอบถามอาจารย์ ที่ปรึกษา ตลอดจนผู้มีความรู้ในเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง จนกระทั่งเข้าใจหลักการทำงาน ชื่อของส่วนต่างๆ ของชิ้นส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ อย่างถูกต้อง และพัฒนาสื่อการเรียนรู้ ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริมสำหรับรายวิชาคอมพิวเตอร์ และการบำรุงรักษา ดังภาพที่ 2-15 ที่มีเนื้อหาทั้งในส่วนของ แอปพลิเคชัน ได้แก่ รูปทรงโมเดล ทิศทางการเคลื่อนไหว ตัวอักษรที่เด่นชัดอ่านง่าย

และในส่วนของเอกสาร เสริมการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม ได้แก่ รูปภาพประกอบที่ชัดเจน เนื้อหาที่กะทัดรัดถูกต้อง ก่อนส่ง สื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ



ภาพที่ 2-15 แสดงเทคโนโลยีมิติเสมือนจริงภายในคอมพิวเตอร์ (ทวีพรและจิรพันธุ์, 2564)

2.5.10 โศภิตา ดร.ทัศนีย์ และวนิดา (2562) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลการเรียนรู้โดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การสืบพันธุ์ของสัตว์ในรายวิชาชีววิทยา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลการเรียนรู้ เรื่อง การสืบพันธุ์ของสัตว์เมื่อใช้การจัดการเรียนรู้แบบ สืบเสาะหาความรู้ในรูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ทำการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี จำนวน 45 คน โดยการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การสืบพันธุ์ของสัตว์ จำนวน 6 แผนการจัดการเรียนรู้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล 1) แบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้ก่อนและหลังเรียน 2) อนุทินสะท้อนความคิด ของนักเรียน 3) แบบบันทึกภาคสนามของครูผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Normalized gain <g> มาวิเคราะห์ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีผลการเรียนรู้เฉลี่ยเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนสอบก่อนเรียน และหลังเรียน โดยผู้เรียนมีผลการเรียนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับสูง (High gain) มีทั้งหมด 26 คน คิดเป็นร้อยละ 57.78 และในระดับปานกลาง (Medium gain) มีทั้งหมด 19 คน คิดเป็นร้อยละ 42.22

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

การทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับวิชาการควบคุมอัตโนมัติ ที่มีแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริม ซึ่งการจัดทำปริญญานิพนธ์ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และอยู่ในเงื่อนไขของระยะเวลาที่กำหนดไว้ ทางผู้จัดทำจึงต้องแบ่งหัวข้อและขั้นตอนในดำเนินงานเป็นลำดับขั้น โดยมีลำดับขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.1 ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีความจริงเสริม
- 3.1.2 ศึกษาการพัฒนาแอปพลิเคชัน
- 3.1.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมระบบ

3.2 แผนผังการจัดทำปริญญานิพนธ์
- 3.2.1 แผนผังการดำเนินงาน
- 3.2.2 แผนผังการออกแบบแอพพลิเคชัน

3.3 การออกแบบลายวงจรควบคุมระบบด้วยออปแอมป์
- 3.3.1 การออกแบบลายวงจรสัดส่วน
- 3.3.2 การออกแบบลายวงจรอินทิเกรต
- 3.3.3 การออกแบบลายวงจรลำดับหนึ่ง
- 3.3.4 การออกแบบลายวงจรลำดับสอง
- 3.3.5 การออกแบบลายวงจรพีไอดี

3.4 การออกแบบใบงานประกอบการจัดการเรียนรู้

3.5 การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมร่วมกับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ
- 3.5.1 การออกแบบวิธีการเรียนรู้
- 3.5.2 ไดอะแกรมออกแบบการทำงานของแอปพลิเคชัน
- 3.5.3 ออกแบบหน้าจอการทำงานของแอปพลิเคชัน
- 3.5.4 สร้างโมเดล 3 มิติ ของบอร์ดวงจรควบคุมระบบด้วยออปแอมป์

3.6 การสร้างแอปพลิเคชันสำหรับใช้ร่วมกับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

3.7 การออกแบบใบประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC จากผู้เชี่ยวชาญ

3.8 ดำเนินการเก็บผล

3.1 การศึกษาข้อมูลและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีความจริงเสริม ซึ่งในการสร้างสื่อการเรียนการสอนที่จะต้องทำมาร่วมเทคโนโลยีความจริงเสริมนั้น คณะผู้จัดทำจำเป็นจะต้องทราบถึงข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยีความจริงเสริม ไม่ว่าจะเป็นความหมาย องค์ประกอบ รวมถึงขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ โดยเทคโนโลยีความจริงเสริมเป็นเทคโนโลยีที่ผสานระหว่างโลกแห่งความเป็นจริงเข้ากับโลกเสมือน ผ่านอุปกรณ์ดิจิทัลด้วยการซ้อนภาพในโลกเสมือนไว้บนภาพในโลกแห่งความเป็นจริง เพื่อแสดงภาพเสมือนให้แสดงอยู่ในสภาวะแวดล้อมจริง หรือแสดงภาพเสมือนบนหน้าจอของอุปกรณ์ดิจิทัล ซึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีความจริงเสริมจำเป็นต้องมีองค์ประกอบหลัก ทั้งหมด 4 องค์ประกอบ คือ ตัวระบุตำแหน่ง กล้องวิดีโอหรือกล้องบนสมาร์ทโฟน อุปกรณ์แสดงผล และซอฟต์แวร์หรือแอปพลิเคชันสำหรับประมวลผล ถึงจะสามารถสร้างเทคโนโลยีความจริงเสริมได้ ทั้งนี้รูปแบบ และลักษณะของเทคโนโลยีความจริงเสริมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ หรือความต้องการของผู้พัฒนาว่าจะพัฒนาไปในทางด้านใด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีความจริงเสริม ดังที่กล่าวมาในบทที่ 2 จะเห็นว่านักพัฒนาส่วนใหญ่ได้นำเทคโนโลยีความจริงเสริมมาประยุกต์ใช้ร่วมกับสื่อการเรียนการสอน เพื่อให้บทเรียนมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งนักพัฒนาส่วนใหญ่มักจะเน้นในเรื่องของการสร้างภาพจำลองหรือโมเดลสามมิติของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเสมือนจริงกับอุปกรณ์ชนิดนั้น ๆ อีกทั้งยังเพิ่มคำอธิบายหรือเสียงบรรยายที่จะทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจและเห็นภาพของบทเรียนได้มากยิ่งขึ้น องค์ประกอบของเทคโนโลยีความจริงเสริมที่ถูกพัฒนาส่วนใหญ่จะประกอบด้วยองค์ประกอบคล้าย ๆ กัน คือ ใช้ตัวระบุตำแหน่งชนิดรูปภาพเป็นสัญลักษณ์สำหรับแสดงโมเดลสามมิติ ใช้สมาร์ทโฟนที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในการประมวลผล และแสดงข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้สามารถช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

ดังนั้น จากที่คณะผู้จัดทำได้ศึกษาข้อมูลของเทคโนโลยีความจริงเสริมทำให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับหลักการทำงาน และองค์ประกอบของเทคโนโลยีความจริงเสริม ที่ใช้พัฒนาสื่อการเรียนการสอนเรื่องการควบคุมระบบประกอบไปด้วยตัวระบุตำแหน่งชนิดรูปภาพ โมเดลสามมิติเสมือนจริงของอุปกรณ์ สมาร์โฟนที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และแอปพลิเคชันสำหรับการประมวลผลต่างๆ

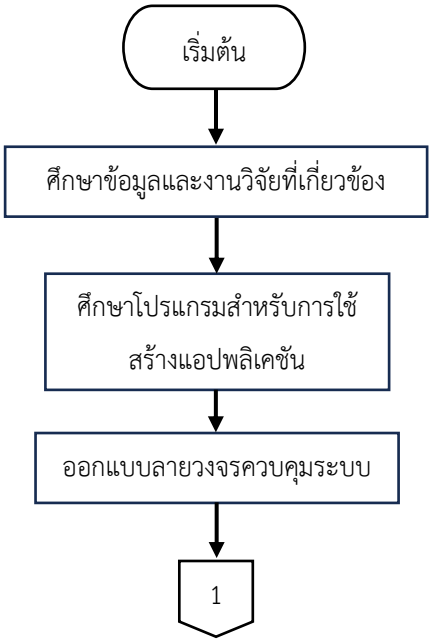
3.1.2 ศึกษาการพัฒนาแอปพลิเคชัน การพัฒนาแอปพลิเคชันให้ประสบความสำเร็จจำเป็นจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน และมีการวางแผนจากการศึกษาข้อมูลในบทที่ 2 ทำให้คณะผู้จัดทำได้ทราบถึงขั้นตอนในการพัฒนาแอปพลิเคชันซึ่งเป้าหมายของแอปพลิเคชัน

คือ การพัฒนาสื่อการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความเข้าใจ และเห็นภาพประกอบได้ชัดเจนมากที่สุด

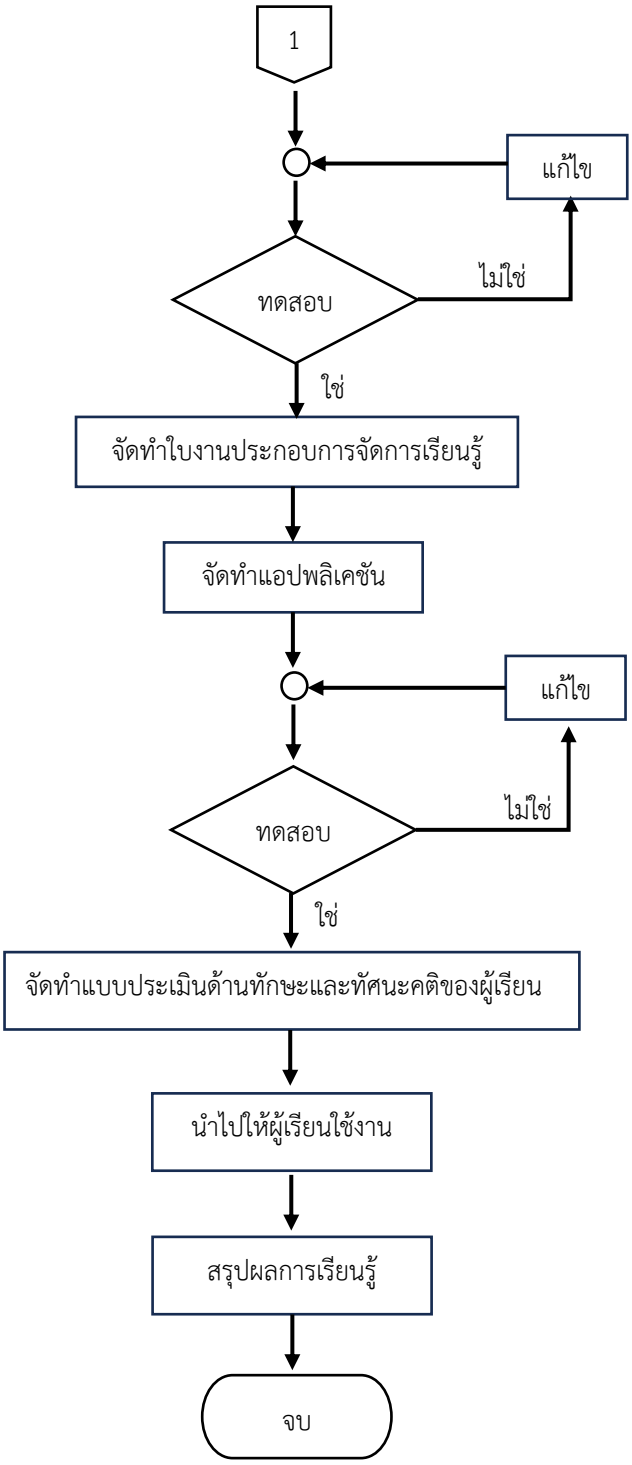
3.1.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมระบบ ใช้ในการสร้างสื่อการเรียนการสอนของรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งใช้ประกอบการสาธิตการต่อวงจรด้วยออปแอมป์ และมีแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมเพื่อเป็นสื่อประกอบการเรียนรู้ โดยรายละเอียดเนื้อหาประกอบไปด้วยระบบลูปเปิดและระบบลูปปิด

3.2 แผนผังการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.2.1 แผนผังการดำเนินงานดังภาพที่ 3-1 เป็นการวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ เพื่อให้การดำเนินการจัดทำปริญญานิพนธ์การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

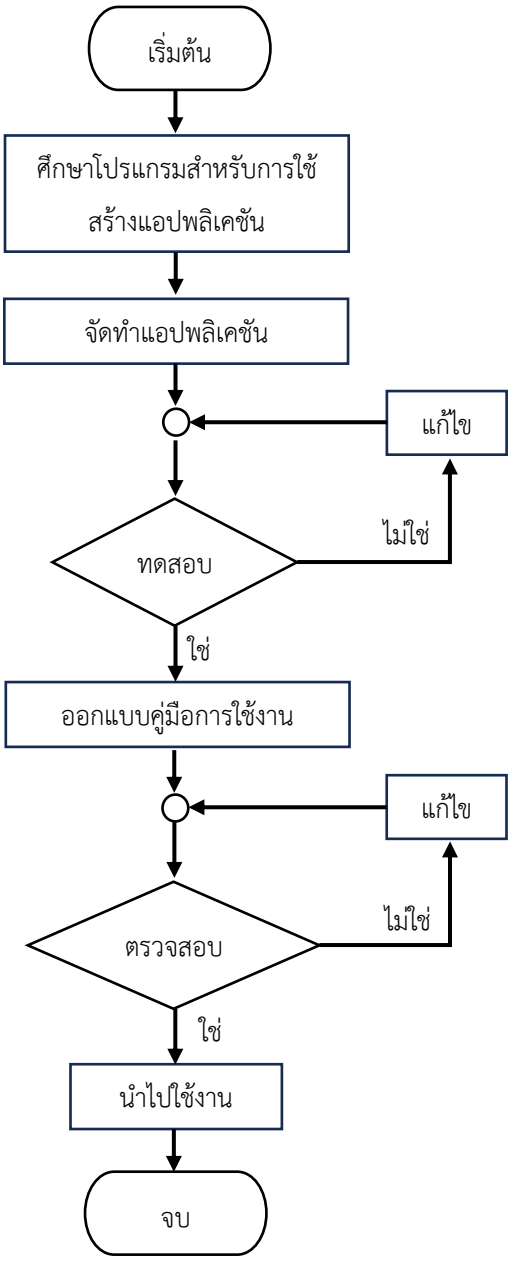


ภาพที่ 3-1 แผนผังการดำเนินงานการจัดทำปริญญานิพนธ์


1
แก้ไข
ทดสอบ
ไม่ใช่
ใช่
จัดทำใบงานประกอบการจัดการเรียนรู้
จัดทำแอปพลิเคชัน
แก้ไข
ทดสอบ
ไม่ใช่
ใช่
จัดทำแบบประเมินด้านทักษะและทัศนะคติของผู้เรียน
นำไปให้ผู้เรียนใช้งาน
สรุปผลการเรียนรู้
จบ

ภาพที่ 3-1 (ต่อ)

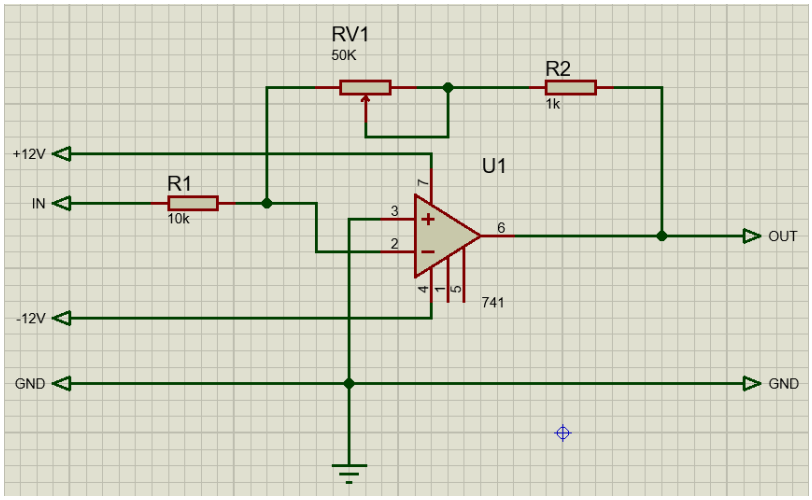
3.2.2 แผนผังการออกแบบแอปพลิเคชันดังภาพที่ 3-2 เป็นการวางแผนในการออกแบบการทำงานของแอปพลิเคชันที่ประกอบไปด้วยแผงวงจร ขั้นตอนการต่อใส่อุปกรณ์ของวงจร และการคำนวณของวงจร



ภาพที่ 3-2 แผนผังการออกแบบแอปพลิเคชัน

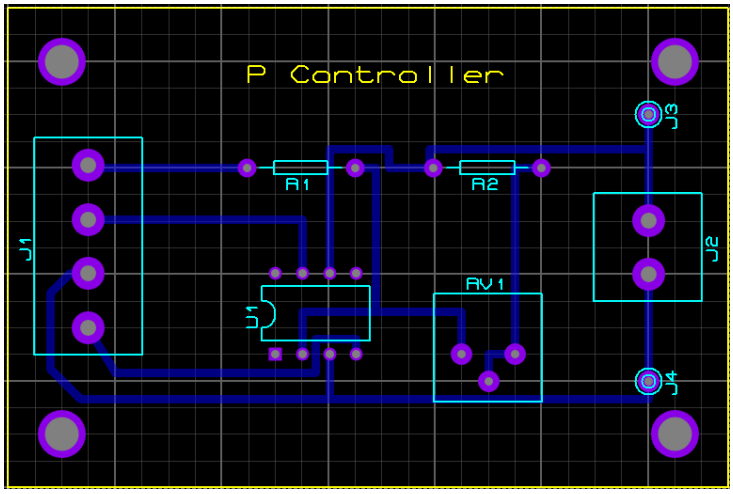
3.3 การออกแบบลายวงจรควบคุมระบบด้วยออปแอมป์

3.3.1 การออกแบบลายวงจรสัดส่วนนี้จะประกอบไปด้วยออปแอมป์ และตัวต้านทานเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงระหว่างด้านอินพุตและเอาต์พุต ดังภาพที่ 3-3



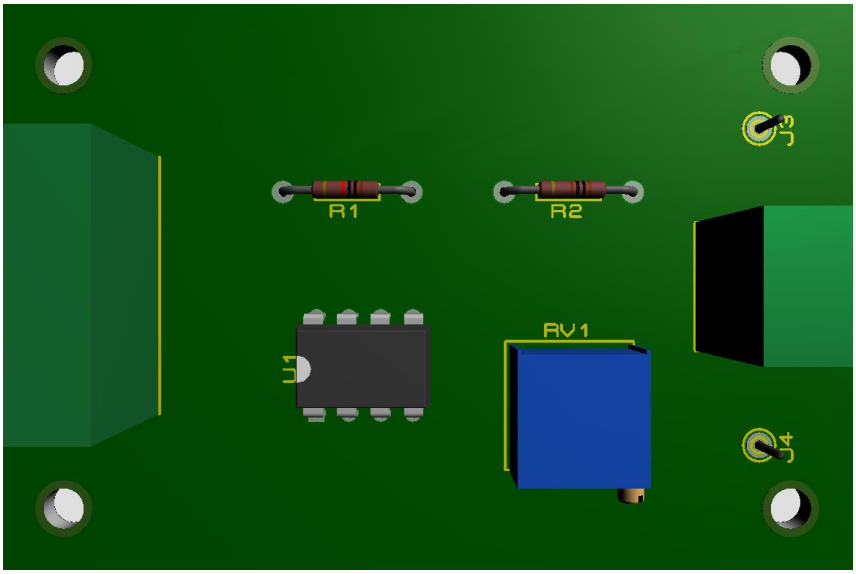
ภาพที่ 3-3 วงจรสัดส่วนโดยใช้ออปแอมป์

การสร้างวงจรสัดส่วนหรือวงจรพี ซึ่งได้สร้างในโปรแกรมโปรติอุสมีการจัดวางอุปกรณ์โดยที่ J1 และ J2 คือ ขั้วต่อเทอมินอลฝั่งไฟเข้าและสัญญาณออก R1 และR2 คือ ตัวต้านทาน U1 คือ ออปแอมป์ J3 และJ4 คือ ขาวัดสัญญาณของวงจร และRV1 คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้ ดังภาพที่ 3-4



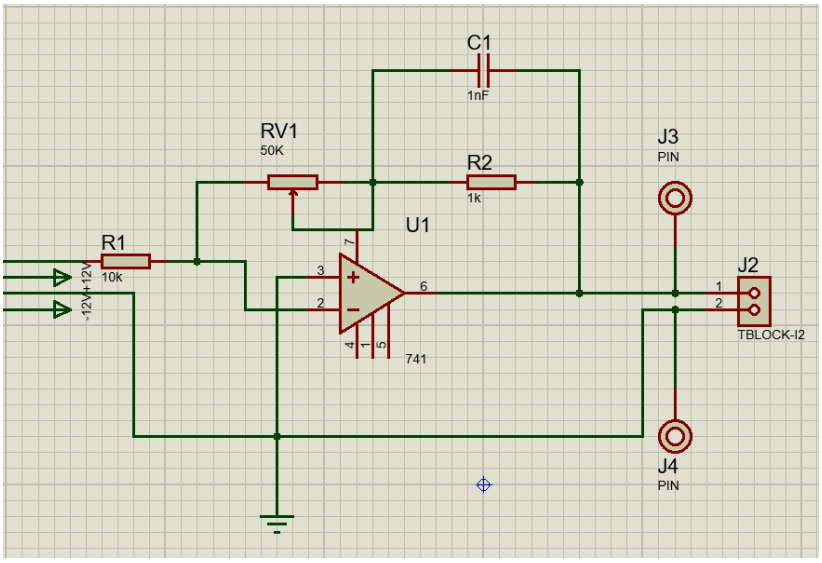
ภาพที่ 3-4 ลายวงจรสัดส่วน

จากภาพที่ 3-4 ถัดมาจะเป็นตัวอย่างการจัดวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดที่ได้สร้างขึ้น ดังภาพที่ 3-5



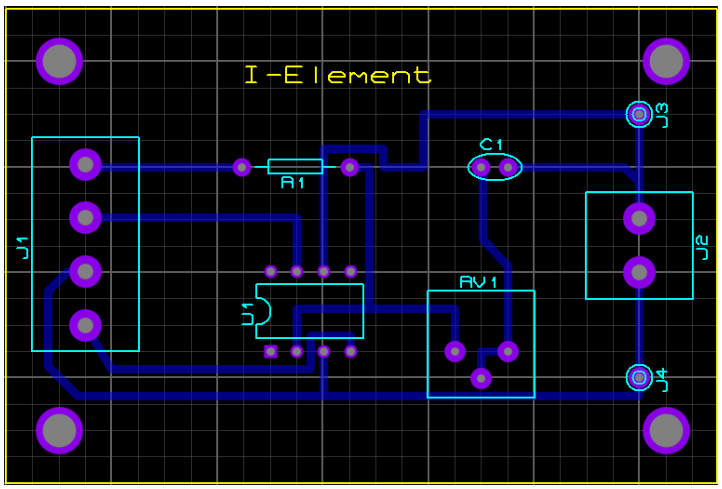
ภาพที่ 3-5 การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรสัดส่วน

3.3.2 การออกแบบลายวงจรอินทิเกรตนี้จะประกอบไปด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงระหว่างด้านอินพุต และเอาต์พุต ดังภาพที่ 3-6



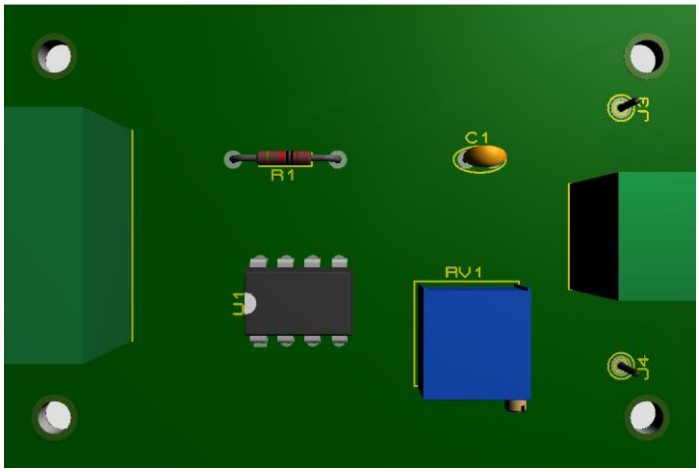
ภาพที่ 3-6 วงจรอินทิเกรตโดยใช้ออปแอมป์

การสร้างวงจรอินทิเกรตหรือวงจรไอ ซึ่งได้สร้างในโปรแกรมโปรติอุสมีการจัดวางอุปกรณ์โดยที่ J1 และJ2 คือ ขั้วต่อเทอมินอลฝั่งไฟเข้า และสัญญาณออก R1 คือ ตัวต้านทาน U1 คือ ออปแอมป์ J3 และJ4 คือ ขาวัดสัญญาณของวงจร RV1 คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้ และC1 คือ ตัวเก็บประจุ ดังภาพที่ 3-7



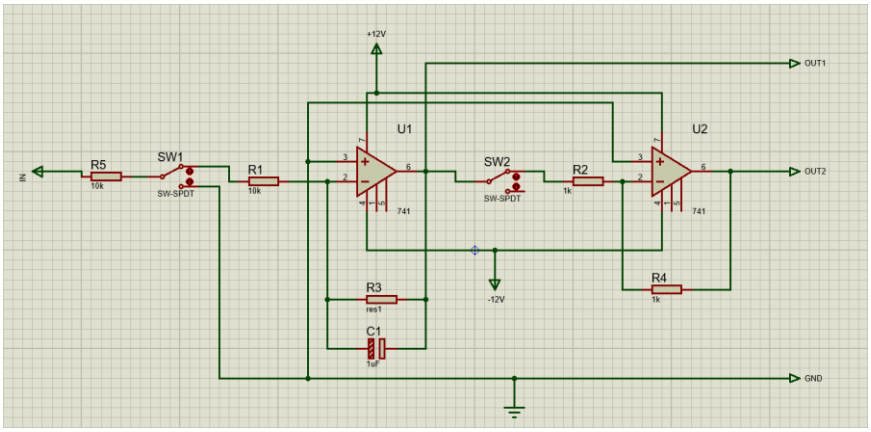
ภาพที่ 3-7 ลายวงจรอินทิเกรต

จากการสร้างวงจรอินทิเกรตหรือวงจรไอ ดังภาพที่ 3-8 จะเป็นการแสดงตัวอย่างจากการวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดของวงจรไอ



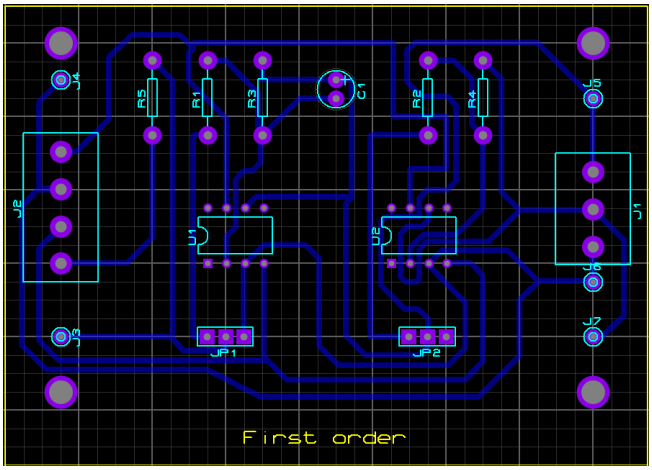
ภาพที่ 3-8 การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรอินทิเกรต

3.3.3 การออกแบบลายวงจรลำดับหนึ่งนี้จะประกอบไปด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุดังภาพที่ 3-9



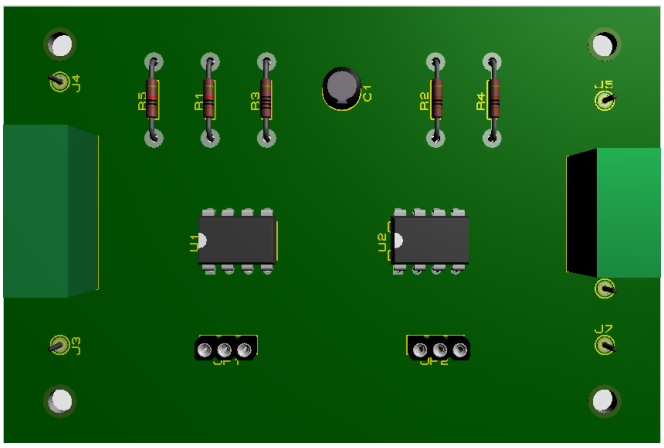
ภาพที่ 3-9 วงจรลำดับหนึ่งโดยใช้ออปแอมป์

การสร้างวงจรลำดับหนึ่ง ซึ่งได้สร้างในโปรแกรมโปรติอุสมีการจัดวางอุปกรณ์ โดยที่ J1 และJ2 คือ ขั้วต่อเทอมินอลฝั่งไฟเข้า และสัญญาณออก R1 R2 R3 R4 และR5 คือ ตัวต้านทาน U1และU2 คือ ออปแอมป์ J3 J4 J5 J6 และJ7 คือ ขาวัดสัญญาณของวงจร JP1 และJP2 คือ สวิตช์สำหรับเปิดปิดการทำงานของสัญญาณ และC1 คือ ตัวเก็บประจุ ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 ลายวงจรลำดับหนึ่ง

จากการสร้างวงจรลำดับหนึ่ง ดังภาพที่ 3-11 จะเป็นการแสดงตัวอย่างจากการวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดของวงจรลำดับหนึ่ง

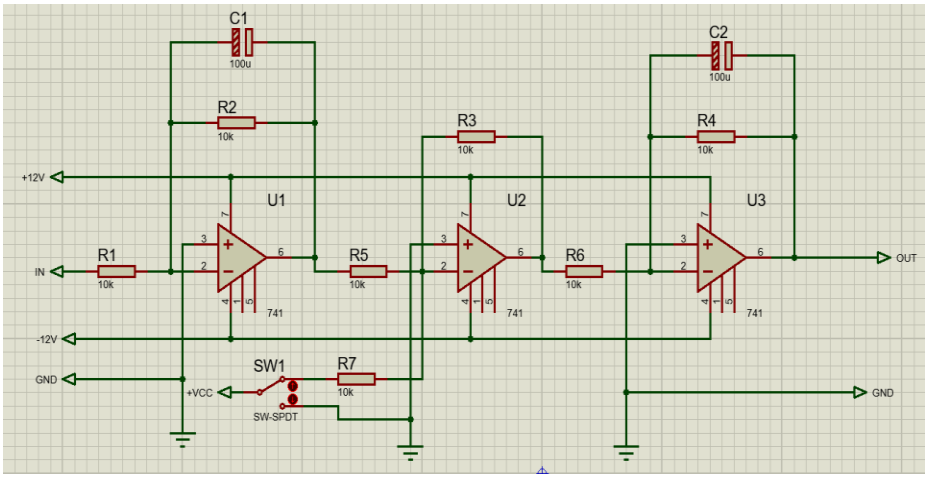


ภาพที่ 3-11 การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรลำดับหนึ่ง

3.3.4 การออกแบบลายวงจรลำดับสอง

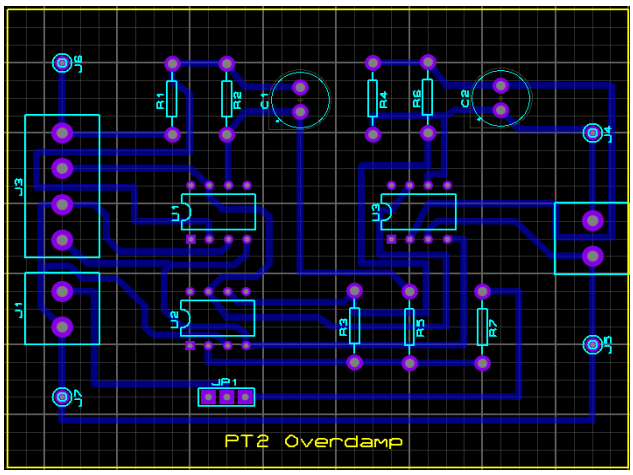
วงจรลำดับสองมี 2 แบบ ประกอบไปด้วย วงจรลำดับสองแบบหน่วงเกินและวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด

3.3.4.1 การต่อวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกินนี้จะประกอบไปด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุดังภาพที่ 3-12



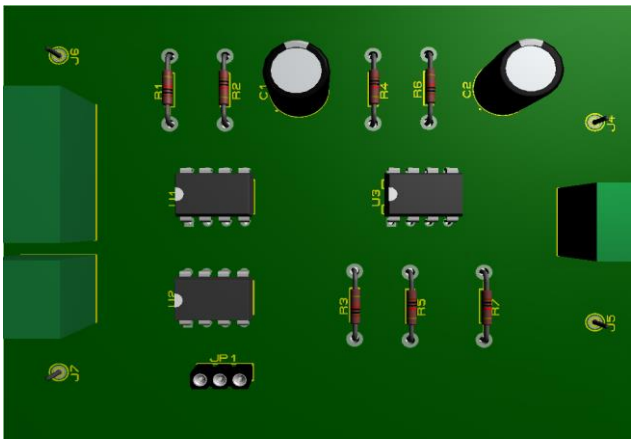
ภาพที่ 3-12 วงจรลำดับสองแบบหน่วงเกินโดยใช้ออปแอมป์

การสร้างวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน ซึ่งได้สร้างในโปรแกรมโปรติอุสมีการจัดวางอุปกรณ์ โดยที่ J1 J2 และJ3 คือ ขั้วต่อเทอมินอลฝั่งไฟเข้า และสัญญาณออก R1 R2 R3 R4 R5 R6 และR7 คือ ตัวต้านทาน U1 U2 และU3 คือ ออปแอมป์ J4 J5 J6 และJ7 คือ ขาวัดสัญญาณของวงจร C1 และC2 คือ ตัวเก็บประจุ และJP1 คือ สวิตช์สำหรับเปิดปิดการทำงานของสัญญาณ ดังภาพที่ 3-13



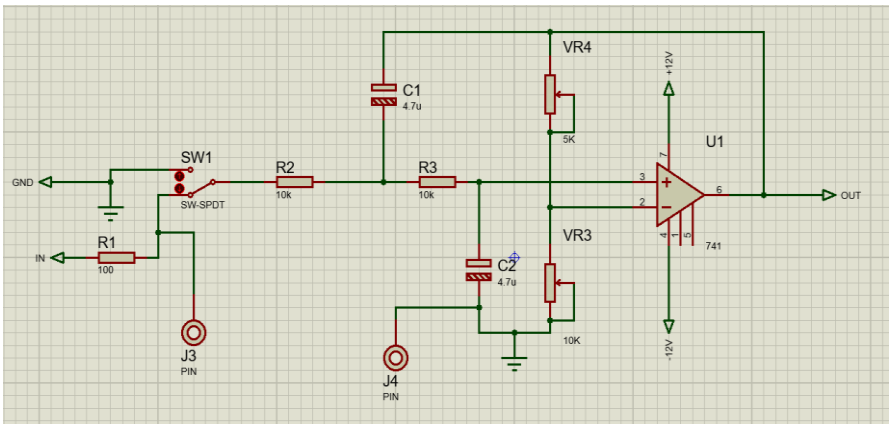
ภาพที่ 3-13 ลายวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน

จากการสร้างวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกินดังภาพที่ 3-14 จะเป็นการแสดงตัวอย่างจากการวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดของวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน



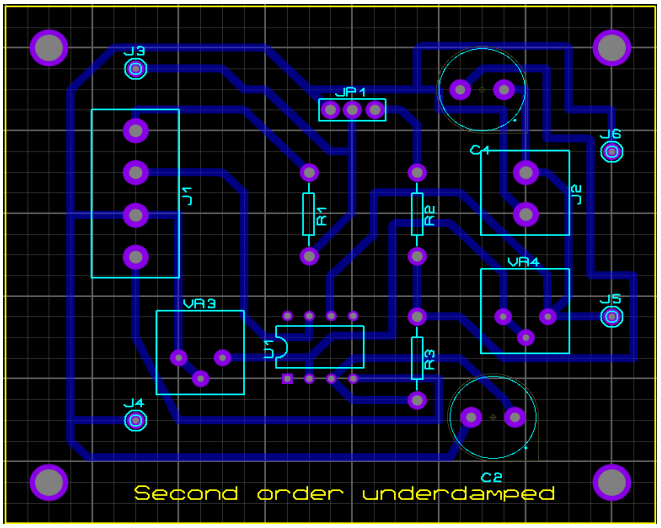
ภาพที่ 3-14 การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน

3.3.4.2 การต่อวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาดนี้จะประกอบไปด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน และคาปาซิสเตอร์ดังภาพที่ 3-15



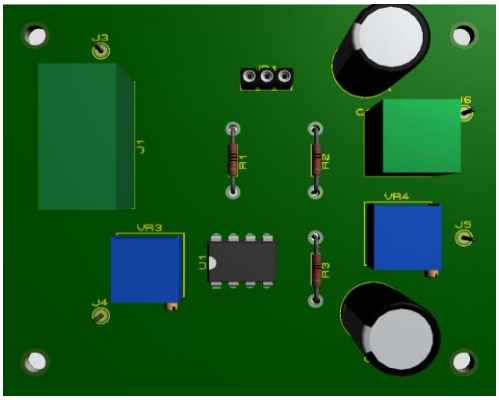
ภาพที่ 3-15 วงจรลำดับสองแบบหน่วงขาดโดยใช้ออปแอมป์

การสร้างวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด ซึ่งได้สร้างในโปรแกรมโปรติอุสมีการจัดวางอุปกรณ์ โดยที่ J1 และJ2 คือ ขั้วต่อเทอมินอลฝั่งไฟเข้า และสัญญาณออก R1 R2 และR3 คือ ตัวต้านทาน U1 คือ ออปแอมป์ J3 J4 J5 และJ6 คือ ขาวัดสัญญาณของวงจร C1 และC2 คือ ตัวเก็บประจุ VR3 และVR4 คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้ และJP1 คือ สวิตช์สำหรับเปิดปิดการทำงานของสัญญาณ ดังภาพที่ 3-16



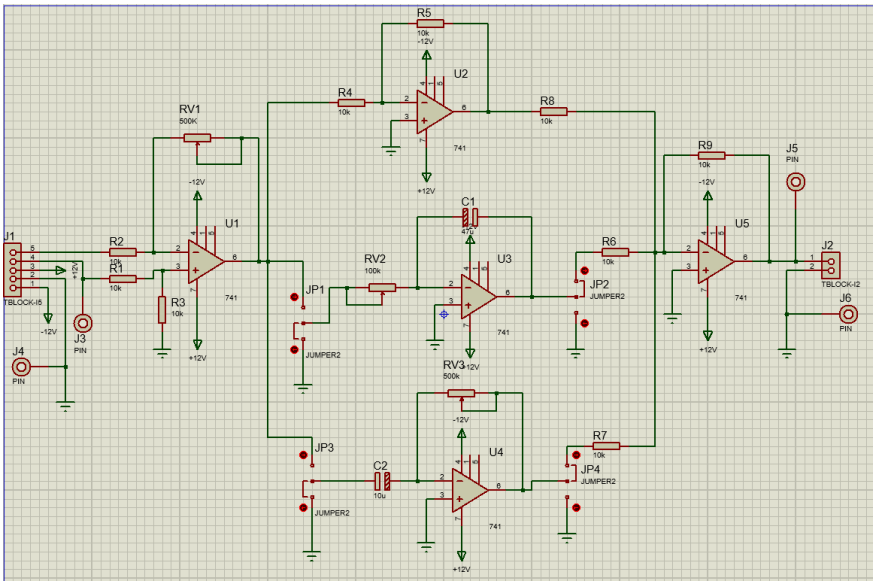
ภาพที่ 3-16 ลายวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด

จากการสร้างวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาดดังภาพที่ 3-17 จะเป็นการแสดงตัวอย่างจากการวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดของวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด



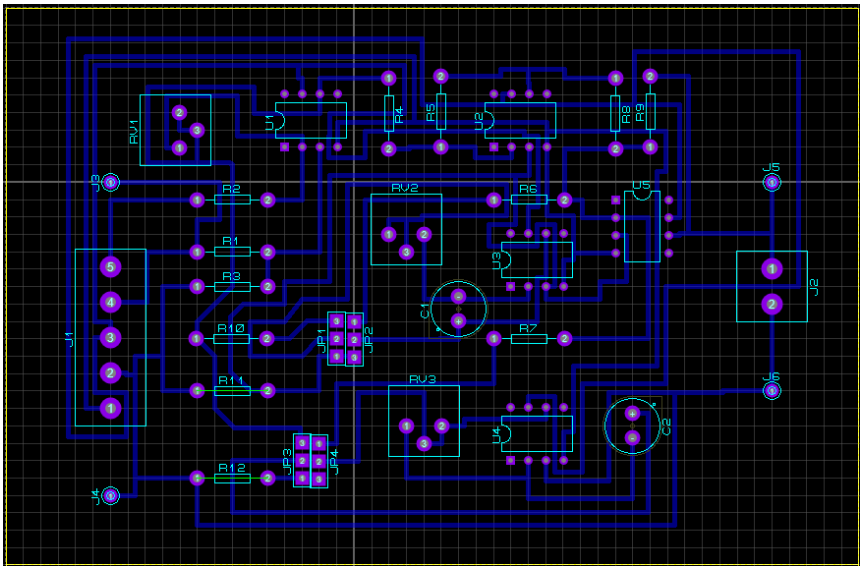
ภาพที่ 3-17 การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรลำดับสองแบบหน่วงขาด

3.3.5 การออกแบบลายวงจรพีไอดี ประกอบไปด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและสวิตช์ในการเลือกปิดตัวควบคุมไอและดีดังภาพที่ 3-18



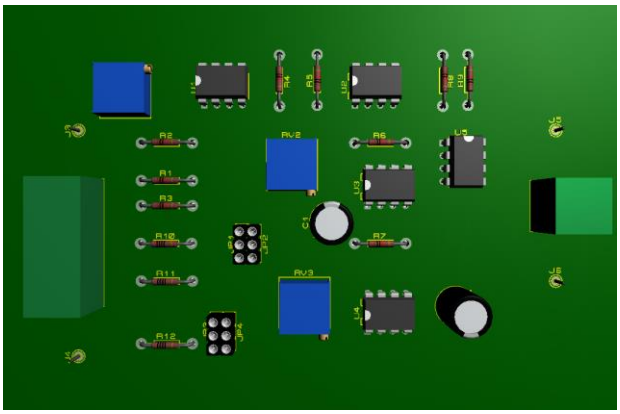
ภาพที่ 3-18 วงจรพีไอดีโดยใช้ออปแอมป์

การสร้างวงจรพีไอดี ซึ่งได้สร้างในโปรแกรมโปรติอุสมีการจัดวางอุปกรณ์ โดยที่ J1 และJ2 คือ ขั้วต่อเทอมินอลฝั่งไฟเข้า และสัญญาณออก R1 ถึง R12 คือ ตัวต้านทาน U1 ถึง U5 คือ ออปแอมป์ J3 J4 J5 และJ6 คือ ขาวัดสัญญาณของวงจร C1 และC2 คือ ตัวเก็บประจุ RV1 RV2 และRV3 คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้ และJP1 JP2 JP3 และJP4 คือ สวิตช์สำหรับเปิดปิดการทำงานของสัญญาณ ดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 ลายวงจรพีไอดี

จากการสร้างวงจรพีไอดี ดังภาพที่ 3-20 จะเป็นการแสดงตัวอย่างจากการวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดของวงจรพีไอดี



ภาพที่ 3-20 การวางอุปกรณ์หน้าบอร์ดวงจรพีไอดี

3.4 การออกแบบใบงานประกอบการจัดการเรียนรู้

ชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่สร้างขึ้นใช้งานพร้อมกับใบงานในการเรียนรู้ มีดังนี้

3.4.1 ใบงานที่ 1 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ

3.4.1.1 สามารถเขียนโปรแกรมแมทแลปเพื่อดูผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้

3.4.1.2 สามารถหาค่าเวลาคงตัวจากผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้

3.4.1.3 สามารถเขียนโปรแกรมแมทแลปเพื่อดูผลตอบสนองของระบบลำดับสองได้

เงื่อนไขการทำงาน คือ การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อดูผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่ง และระบบลำดับสอง ได้ทั้งในโหมดของ Command Window และ Simulink

3.4.2 ใบงานที่ 2 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ

3.4.2.1 สามารถต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง

3.4.2.2 สามารถต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรตได้อย่างถูกต้อง

3.4.2.3 สามารถวัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง

3.4.2.4 สามารถต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง

3.4.2.5 สามารถวัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง

3.4.2.6 สามารถต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง

3.4.3 ใบงานที่ 3 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ สามารถต่อวงจรออปแอมป์ลำดับสองได้ถูกต้องตามเงื่อนไข

3.4.4 ใบงานที่ 4 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ

3.4.4.1 สามารถใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง

3.4.4.2 สามารถใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบลำดับสองได้อย่างถูกต้อง

เงื่อนไขการทำงาน คือ การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อดูผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งและระบบลำดับสอง ได้ทั้งในโหมดของ Command Window และ Simulink

3.4.5 ใบงานที่ 5 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ

3.4.5.1 สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาของออปแอมป์ที่จำลองเป็นระบบลำดับหนึ่งได้

3.4.5.2 สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาของออปแอมป์ที่จำลองเป็นระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้

3.4.5.3 สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาของออปแอมป์ที่จำลองเป็นระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้

3.4.6 ใบงานที่ 6 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ สามารถต่อวงจรออปแอมป์ลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้ถูกต้องตามเงื่อนไข

3.4.7 ใบงานที่ 7 การใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ สามารถใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง

เงื่อนไขการทำงาน คือ การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง sisotool

3.4.8 ใบงานที่ 8 การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ สามารถต่อวงจรตัวควบคุมด้วยไอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้

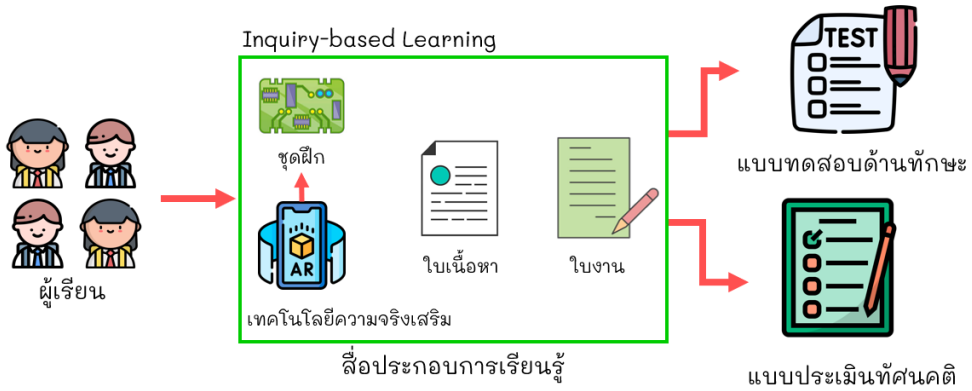
เงื่อนไขการทำงาน คือ ตัวควบคุมสามารถนำไปใช้กับระบบลูปปิดเพื่อควบคุมระบบให้มีผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นตามที่ต้องการได้ โดยที่นิยมใช้มี 3 ชนิดหลักคือ ตัวควบคุมแบบพี ตัวควบคุมพีไอ และตัวควบคุมแบบพีไอดี

3.4.9 ใบงานที่ 9 การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ

จุดประสงค์ของการทดลอง คือ สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากโปรแกรมแมทแลปสำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้

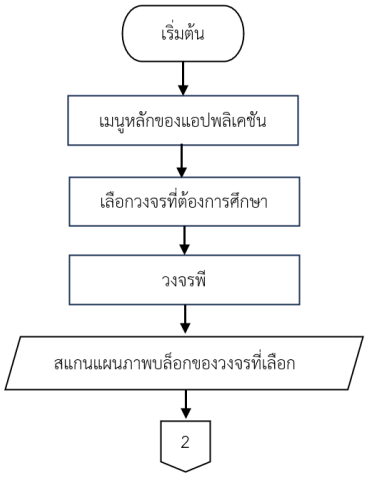
3.5 การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมร่วมกับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

3.5.1 การออกแบบวิธีการเรียนรู้จากภาพที่ 3-21 ในการออกแบบวิธีการเรียนรู้นั้น ผู้เรียนจะได้ใช้สื่อประกอบการเรียนรู้ที่จะประกอบไปด้วย ชุดฝึกทักษะปฏิบัติซึ่งจะมีแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมมาเป็นส่วนทำให้ผู้เรียนสามารถประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดได้ ใบเนื้อหา และใบงาน โดยจะใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบสอบ (Inquiry-based Learning) จากนั้นผู้เรียนทำแบบทดสอบด้านทักษะ และแบบประเมินทัศนคติที่มีต่อสื่อประกอบการเรียนรู้

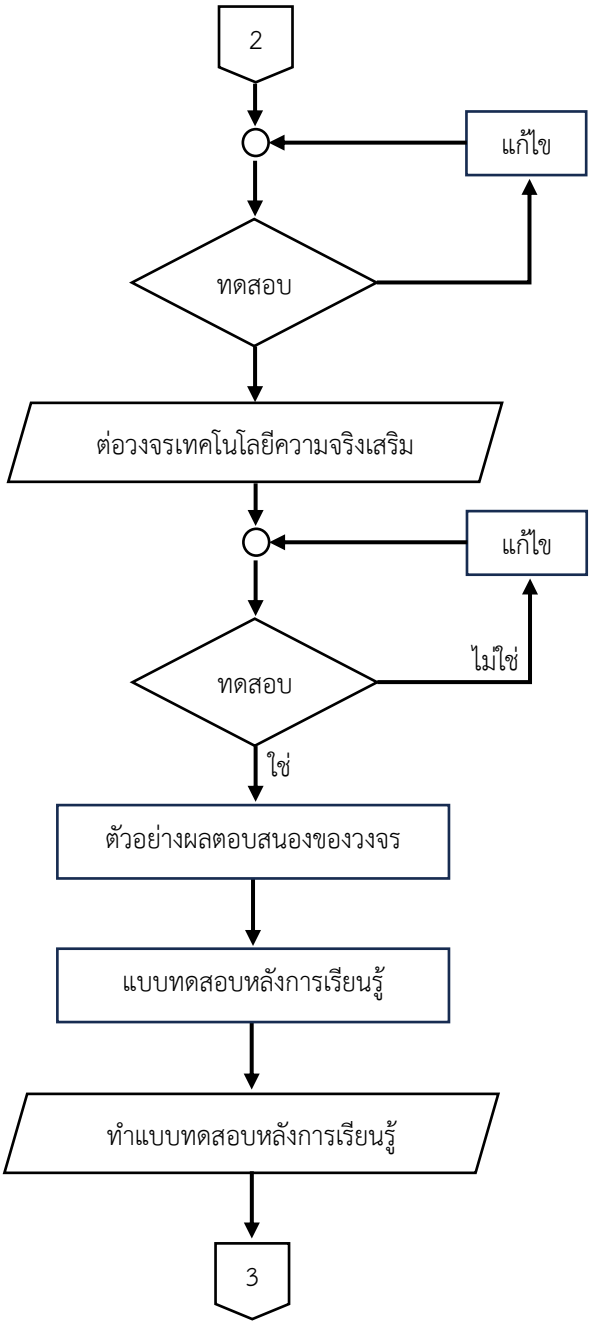


ภาพที่ 3-21 แผนภาพรวมการเรียนรู้

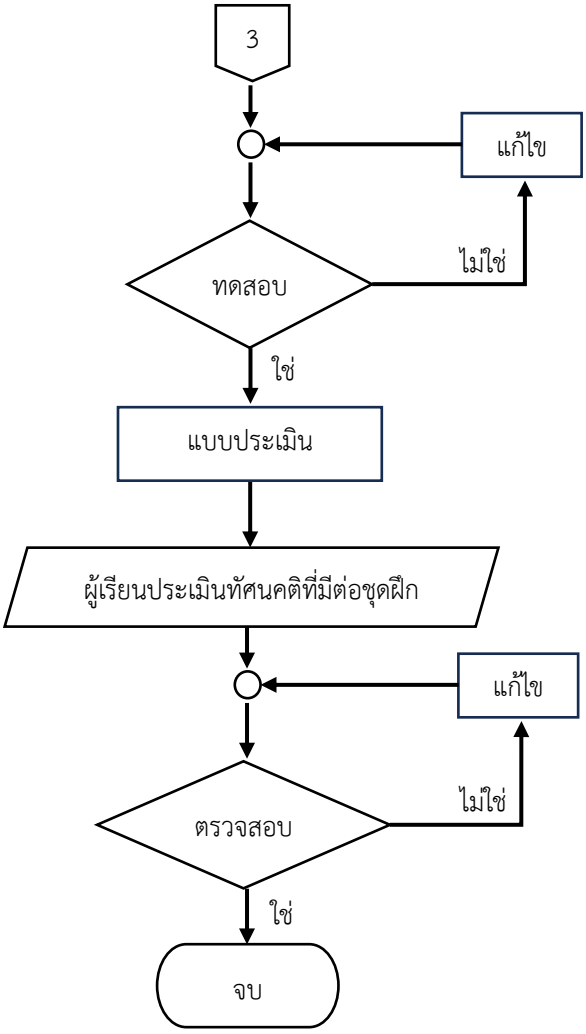
3.5.2 แผนผังออกแบบการทำงานของแอปพลิเคชัน เป็นการวางแผนการออกแบบแอปพลิเคชันที่สามารถใช้ร่วมกับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ โดยในแอปพลิเคชันมีเมนูการประกอบอุปกรณ์ของแต่ละวงจรซึ่งจะมีการออกแบบแผนผังดังภาพที่ 3-22



ภาพที่ 3-22 แผนผังการทำงานของแอปพลิเคชัน


2
แก้ไข
ทดสอบ
ต่อวงจรเทคโนโลยีความจริงเสริม
แก้ไข
ไม่ใช่
ทดสอบ
ใช่
ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจร
แบบทดสอบหลังการเรียนรู้
ทำแบบทดสอบหลังการเรียนรู้
3

ภาพที่ 3-22 (ต่อ)



ภาพที่ 3-22 (ต่อ)

3.5.3 ออกแบบหน้าจอการทำงานของแอปพลิเคชัน หน้าจอการทำงานของแอปพลิเคชันที่ได้ออกแบบไว้นั้นมีขนาดเท่ากับหน้าจอโทรศัพท์ภายในแอปพลิเคชันจะแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่

3.5.3.1 วงจรพี เป็นการแนะนำประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดจะเป็นในรูปแบบเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยจะสามารถส่องผ่านแผนภาพบล็อกของวงจรพี เมื่อส่องแล้ว มีบอร์ดโมเดล 3 มิติแสดงขึ้น และมีแอนิเมชันเพื่อให้ผู้เรียนนั้นประกอบอุปกรณ์ลงบนชุดฝึกทักษะปฏิบัติ เมื่อประกอบอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจะมีตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนหรือวงจรพี และตัวอย่างการคำนวณของวงจรสัดส่วนหรือวงจรพี

3.5.3.2 วงจรไอ เป็นการแนะนำประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดจะเป็นในรูปแบบเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยจะสามารถส่องผ่านแผนภาพบล็อกของวงจรอินทิเกรตหรือวงจรไอ เมื่อส่องแล้วจะมีบอร์ดโมเดล 3 มิติแสดงขึ้น และมีแอนิเมชันเพื่อให้ผู้เรียนนั้นประกอบอุปกรณ์ลงบนชุดฝึกทักษะปฏิบัติ จากนั้นเมื่อประกอบอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจะมีตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรตหรือวงจรไอ และตัวอย่างการคำนวณของวงจรอินทิเกรตหรือวงจรไอ

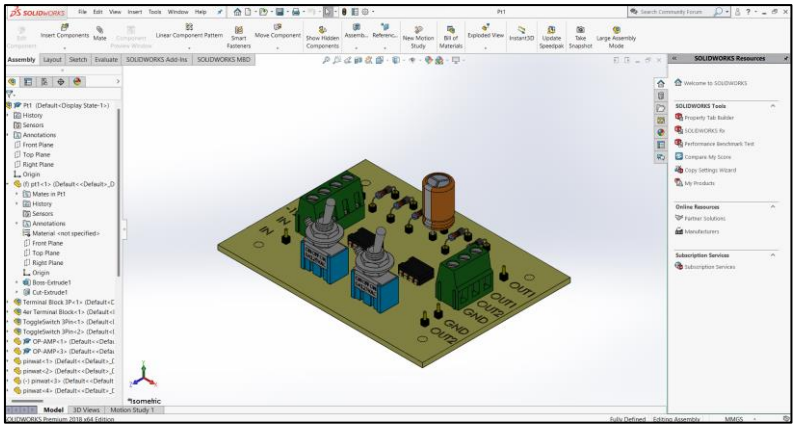
3.5.3.3 วงจรลำดับหนึ่ง เช่นเดียวกับวงจรต่าง ๆ แนะนำประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดวงจรลำดับหนึ่งเป็นรูปแบบเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยจะสามารถส่องผ่านแผนภาพบล็อกของวงจรลำดับหนึ่ง เมื่อส่องแล้ว มีบอร์ดโมเดลวงจรลำดับหนึ่ง 3 มิติแสดงขึ้น และมีแอนิเมชันของอุปกรณ์เพื่อให้ผู้เรียนนั้นประกอบอุปกรณ์ลงบนชุดฝึกทักษะปฏิบัติ และยังมีตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับหนึ่งรวมไปถึงตัวอย่างการคำนวณของวงจรลำดับหนึ่ง

3.5.3.4 วงจรลำดับสอง แนะนำประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินและวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด เป็นรูปแบบเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยจะสามารถส่องผ่านแผนภาพวงจรหรือแผนภาพบล็อกของวงจรลำดับสอง เมื่อส่องแล้วจะมีบอร์ดโมเดลวงจรลำดับสอง 3 มิติแสดงขึ้นและมีแอนิเมชันของอุปกรณ์เพื่อให้ผู้เรียนนั้นประกอบอุปกรณ์ลงบนชุดฝึกทักษะปฏิบัติ และยังมีตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับสอง รวมไปถึงตัวอย่างการคำนวณของวงจรลำดับสอง

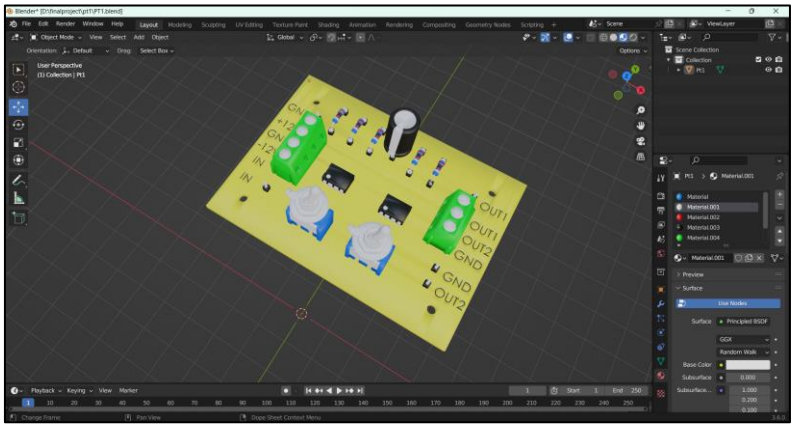
3.5.3.5 วงจรพีไอดี แนะนำประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดวงจรพีไอดี เป็นรูปแบบเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยจะสามารถส่องผ่านแผนภาพบล็อกของวงจรพีไอดี เมื่อส่องแล้วจะมีบอร์ดโมเดลวงจรพีไอดี 3 มิติแสดงขึ้นและมีแอนิเมชันของอุปกรณ์เพื่อให้ผู้เรียนนั้นประกอบอุปกรณ์ลงบนชุดฝึกทักษะปฏิบัติ จากนั้นเมื่อประกอบอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจะมีตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรพีไอดี และตัวอย่างการคำนวณของวงจรพีไอดี

3.5.3.6 แบบประเมิน การทำแบบประเมินเมื่อผู้เรียนกดปุ่มจะเข้าสู่เว็บไซต์สำหรับการทำแบบประเมิน ซึ่งภายในแบบประเมินจะมีคำถามเกี่ยวกับทักษะ และทัศนคติของผู้เรียนหลังจากได้ทดลองใช้ชุดฝึกทักษะร่วมกับแอปพลิเคชัน

3.5.4 สร้างโมเดล 3 มิติ ของวงจรควบคุมระบบด้วยออปแอมป์ เป็นการสร้างโมเดล 3 มิติ ของวงจรควบคุมระบบด้วยออปแอมป์ จากภาพที่ 3-23 ใช้โปรแกรม SolidWorks ในการวางอุปกรณ์บนบอร์ดให้เสมือนกับวงจรของจริง จากนั้นใช้ไฟล์นามสกุล .stl นำมาเข้าโปรแกรม Blender ในการเปลี่ยนสีของโมเดลให้เสมือนบอร์ดวงจรของจริงดังภาพที่ 3-24 เมื่อทำการลงสีเรียบร้อยแล้วจำเป็นต้อง Export เป็นไฟล์นามสกุล .fbx เพื่อนำโมเดลไปใช้ในโปรแกรม Unity



ภาพที่ 3-23 การวางอุปกรณ์ของวงจรลำดับหนึ่งในโปรแกรม SolidWorks



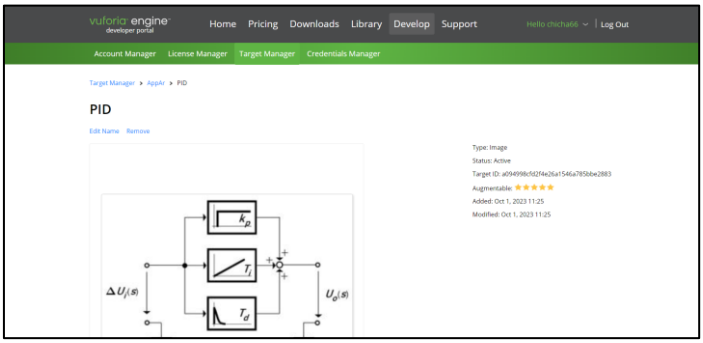
ภาพที่ 3-24 ลงสีในโปรแกรม Blender ให้เสมือนของจริง

3.6 การสร้างแอปพลิเคชันสำหรับใช้ร่วมกับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

การสร้างแอปพลิเคชันจะใช้โปรแกรม Unity ในการสร้าง โดยการสร้างเทคโนโลยีความจริงเสริม จำเป็นต้องใช้ Vuforia Engine และสร้างข้อมูลของภาพใน Vuforia เพื่อนำภาพมาใช้เป็นตัวตรวจจับในส่วนของเทคโนโลยีความจริงเสริม (AR) เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในการต่อวงจร และสนุกไปกับการใช้แอปพลิเคชันเป็นสื่อประกอบการเรียนรู้ นอกจากนี้ยังต้องใช้โปรแกรม Visual Studio เพื่อ

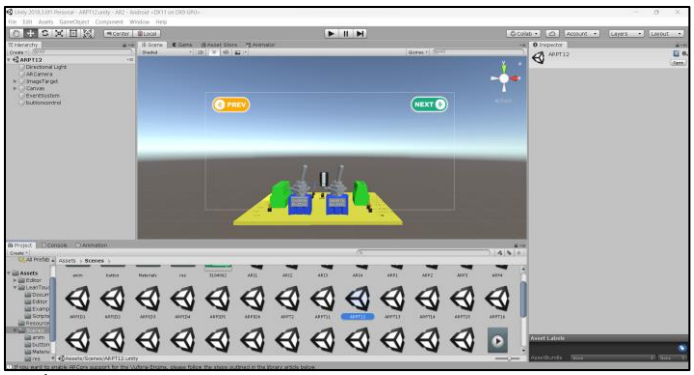
สร้างการทำงานของแอปพลิเคชันในส่วนของปุ่มต่าง ๆ เพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้สะดวก โดยปุ่มในแอปพลิเคชันจะมีปุ่มในส่วนของเมนูวงจรต่าง ๆ ปุ่มถัดไป ย้อนกลับ ปุ่มตัวอย่างคำนวณ และสำหรับการทำแบบประเมินทัศนคติที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

3.6.1 การสร้างแอปพลิเคชันส่วนที่ 1 วงจรต่าง ๆ เป็นการสร้างเทคโนโลยีความจริงเสริมที่เสมือนของจริงโดยใช้การสร้างข้อมูลภาพใน www.develop.vuforia.com ดังภาพที่ 3-25 เพื่อนำภาพมาใช้เป็นตัวตรวจจับ เมื่อสร้างข้อมูลภาพเรียบร้อย ดาวน์โหลดข้อมูลเพื่อนำเข้าโปรแกรม Unity และใช้โมเดลที่ได้สร้างภายในโปรแกรม Blender นำมาเป็นโมเดล 3 มิติในส่วนนี้

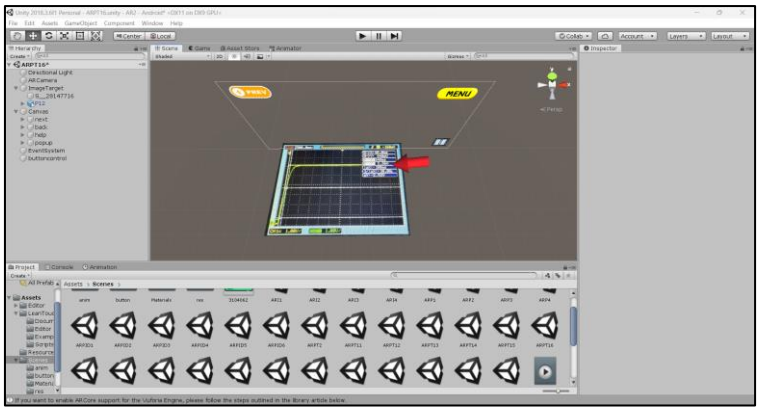


ภาพที่ 3-25 การสร้างข้อมูลภาพใน www. develop vuforia.com

3.6.2 การสร้างแอปพลิเคชันส่วนที่ 2 ประกอบอุปกรณ์ลงวงจรและส่วนที่ 3 ผลตอบสนอง เป็นสร้างแอนิเมชันในการประกอบอุปกรณ์ลงวงจรนั้น ๆ ผู้เรียนจะสามารถต่อวงจรตามได้อย่างถูกต้อง ซึ่งภายในส่วนนี้จะมีปุ่มสำหรับถัดไปหน้าต่อไป และย้อนกลับของแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 3-26 โดยเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของปุ่มในโปรแกรม Visual Studio ส่วนที่ 3 ผลตอบสนองของวงจรนั้น ๆ แสดงเป็นตัวอย่างผลตอบสนองดังภาพที่ 3-27

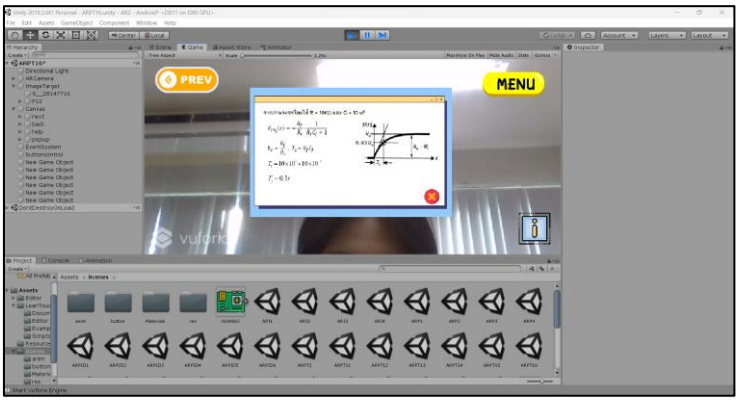


ภาพที่ 3-26 การสร้างแอปพลิเคชันในส่วนที่ 2 ในโปรแกรม Unity



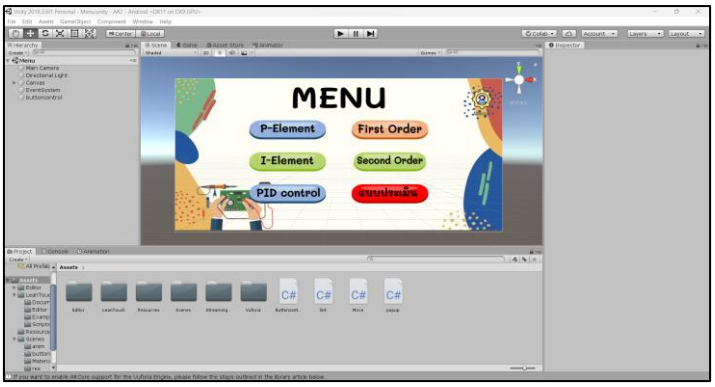
ภาพที่ 3-27 การสร้างแอปพลิเคชันในส่วนที่ 3 ในโปรแกรม Unity

3.6.3 การสร้างแอปพลิเคชันส่วนที่ 4 การคำนวณ เป็นการแสดงเป็นภาพแบบป๊อปอัพเป็นการคำนวณของวงจรต่าง ๆ และภายในส่วนนี้จะมีปุ่มสำหรับแสดงภาพป๊อปอัพ ซึ่งเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของปุ่มในโปรแกรม Visual Studio ดังภาพที่ 3-28



ภาพที่ 3-28 การสร้างแอปพลิเคชันในส่วนที่ 4 ในโปรแกรม Unity

3.6.4 การสร้างแอปพลิเคชันส่วนที่ 5 แบบประเมิน เป็นการสร้างแบบประเมินได้สร้างใน From ของ Google โดยภายในแบบประเมินจะมีทั้งหมด 2 ส่วน คือ ข้อมูลส่วนตัว และแบบประเมินด้านทัศนคติของผู้เรียนเมื่อสร้างแบบประเมินแล้วนำลิงค์ของแบบประเมินใส่ปุ่มในหน้าเมนูหลักภายในโปรแกรม Unity ดังภาพที่ 3-29 และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของปุ่มให้สามารถลิงค์ไปยังเว็บไซต์ด้วยโปรแกรม Visual Studio



ภาพที่ 3-29 หน้าเมนูหลักของแอปพลิเคชันภายในโปรแกรม Unity

3.7 การออกแบบใบประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC จากผู้เชี่ยวชาญ

เป็นการสร้างใบประเมินเพื่อหาความสอดคล้องของวัตถุประสงค์กับข้อคำถาม หรือการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามรายข้อกับวัตถุประสงค์หรือจุดประสงค์ที่ต้องการวัด ใช้สูตร IOC (Index of-Item-Objective Congruence) เครื่องมือที่มีการรวบรวมข้อมูล และสร้างขึ้นก่อนนำไปใช้ต้องมีการหาคุณภาพของเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญ

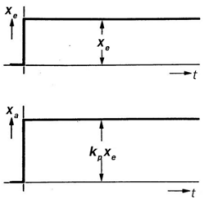
3.7.1 การหาดัชนีความสอดคล้องของข้อสอบปฏิบัติ ดังตารางที่ 3-1 เป็นการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมกับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ต่อไปนี้ สอดคล้องกันหรือไม่ โดยใช้วิธีหาค่าดัชนีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ (IOC : Index of item objective congruence) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้

-1 หมายความว่า มั่นใจว่าไม่มีความสอดคล้อง

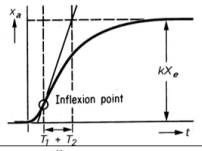
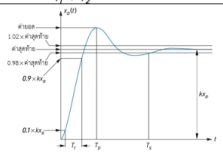
0 หมายความว่า ไม่มั่นใจว่ามีความสอดคล้อง

+1 หมายความว่า มั่นใจว่ามีความสอดคล้อง

ตารางที่ 3-1 การหาดัชนีความสอดคล้องของข้อสอบปฏิบัติ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.1 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 1และใบเนื้อหาบทที่ 3)	1. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			
	2. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			
1.2 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	 $x_a(t) = k_p x_e(t)$ โดยที่ค่า k_p เป็นอัตราการขยาย (ไม่มีหน่วย) จึงจะสามารถหาค่า K_p ได้จาก $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$			

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.8 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 3และใบเนื้อหาบทที่ 3)	กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s) = \frac{1}{(0.1s+1)(0.22s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ เทียบกับสมการมาตรฐาน $F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$			
1.9 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	โดยที่ $T_1 = R_{f1}C_{f1}$ และ $T_2 = R_{f2}C_{f2}$ 			
1.10 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 5 และใบเนื้อหาบทที่ 3)	 ผลตอบสนองของระบบ PT_2 ชนิดหน่วงขาด			

3.7.2 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์โดยผู้เชี่ยวชาญ มีผู้ประเมินเป็นอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 5 ท่าน ได้แก่

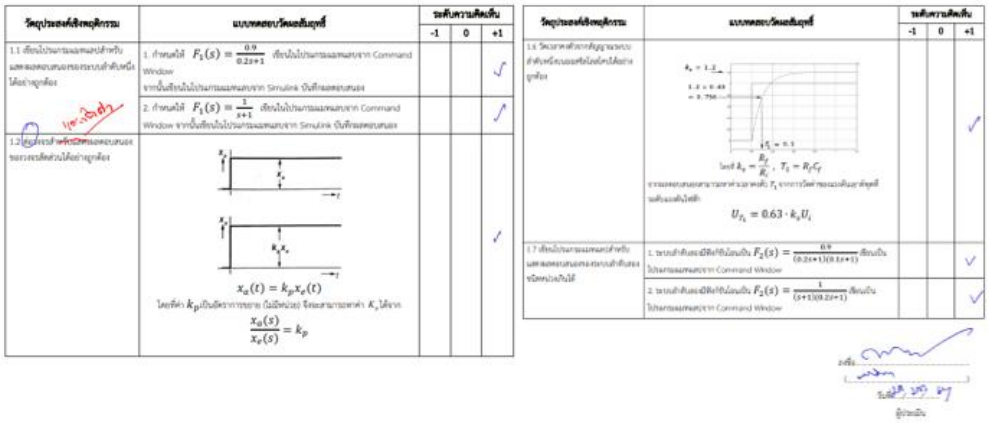
3.7.2.1 รองศาสตราจารย์.ดร.พรจิต ประทุมสุวรรณ เป็นผู้เชี่ยวชาญจาก สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3.7.2.2 รองศาสตราจารย์.ดร.ศุภชัย หอวิมานพร เป็นผู้เชี่ยวชาญจาก สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3.7.2.3 ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ชัยพร ศิลาวัชนาไนย เป็นผู้เชี่ยวชาญจาก สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

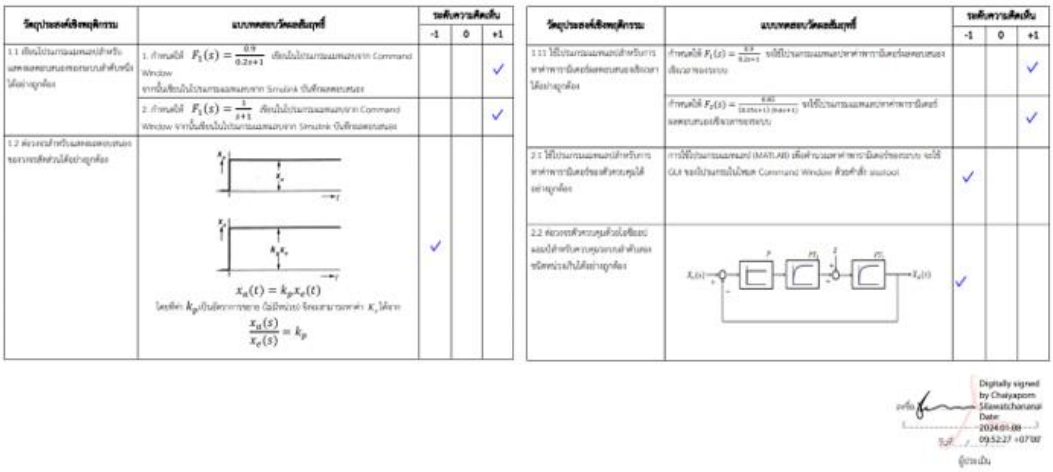
3.7.2.4 ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ธาริณี ทองเกิด เป็นผู้เชี่ยวชาญจาก สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3.7.2.5 อาจารย์ปรมัตถ์ วัฒนากูล เป็นผู้เชี่ยวชาญจาก แผนกวิชาแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษาตากสินระยอง ได้รับผลประเมิน ดังภาพที่ 3-30 ถึง 3-34



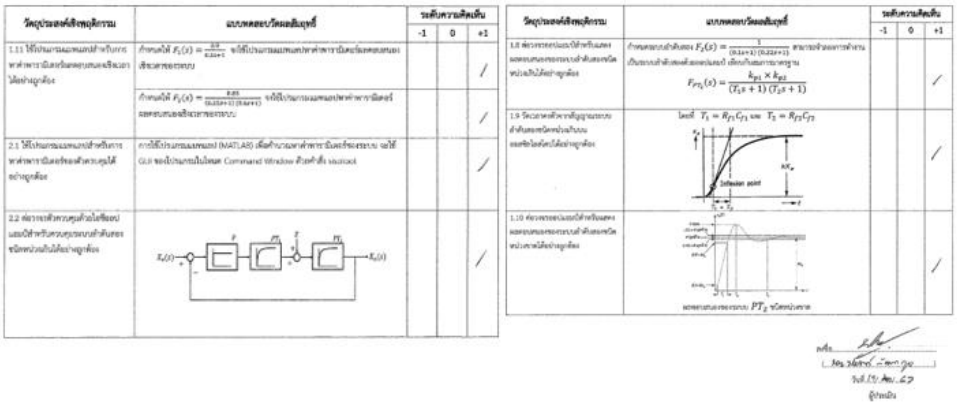
ภาพที่ 3-30 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

ภาพที่ 3-31 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2



ภาพที่ 3-32 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3

ภาพที่ 3-33 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4



ภาพที่ 3-34 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5

สรุปผลคะแนนความสอดคล้องของแบบทดสอบปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่านได้ดังตารางที่ 3-2 พบว่าสามารถนำแบบทดสอบไปใช้งานได้เนื่องจากค่า IOC มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-1 หมายถึง ใช้งานได้

ตารางที่ 3-2 สรุปผลการพิจารณาแบบประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

ข้อ	ผู้เชี่ยวชาญ					สรุปค่า IOC	ผลการวิเคราะห์
	ท่านที่ 1	ท่านที่ 2	ท่านที่ 3	ท่านที่ 4	ท่านที่ 5		
1.1	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	ใช้งานได้
1.2	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้
1.3	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้
1.4	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้
1.5	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้
1.6	+1	+1	0	+1	+1	0.80	ใช้งานได้
1.7	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	ใช้งานได้

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

ข้อ	ผู้เชี่ยวชาญ					สรุปค่า IOC	ผลการวิเคราะห์
	ท่านที่ 1	ท่านที่ 2	ท่านที่ 3	ท่านที่ 4	ท่านที่ 5		
1.8	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้
1.9	+1	+1	0	+1	+1	0.80	ใช้งานได้
1.10	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้
1.11	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	ใช้งานได้
2.1	+1	-1	+1	+1	+1	0.60	ใช้งานได้
2.2	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้
2.3	+1	-1	0	+1	+1	0.40	ใช้งานได้

หมายเหตุ การแปลผลการเมินความสอดของแบบทดสอบปฏิบัติ

คะแนนรวม 0.1 ถึง 1 หมายถึง ใช้งานได้

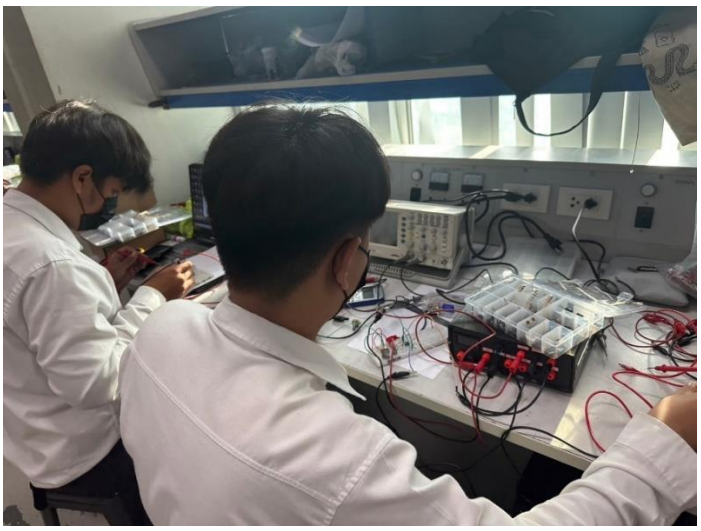
คะแนนรวมเท่ากับ 0 หมายถึง แก้ไข

คะแนนรวม -0.1 ถึง -1 หมายถึง ตัดออก

3.8 ดำเนินการเก็บรวบรวมผล

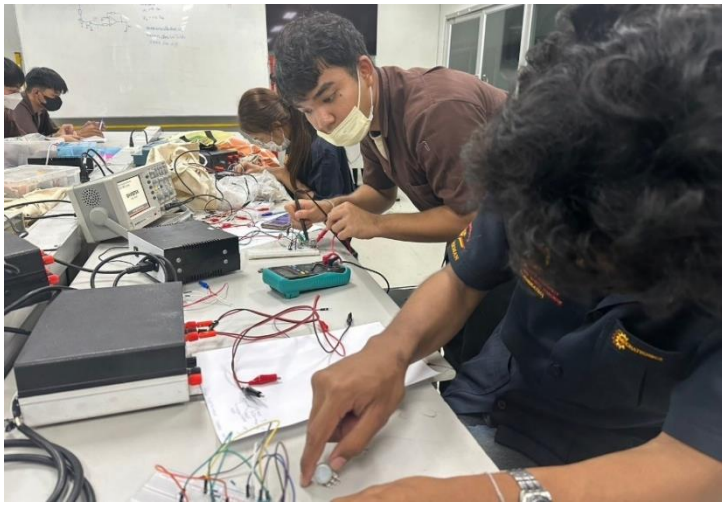
ผู้เรียนเป็นนักศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ทั้งหมด 13 คน ใช้ระยะเวลาในการเก็บผลทั้งหมด 4 ครั้ง ในช่วงวันที่ 8 กุมภาพันธ์ และ วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

3.8.1 การเรียนรู้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีในการเรียนรู้ร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยก่อนที่ผู้เรียนจะได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ ใบเนื้อหาและใบงาน ผู้เรียนมีการทำแบบทดสอบก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 3-35 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์คะแนนสำหรับศึกษาผลสัมฤทธิ์ก่อนการเรียนรู้และหลังการเรียนรู้



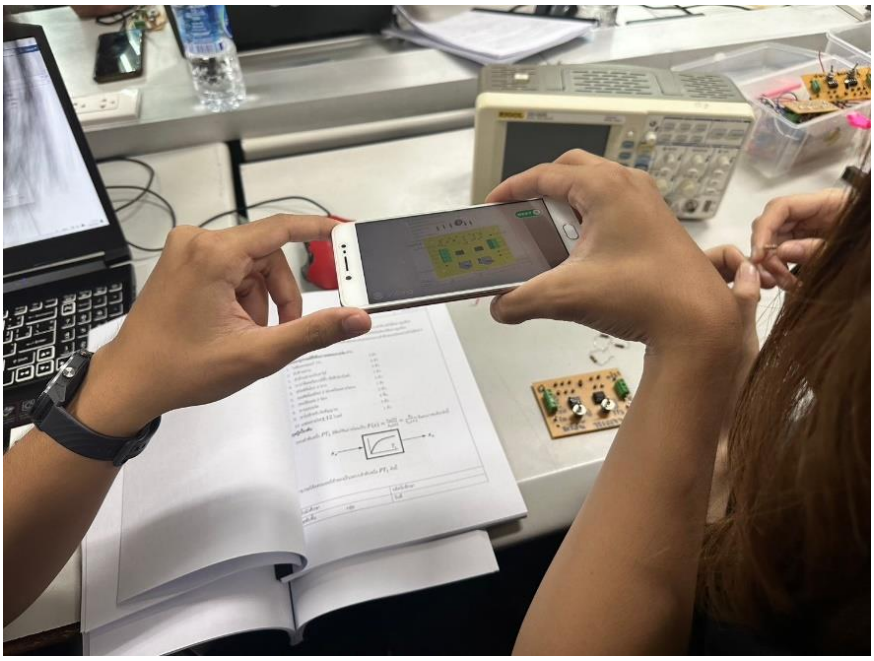
ภาพที่ 3-35 ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียนก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

แบบทดสอบก่อนการใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัตินั้นผู้เรียนต้องทำการต่อวงจรนั้น ๆ ลงโพรโทบอร์ด ดังภาพที่ 3-36 ผู้เรียนต่อวงจรพีเพื่อทดสอบผลตอบสนองของวงจรพี



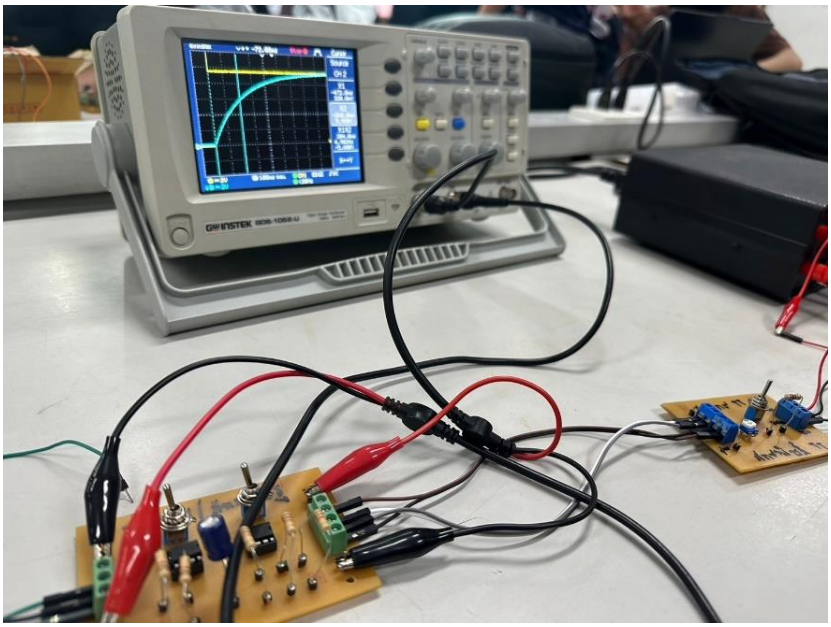
ภาพที่ 3-36 ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียนก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

ชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับแอปพลิเคชันสำหรับใส่อุปกรณ์ลงบอร์ด และศึกษาด้วยตนเองจากใบเนื้อหาและใบงาน เป็นการเรียนรู้ด้วยตนเองโดยให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านโทรศัพท์ที่ได้ทำการติดตั้งแอปพลิเคชัน จากภาพที่ 3-37 โดยผู้เรียนสามารถดูขั้นตอนการใส่อุปกรณ์ลงบอร์ดในแต่ละวงจรภายในแอปพลิเคชันทำให้ผู้เรียนเกิดความสนุก และมีความสนใจในปฏิบัติขณะใช้แอปพลิเคชัน

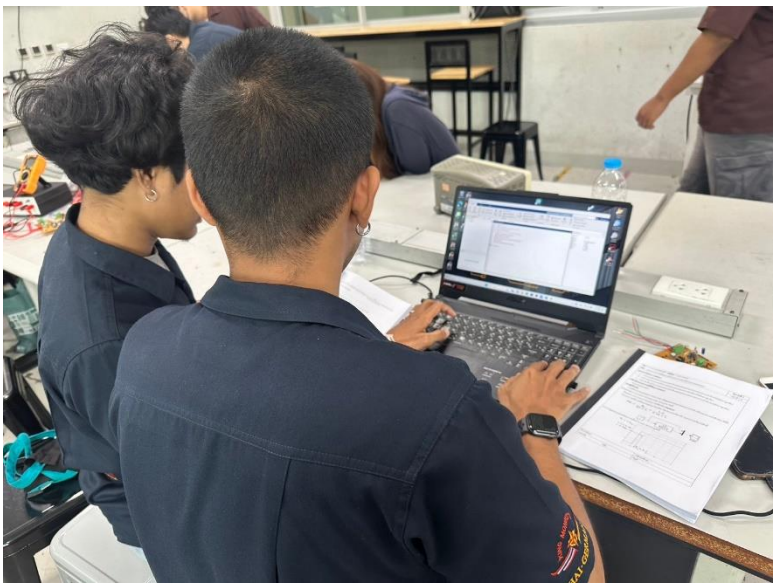


ภาพที่ 3-37 ผู้เรียนดูขั้นตอนการใส่อุปกรณ์ลงบอร์ดของวงจรลำดับหนึ่ง

เมื่อผู้เรียนประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดเรียบร้อยแล้ว ผู้เรียนได้ทำการวัดสัญญาณสำหรับดูผลตอบสนอง และหาค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับหนึ่งดังภาพที่ 3-38

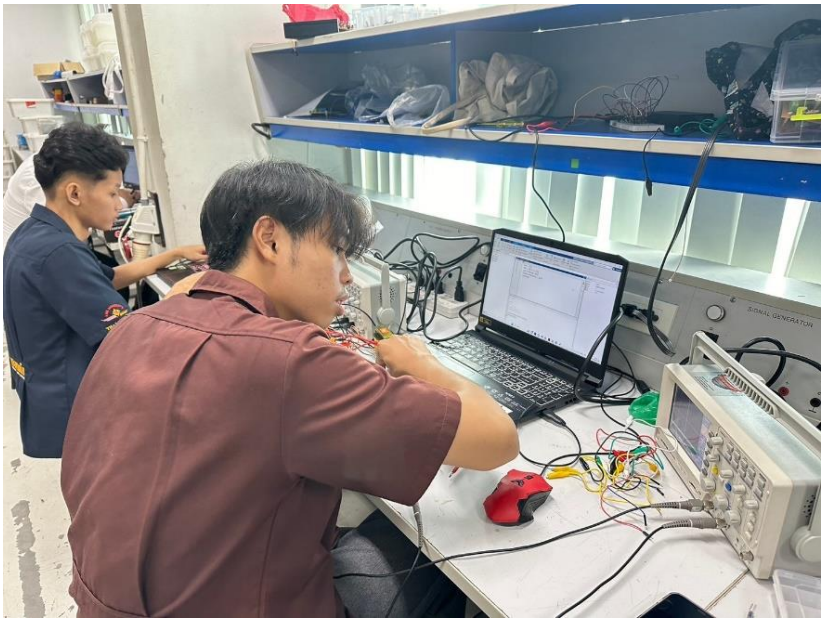


ภาพที่ 3-38 ผู้เรียนวัดสัญญาณผลตอบสนองของวงจรลำดับหนึ่ง



ภาพที่ 3-39 ผู้เรียนศึกษาการเขียนโปรแกรมแมทแลปในใบเนื้อหา

จากภาพที่ 3-39 ผู้เรียนได้ศึกษาใบเนื้อหาในเรื่องแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยผู้เรียนได้ศึกษาส่วนของการเขียนโปรแกมแมทแลปสำหรับจำลองระบบลำดับหนึ่ง สำหรับการดูผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งและสามารถคำนวณค่าเวลาคงตัวของระบบลำดับหนึ่งได้ ซึ่งผู้เรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับออกแบบตัวควบคุมพีไอดีได้



ภาพที่ 3-40 ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียน

ภาพที่ 3-41 ทดสอบปฏิบัติของผู้เรียน

จากภาพที่ 3-40 และภาพที่ 3-41 เป็นภาพการทดสอบงานปฏิบัติของผู้เรียนหลังการเรียนรู้กับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ โดยจะมีการสอบรายบุคคล ใช้เวลารอบละ 1 ชั่วโมง หลังเสร็จสิ้นการเรียนรู้จะมีการให้ผู้เรียนทั้งหมด 13 คน ได้ทำการประเมินทัศนคติที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น เพื่อนำคะแนนที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย และแปลความหมายค่าเฉลี่ยเป็นระดับโดยเกณฑ์การแปลผลคะแนนที่ใช้มี 3 ระดับ

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

หลังจากบทที่ 3 ที่ได้แสดงถึงขั้นตอน และวิธีการดำเนินการ นอกจากนี้ยังมีการประเมินเพื่อหาความเหมาะสมของเนื้อหา และแบบทดสอบที่ใช้ในการทดสอบ โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน และได้มีการการเก็บผลการประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่ใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น คือ ด้านความคิดเห็นที่ใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติร่วมกับแอปพลิเคชันกับกิจกรรมการเรียนรู้ที่กำหนดให้ โดยผู้เรียนปฏิบัติการต่อใช้งานจริงเพื่อให้มีการคิดอย่างเป็นระบบและรู้จักแก้ไขปัญหา โดยให้ผู้เรียนระดมความคิดและทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มช่วยกันแก้ไขปัญหารู้จักการเป็นผู้นำ และผู้ตามที่ดีนอกจากนี้การทำกิจกรรมร่วมกันของผู้เรียนยังสามารถนำความรู้พื้นฐานที่ใช้ในห้องเรียนมาใช้ได้ ทำให้ผู้เรียนได้ทราบถึงความสำคัญของการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น โดยมีผลการประเมินทัศนคติต่อการใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติการ ควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีในการเรียนรู้ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วันที่ 8 ถึง 20 กุมภาพันธ์ 2567 เป็นนักศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล ทั้งหมด 13 คน ผู้จัดทำมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลการสร้างสื่อประกอบการเรียนรู้

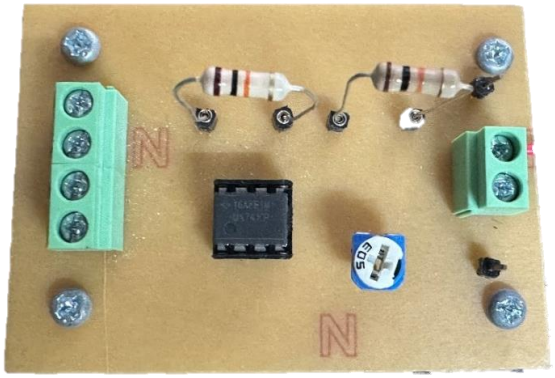
4.2 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียน

4.3 ผลการประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

4.1 ผลการสร้างสื่อประกอบการเรียนรู้

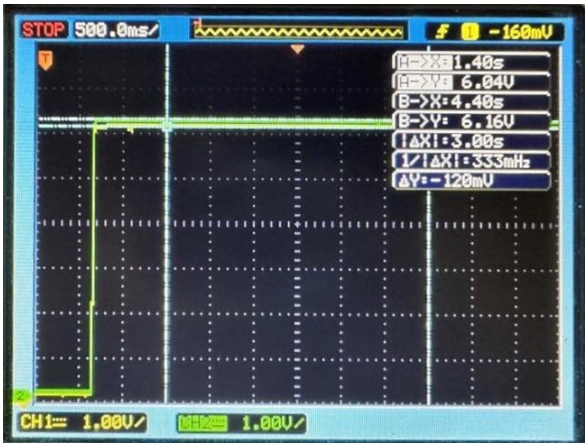
4.1.1 ผลการสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

4.1.1.1 วงจรสัดส่วนหรือวงจรพี จากการออกแบบจะสามารถเปลี่ยนค่าหรือปรับค่าตัวต้านทานได้ ดังภาพที่ 4-1



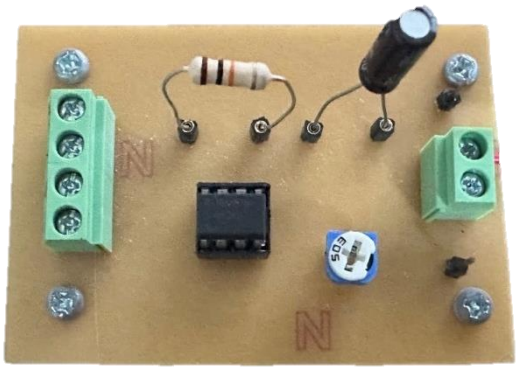
ภาพที่ 4-1 วงจรพีโดยใช้ออปแอมป์

ผลตอบสนองของวงจรพีแสดงดังภาพที่ 4-2 โดยที่เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณไฟอินพุต มีแรงดันอยู่ที่ 6.04 โวลต์ และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณไฟเอาต์พุต มีแรงดันเอาต์พุตอยู่ที่ 6.16 โวลต์



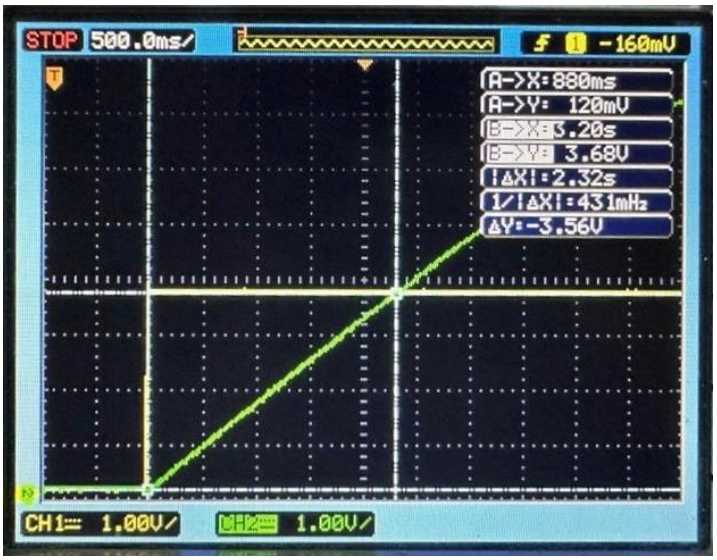
ภาพที่ 4-2 ผลตอบสนองของวงจรพี

4.1.1.2 วงจรอินทิเกรตหรือวงจรไอ สามารถถอดเปลี่ยนตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานได้ ดังภาพที่ 4-3 เพื่อจำลองวงจรไอให้ได้ค่าเวลาคงตัวตามที่ต้องการ



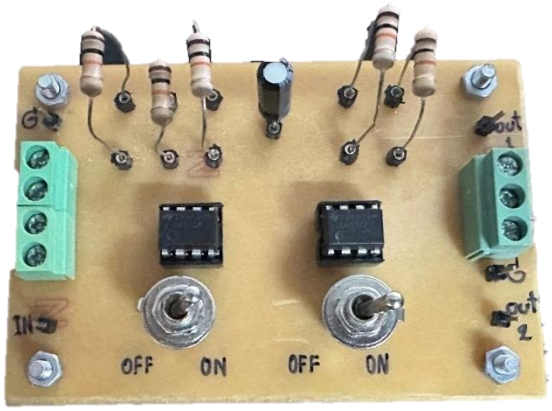
ภาพที่ 4-3 วงจรไอโดยใช้ออปแอมป์

ผลตอบสนองของวงจรไอแสดงดังภาพที่ 4-4 โดยที่เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณอินพุต และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณเอาต์พุต เมื่อใช้ค่าตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุ 220 ไมโครฟารัด จึงทำให้ค่าเวลาคงตัวของวงจรไออยู่ที่ 2.32 วินาที



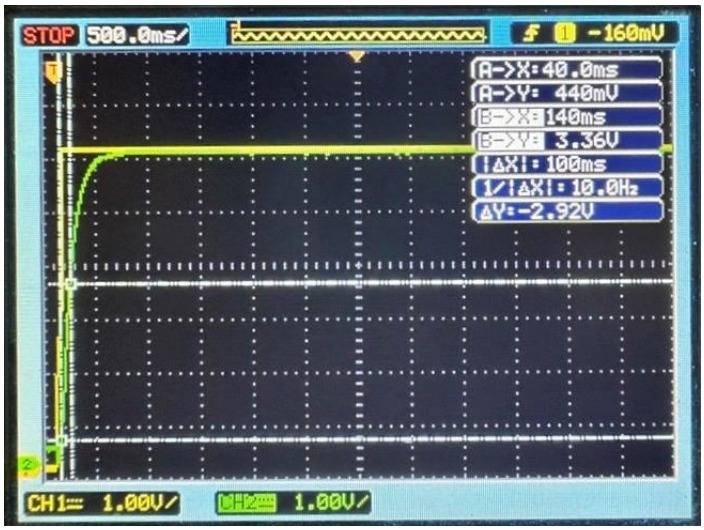
ภาพที่ 4-4 ผลตอบสนองของวงจรไอ

4.1.1.3 วงจรลำดับหนึ่งมีสวิตช์ 2 ตัวสำหรับกลับค่าผลตอบสนอง และเปิดปิดระบบตามที่ออกแบบไว้ สามารถเปลี่ยนตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อให้ค่าเวลาที่ต้องการได้สำหรับทดสอบผลตอบสนองของวงจรลำดับหนึ่ง ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 วงจรลำดับหนึ่งโดยใช้ออปแอมป์

ผลตอบสนองของวงจรลำดับหนึ่งแสดงดังภาพที่ 4-6 โดยที่เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณอินพุต และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณเอาต์พุต เมื่อใช้ค่าตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุ 10 ไมโครฟารัด จึงทำให้ค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับหนึ่งอยู่ที่ 0.001 วินาที

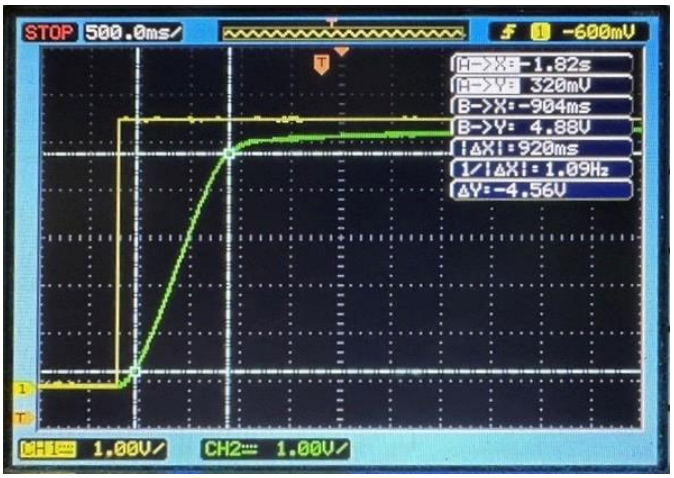


ภาพที่ 4-6 ผลตอบสนองของวงจรลำดับหนึ่ง

4.1.1.4 วงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินจากที่ได้ออกแบบไว้ สามารถใส่สัญญาณรบกวน (Disturbance) ได้ และสามารถเปลี่ยนตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อให้ค่าเวลาที่ต้องการได้ สำหรับทดสอบผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน ดังภาพที่ 4-7

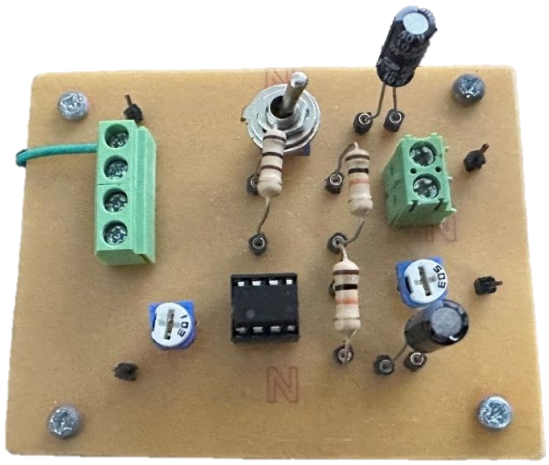
ภาพที่ 4-7 วงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินโดยใช้ออปแอมป์

ผลตอบสนองของวงจรสองชนิดหน่วงเกินแสดงดังภาพที่ 4-8 โดยที่เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณอินพุต และเส้นสีเขียว คือ สัญญาณเอาต์พุต เมื่อใช้ค่าตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์มทุกตัว และตัวเก็บประจุ 47 ไมโครฟารัด จึงทำให้ค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินอยู่ที่ 0.92 วินาที



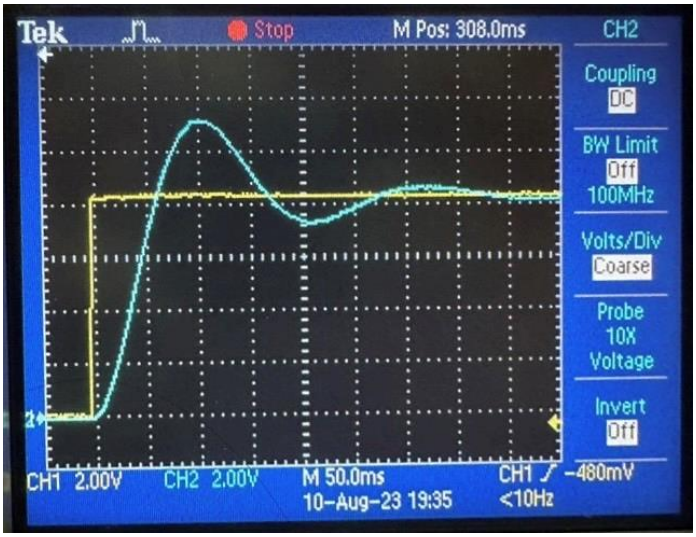
ภาพที่ 4-8 ผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน

4.1.1.5 วงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาดที่ออกแบบไว้สามารถปรับค่าเปอร์เซ็นโอเวอร์ชูทได้ และสามารถคำนวณเพื่อใส่ค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ดังภาพที่ 4-9



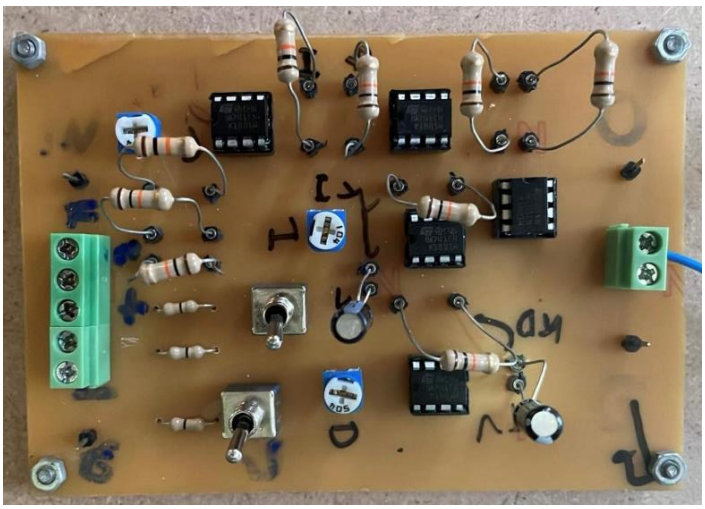
ภาพที่ 4-9 วงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาดโดยใช้ออปแอมป์

ผลตอบสนองดังภาพที่ 4-10 เป็นผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด โดยที่เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณอินพุต และเส้นสีฟ้า คือ สัญญาณเอาต์พุต เป็นการจำลองระบบลูปปิด เพื่อให้ศึกษาค่าเปอร์เซ็นโอเวอร์ชูท และช่วงเวลาขึ้นของสัญญาณวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด



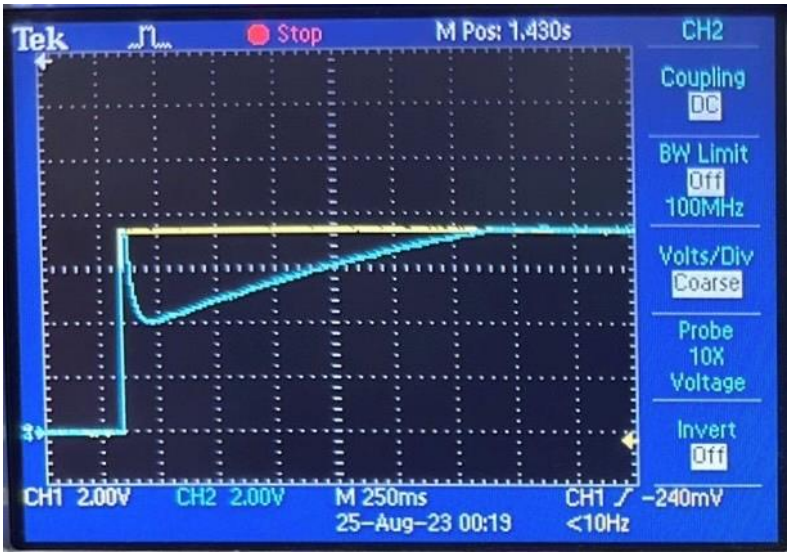
ภาพที่ 4-10 ผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด

4.1.1.6 วงจรพีไอดีได้ที่ออกแบบไว้จะสามารถเลือกการควบคุมพี การควบคุมพีไอหรือการควบคุมพีไอดีได้ เพื่อจำลองให้เห็นความแตกต่างของการควบคุมระบบมากยิ่งขึ้น และสามารถเปลี่ยนตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ เพื่อคำนวณให้ตรงตามค่าพารามิเตอร์ ดังภาพที่ 4-11



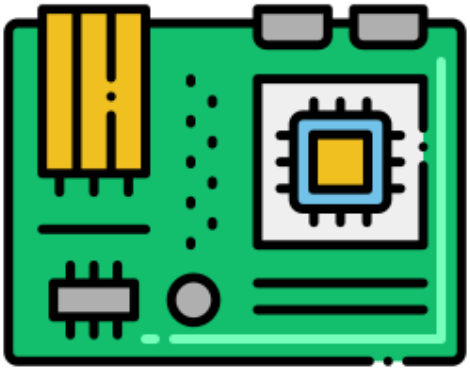
ภาพที่ 4-11 วงจรพีไอดีโดยใช้ออปแอมป์

ผลตอบสนองของวงจรพีไอดี ดังภาพที่ 4-12 โดยที่เส้นสีเหลือง คือ สัญญาณอินพุต และเส้นสีฟ้า คือ สัญญาณเอาต์พุต เป็นการทดสอบผลตอบสนองของวงจรพีไอดี ก่อนที่นำไปควบคุมระบบ และคำนวณค่าพารามิเตอร์



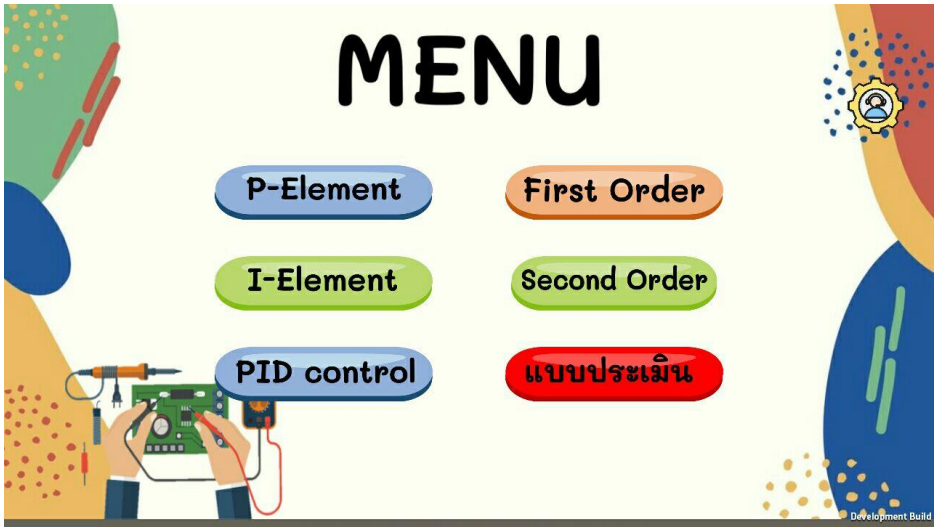
ภาพที่ 4-12 ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรพีไอดี

4.1.2 ผลการสร้างแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยสร้างแอปพลิเคชัน AR for control เป็นแอปพลิเคชันการเรียนรู้ที่สามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยมีไอคอนแอปพลิเคชันดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 แอปพลิเคชัน AR for control

โดยภายในแอปพลิเคชัน AR for control มีทั้งหมด 6 เมนูประกอบไปด้วย วงจรพี วงจรไอ วงจรลำดับหนึ่ง วงจรลำดับสองโดยจะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือชนิดหน่วงเกินและชนิดหน่วงขาด วงจรพีไอดี และแบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 4-14

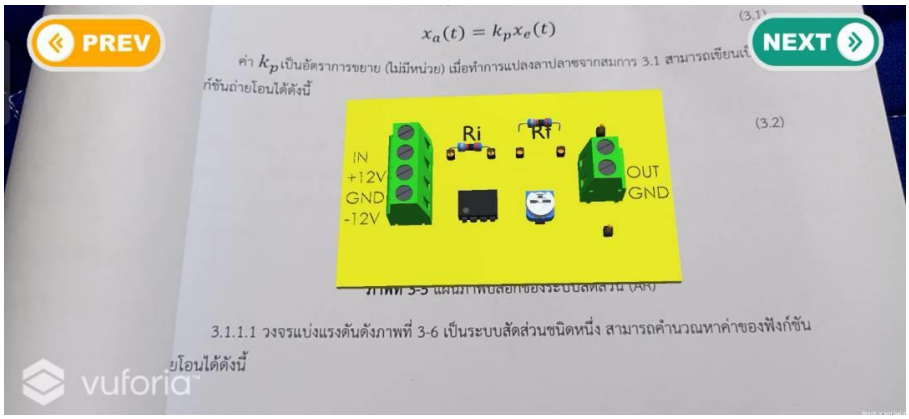


ภาพที่ 4-14 หน้าต่างเมนูหลักของแอปพลิเคชัน AR for control

ภายในแอปพลิเคชันมีคู่มือการใช้งานดังภาพที่ 4-15 คู่มือการใช้งานสามารถบอกเกี่ยวกับปุ่มการใช้งาน และแนะนำภาพที่สามารถทำให้เกิดเทคโนโลยีความจริงเสริมที่เป็นวงจรที่พัฒนาขึ้น

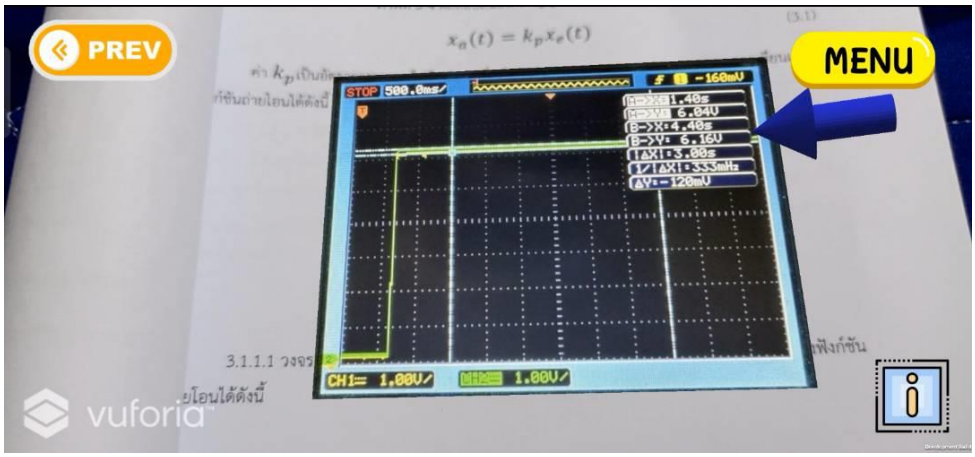
ภาพที่ 4-15 คู่มือการใช้งานของแอปพลิเคชัน AR for control

ภายในการทำงานของแอปพลิชันในส่วนของวงจรพี (P-Element) เป็นการแนะนำการใส่อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีความจริงเสริมเพื่อดึงดูดความสนใจของผู้เรียน โดยให้ผู้เรียนนำโทรศัพท์ส่องที่แผนภาพบล็อกของวงจรพีในใบเนื้อหาหรือใบงาน แอปพลิเคชันแสดงแอนิเมชันของการใส่อุปกรณ์ลงบอร์ดตัวที่ 1 เมื่อกดปุ่มถัดไป เป็นการใส่อุปกรณ์ของตัวถัดเรื่อย ๆ จนครบทุกตัว ดังภาพที่ 4-16



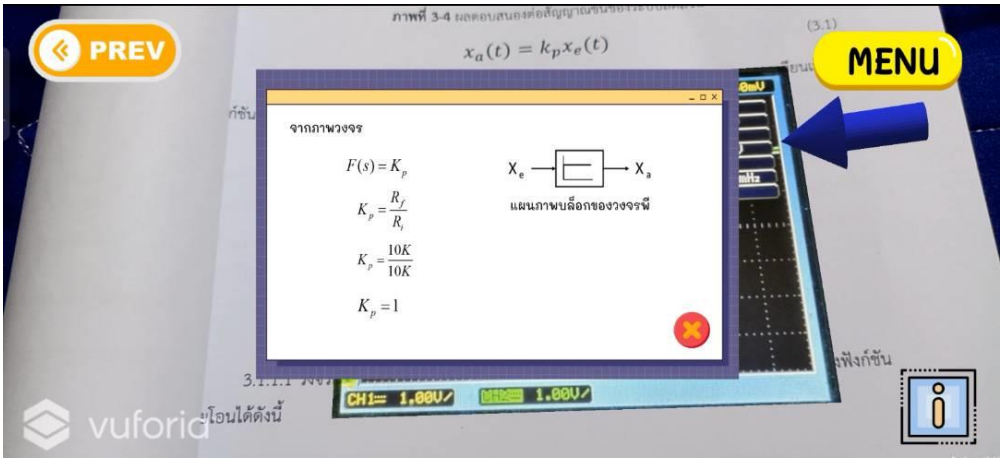
ภาพที่ 4-16 แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรพี

สามารถดูลักษณะผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรพีแสดงดังภาพที่ 4-17 พร้อมทั้งมีลูกศรสำหรับชี้สัญญาณไฟเอาต์พุต



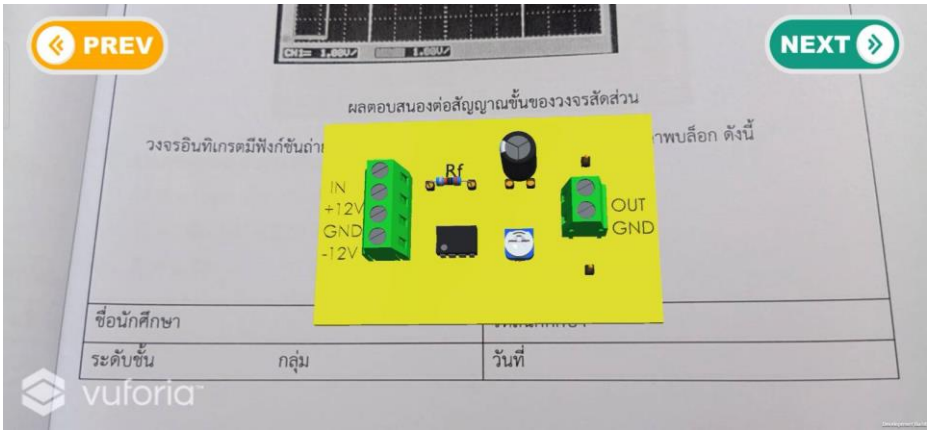
ภาพที่ 4-17 ผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรพี

สามารถดูสูตรคำนวณอธิบายเพิ่มเติมว่าจากผลตอบสนองคำนวณอย่างไร ดังภาพที่ 4-18 เป็นป๊อปอัพขึ้นมาโดยที่ผู้เรียนสามารถกดดูได้ตลอด



ภาพที่ 4-18 สูตรคำนวณจากผลตอบสนองของวงจรพี

การทำงานของแอปพลิเคชันในส่วนของวงจรไอ (I-Element) มีลำดับคล้ายกับวงจรพีเป็นการแนะนำใส่อุปกรณ์ที่แสดงเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม ดังภาพที่ 4-19 โดยให้ผู้เรียนนำโทรศัพท์ส่องที่แผนภาพบล็อกของวงจรไอในใบเนื้อหาหรือใบงาน แอปพลิเคชันแสดงแอนิเมชันของการใส่อุปกรณ์ลงบอร์ดตัวที่ 1 เมื่อกดปุ่มถัดไปจะเป็นการใส่อุปกรณ์ของตัวถัดเรื่อย ๆ จนครบทุกตัว

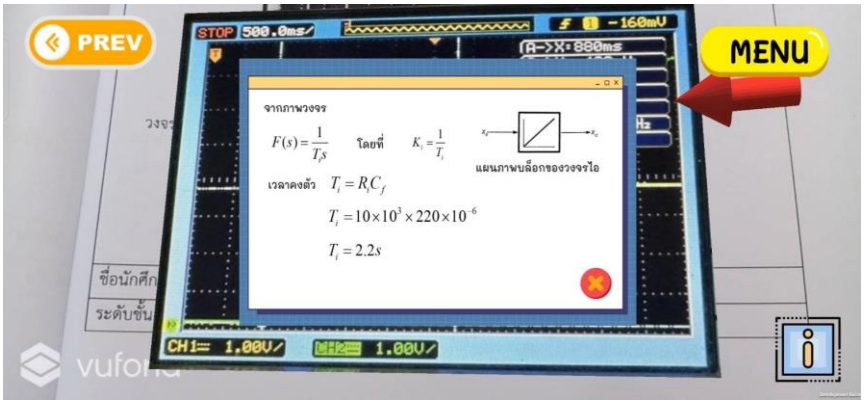


ภาพที่ 4-19 แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรไอ

สามารถดูลักษณะของผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรไอ มีลูกศรเพื่อชี้บอกค่าเวลาคงตัวที่มาจากการวัดสัญญาณแสดงดังภาพที่ 4-20

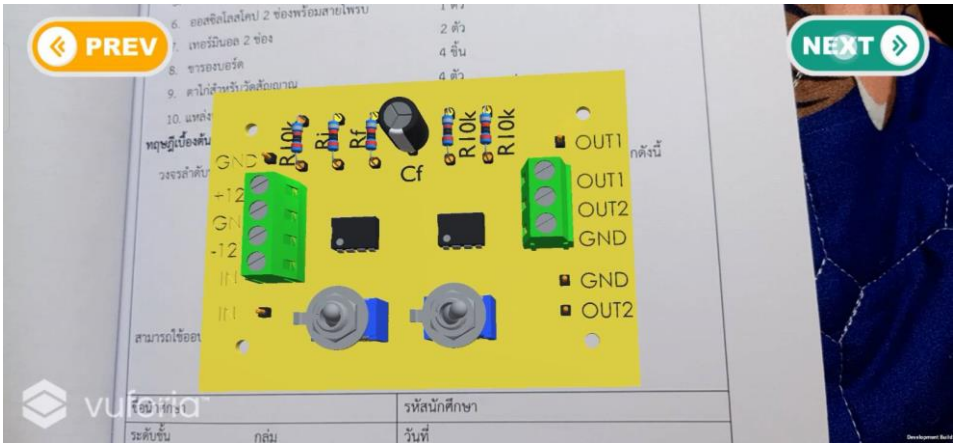
ภาพที่ 4-20 ผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรไอ

สามารถคำนวณตามสูตรคำนวณของวงจรไอดังภาพที่ 4-21 เป็นป๊อปอัพเพื่อให้ผู้เรียนสามรถศึกษาตามได้



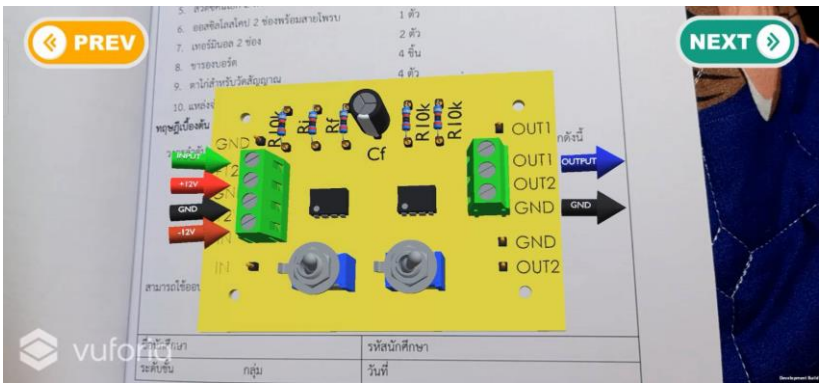
ภาพที่ 4-21 สูตรคำนวณจากผลตอบสนองของวงจรไอ

การทำงานของแอปพลิเคชันในส่วนของวงจรลำดับหนึ่ง (First order) เป็นการแนะนำใส่อุปกรณ์ที่แสดงเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม และมีแอนิเมชันประกอบดังภาพที่ 4-22 โดยให้ผู้เรียนนำโทรศัพท์ส่องที่แผนภาพบล็อกของวงจรลำดับหนึ่งในใบเนื้อหาหรือใบงาน เมื่อกดถัดไปเรื่อย ๆ จนครบทุกตัวบนบอร์ด



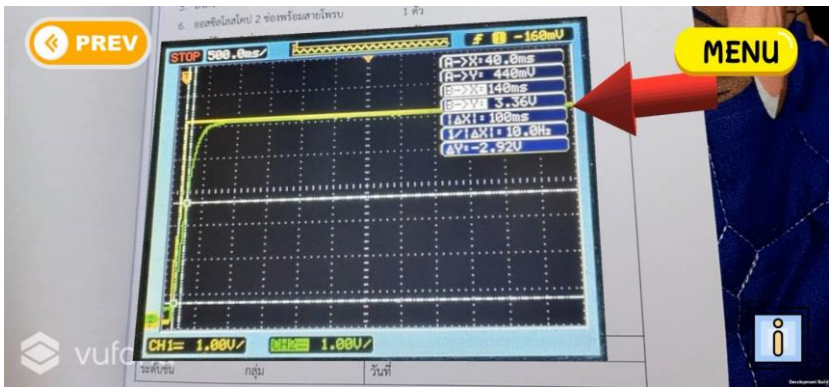
ภาพที่ 4-22 แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรลำดับหนึ่ง

เป็นขั้นตอนการบอกถึงขาไฟบวก ไฟลบ หรือสัญญาณเข้า และสัญญาณออกดังภาพที่ 4-23



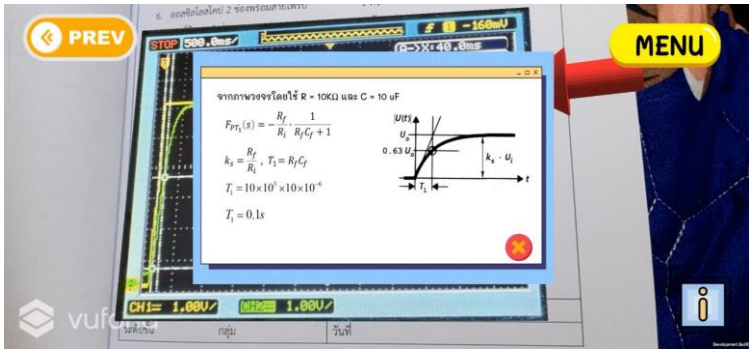
ภาพที่ 4-23 แสดงการต่อสัญญาณและไฟบวก ลบของวงจรลำดับหนึ่ง

มีตัวอย่างของผลตอบสนองวงจรลำดับหนึ่งดังภาพที่ 4-24 เป็นลูกศรชี้บอกค่าเวลาคงตัวที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป



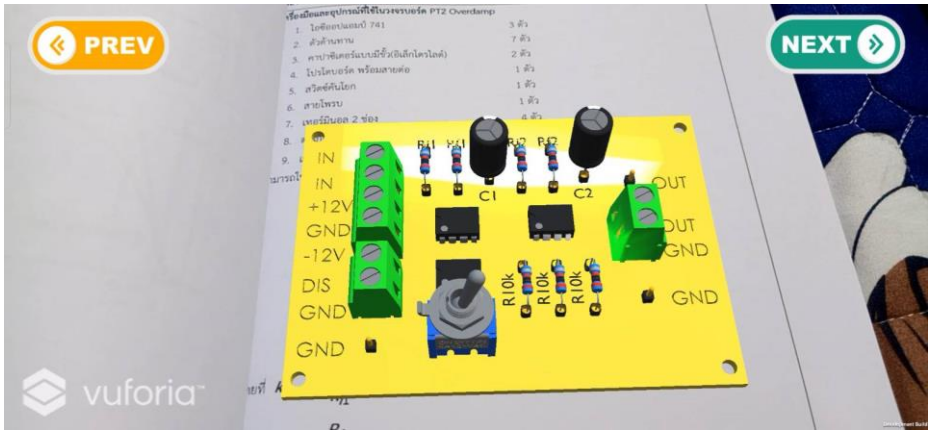
ภาพที่ 4-24 ผลตอบสนองตัวอย่างของวงจรลำดับหนึ่ง

มีปุ่มไว้สำหรับดูการคำนวณค่าเวลาคงตัวของผลตอบสนองวงลำดับหนึ่งที่แสดงขึ้นดังภาพที่ 4-25



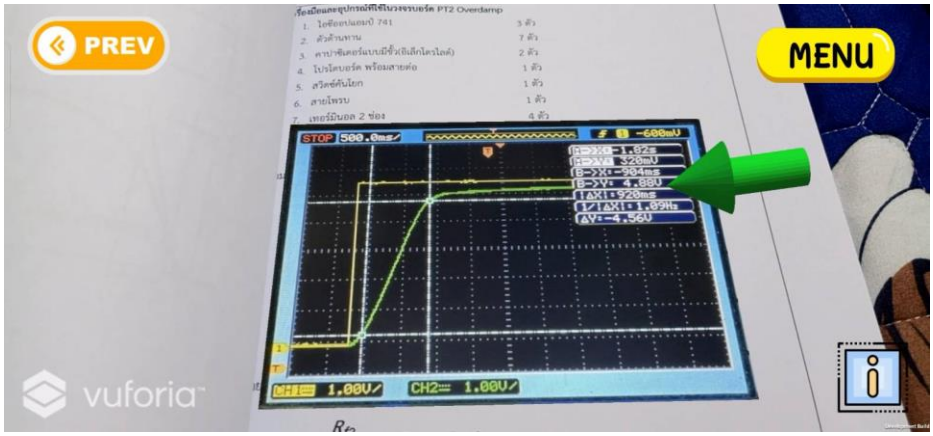
ภาพที่ 4-25 การคำนวณค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับหนึ่ง

การทำงานของแอปพลิเคชันในส่วนของวงจรลำดับสอง (Second order) ในวงจรลำดับสองมี 2 ชนิด คือ ชนิดหน่วงเกิน และชนิดหน่วงขาดเมื่อผู้เรียนเลือกชนิดหน่วงเกิน (Overdamp) เป็นการแนะนำใส่อุปกรณ์ที่แสดงเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม และมีแอนิเมชันประกอบดังภาพที่ 4-26 โดยให้ผู้เรียนนำโทรศัพท์ส่องที่แผนภาพวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินในใบเนื้อหาหรือใบงาน จากนั้นผู้เรียนจะสามารถนำอุปกรณ์ใส่ลงบนบอร์ดได้ตามลำดับ เมื่อใส่จนครบทุกตัว



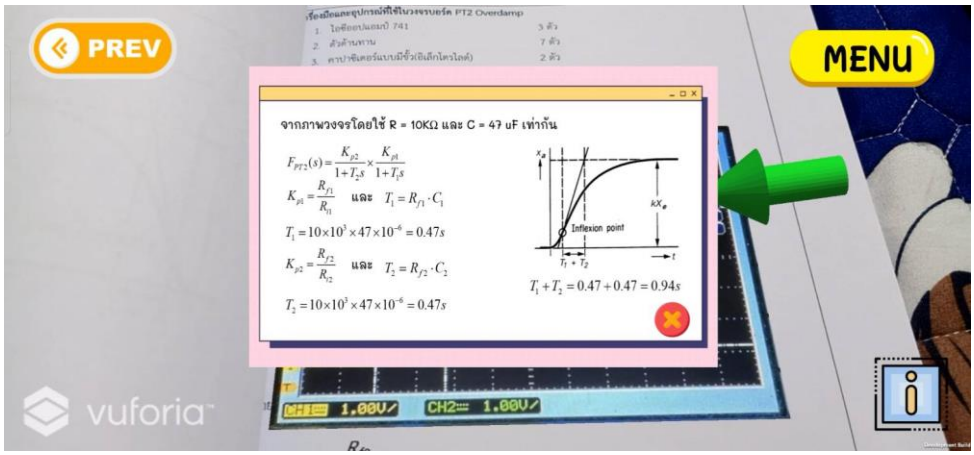
ภาพที่ 4-26 แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน

ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินดังภาพที่ 4-27 เป็นลูกศรชี้บอกค่าเวลาคงตัวที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป



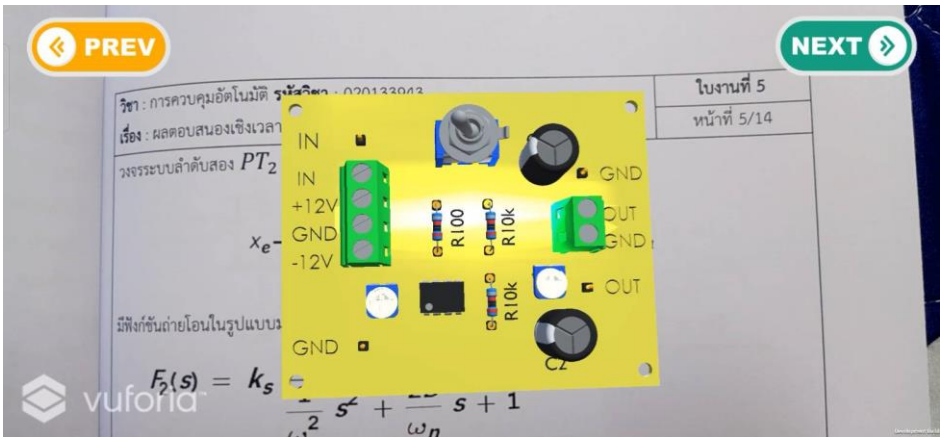
ภาพที่ 4-27 ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน

การคำนวณค่าเวลาคงตัวให้ผู้เรียนได้ศึกษาของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกินดังภาพที่ 4-28 เป็นป๊อปอัพ ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจพร้อมกับผลตอบสนองได้



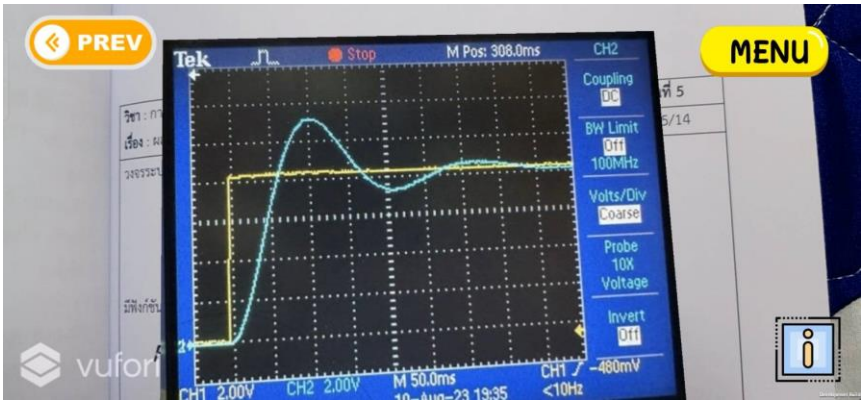
ภาพที่ 4-28 การคำนวณค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน

การทำงานของแอปพลิเคชันในส่วนของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด (Underdamp) เป็นการแนะนำใส่อุปกรณ์ที่แสดงเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม และมีแอนิเมชันประกอบเช่นเดียวกับวงจรต่าง ๆ ดังภาพที่ 4-29 โดยให้ผู้เรียนนำโทรศัพท์ส่องที่แผนภาพบล็อกวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาดในใบเนื้อหาหรือใบงาน จากนั้นผู้เรียนจะสามารถนำอุปกรณ์ใส่ลงบนบอร์ดได้ตามลำดับ เมื่อใส่จนครบทุกตัว



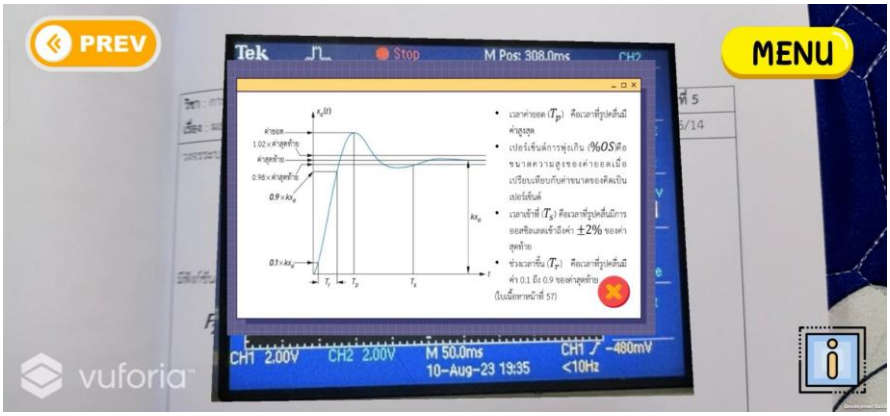
ภาพที่ 4-29 แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด

ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาดดังภาพที่ 4-30 เพื่อให้ผู้เรียนทดสอบผลตอบสนองให้คล้ายกับตัวอย่างที่ได้แสดงขึ้น



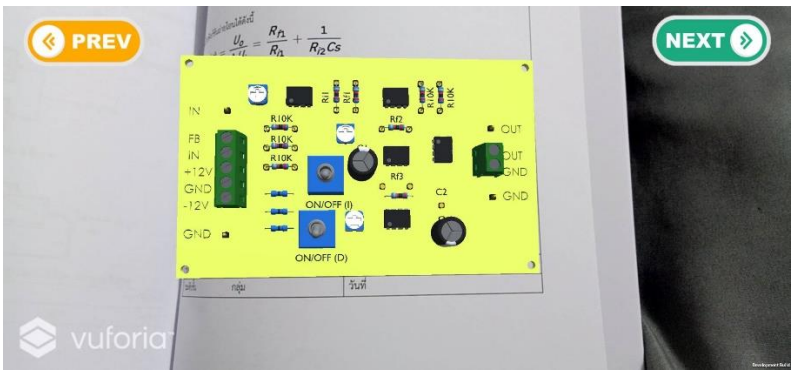
ภาพที่ 4-30 ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด

อธิบายสำหรับการหาค่าเวลาหรือเปอร์เซ็นโอเวอร์ชูทดังภาพที่ 4-31 เป็นป๊อปอัพโดยผู้เรียนจะสามารถศึกษาค่าเวลาของแต่ละจุดได้



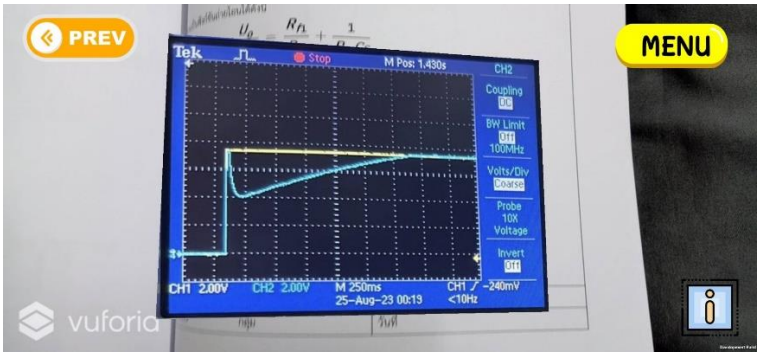
ภาพที่ 4-31 อธิบายค่าเวลาของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด

การทำงานของแอปพลิเคชันในส่วนของวงจรพีไอดี มีการเรียงลำดับขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกันกับวงจรต่าง ๆ เริ่มต้นจากการใส่อุปกรณ์ลงบอร์ดพีไอดีให้ครบทุกตัวดังภาพที่ 4-32 ซึ่งให้ผู้เรียนนำโทรศัพท์ส่องที่แผนภาพบล็อกวงจรพีไอดีในใบเนื้อหาหรือใบงาน



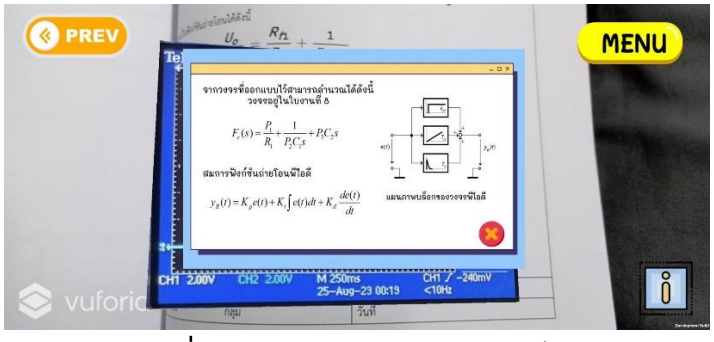
ภาพที่ 4-32 แนะนำการใส่อุปกรณ์ของวงจรพีไอดี

ตัวอย่างผลตอบสนองแสดงขึ้นดังภาพที่ 4-33 สำหรับผู้เรียนทดสอบวงจรพีไอดีให้ผลตอบสนองคล้ายกับตัวอย่างที่แสดงขึ้น



ภาพที่ 4-33 ตัวอย่างผลตอบสนองของวงจรพีไอดี

มีสมการของวงจรพีไอดีดังภาพที่ 4-34 โดยที่สมการหรือการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีจะมีอยู่ทั้งใบเนื้อหา และใบงาน



ภาพที่ 4-34 สมการฟังก์ชันถ่ายโอนพีไอดี

การทำงานของแอปพลิเคชันส่วนแบบประเมิน หลังจากที่ผู้เรียนได้เรียนรู้และใช้งานชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม ทางผู้จัดทำได้มีแบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้นหลังจากที่ได้เรียนรู้ด้วยตนเอง

4.2 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียน

ในปริญญานิพนธ์การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมนั้นใช้วิธีการประเมินผลทางด้านทักษะของปริญญานิพนธ์นี้เป็นแบบรูบริค (Rubric Score) คือ เกณฑ์การให้คะแนนที่บรรยายคุณภาพคำตอบของแต่ละระดับไว้อย่างชัดเจน เพื่อช่วยให้การตรวจให้คะแนนมีความปรนัย โดยจะมีเกณฑ์การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติและหลังการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติดังตารางที่ 4-1 และ 4-2

ตารางที่ 4-1 เกณฑ์ประเมินแบบรูบริคใช้สำหรับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมหัวข้อที่ใช้โปรแกรมแมทแลป

คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
4	- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง - สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง
3	- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง -ไม่สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง
2	- ไม่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง - สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง
1	- ไม่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง -ไม่สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง

ตารางที่ 4-2 เกณฑ์ประเมินแบบรูบริคใช้สำหรับงานปฏิบัติ มีเกณฑ์ประเมินดังนี้

คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
4	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ทั้งหมด - สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขก่อนเวลาที่กำหนด 15 นาที
3	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขพอดีภายในเวลาที่กำหนด
2	- สามารถต่อวงจรได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขที่กำหนดได้ - สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด
1	- ไม่สามารถต่อวงจรให้ตรงตามเงื่อนไขได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำไม่ได้ครบทุกเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด

จากการที่ได้ทำการเก็บผลผู้เรียนก่อนการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติ ตารางที่ 4-3 เป็นผลคะแนนการประเมินทางด้านทักษะของผู้เรียนรายบุคคล โดยนำเกณฑ์รูบริคมาให้คะแนนผู้เรียน

ตารางที่ 4-3 ผลคะแนนการประเมินทางด้านทักษะของผู้เรียนก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

ลำดับ	คะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนปฏิบัติ (10)	คะแนนปฏิบัติ						โปรแกรม (20)	คะแนนรวมก่อนการเรียนรู้ (60)	ร้อยละ
		P (5)	I (5)	PT1 (5)	PT2o (5)	PT2u (5)	PID (5)			
1	2.5	2.5	3.75	2.5	1.25	3.75	1.25	5	22.50	37.50
2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	10	27.50	45.83
3	2.5	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	15	40	66.67
4	2.5	3.75	2.5	2.5	1.25	3.75	1.25	5	22.50	37.50
5	2.5	5	3.75	3.75	3.75	3.75	2.5	5	30	50.00
6	2.5	5	5	5	5	5	5	5	37.50	62.50

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

ลำดับ	คะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนปฏิบัติ (10)	คะแนนปฏิบัติ						โปรแกรม (20)	คะแนนรวมก่อนการเรียนรู้ (60)	ร้อยละ
		P (5)	I (5)	PT1 (5)	PT2o (5)	PT2u (5)	PID (5)			
7	2.5	3.75	3.75	2.5	2.5	1.25	1.25	5	22.50	37.50
8	2.5	3.75	5	3.75	3.75	3.75	2.5	5	30	50.00
9	2.5	5	5	5	5	5	5	10	42.50	70.83
10	7.5	5	5	5	5	5	5	15	47.50	79.17
11	2.5	3.75	5	3.75	3.75	3.75	2.5	15	40	66.67
12	2.5	5	5	5	5	5	5	5	37.50	62.50
13	10	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	30	50.00

สูตรหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \qquad (4\text{-}1)$$

โดยที่

$\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum x$ แทน ผลรวมคะแนน

n แทน จำนวนผู้เรียน (13)

จากตารางที่ 4-3 เป็นตารางผลคะแนนการประเมินผลทางด้านทักษะของผู้เรียนก่อนได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติโดยใช้สมการที่ (4-1) ในการหาค่าเฉลี่ยก่อนการเรียนรู้ คือ 33.07

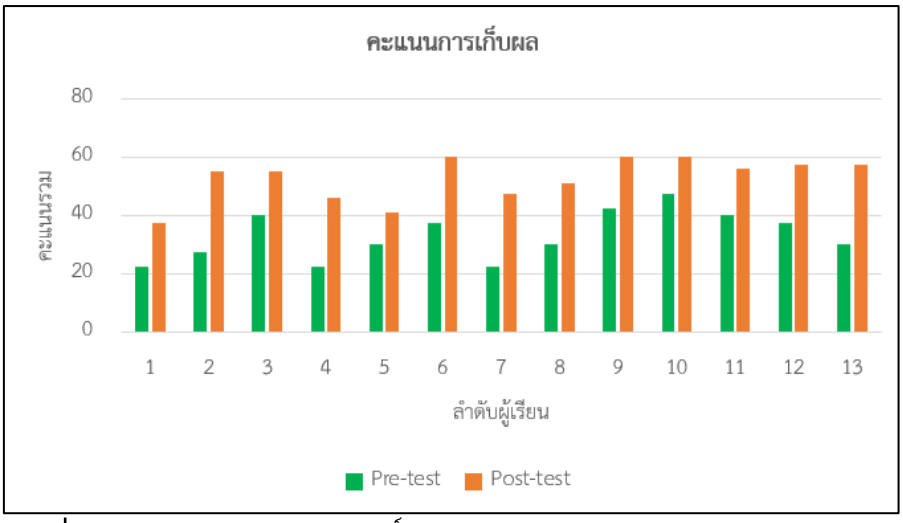
จากการที่ผู้เรียนได้ทำการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติ และได้ทำการเก็บผลให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบทางด้านทักษะ ใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริครายบุคคล

ตารางที่ 4-4 ผลคะแนนการประเมินทางด้านทักษะของผู้เรียนหลังได้รับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

ลำดับ	คะแนนปฏิบัติ						โปรแกรม (20)	คะแนนแบบทดสอบหลังเรียนปฏิบัติ (10)	คะแนนรวมหลังการเรียนรู้ (60)	ร้อยละ
	P (5)	I (5)	PT1 (5)	PT2o (5)	PT2u (5)	PID (5)				
1	2.5	2.5	5	3.75	3.75	2.5	10	7.5	37.5	62.50
2	5	5	5	5	3.75	3.75	20	7.5	55	91.67
3	5	5	5	5	5	5	15	10	55	91.67
4	5	5	5	3.75	3.75	3.75	15	5	46.25	77.08
5	5	5	5	3.75	3.75	3.75	10	5	41.25	68.75
6	5	5	5	5	5	5	20	10	60	100.00
7	5	5	3.75	3.75	3.75	3.75	15	7.5	47.5	79.17
8	5	5	5	5	5	3.75	15	7.5	51.25	85.42
9	5	5	5	5	5	5	20	10	60	100.00
10	5	5	5	5	5	5	20	10	60	100.00
11	5	5	5	5	5	3.75	20	7.5	56.25	93.75
12	5	5	5	5	5	5	20	7.5	57.5	95.83
13	5	5	5	3.75	3.75	5	20	7.5	57.5	95.83

จากตารางที่ 4-4 เป็นตารางผลคะแนนการประเมินผลทางด้านทักษะของผู้เรียนหลังการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติโดยใช้สมการที่ (4-1) ในการหาค่าเฉลี่ยหลังการเรียนรู้ คือ 52.69

เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ระหว่างก่อนการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติ และหลังการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติดังภาพที่ 4-35 แสดงให้เห็นว่า คะแนนก่อนการเรียนรู้ของผู้เรียนในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 มีคะแนนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.07 ส่วนหลังการเรียนรู้มีคะแนนค่าเฉลี่ย 52.69



ภาพที่ 4-35 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

4.2.1 การวิเคราะห์ผล ผู้จัดทำนำผลของคะแนนก่อนการเรียนรู้ และหลังการเรียนรู้ในการใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้นของผู้เรียนมาวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนการเรียนรู้ และหลังการเรียนรู้ โดยใช้ Normalized gain <g> เสนอโดย Richard R. Hake เป็นวิธีการประเมินที่สามารถทำได้ด้วยการพิจารณาผลต่างของคะแนนก่อนการเรียนรู้ และหลังการเรียนรู้เทียบกับโอกาสที่นักเรียนแต่ละคนที่สามารถทำคะแนนเพิ่มขึ้นจากสมการที่ (4-2)

$$\langle g \rangle = \frac{(\%Post-test)-(\%\mathrm{Pr}e-test)}{(100\%)-(\%\mathrm{Pr}e-test)} \qquad (4\text{-}2)$$

โดยที่ <g> คือ ค่า Normalized gain

%Post-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนหลังการเรียนรู้เป็นร้อยละ

%Pre-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนการเรียนรู้เป็นร้อยละ

ค่า Normalized gain เป็นผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของผู้เรียน (Actual gain = (%Post-test)-(%Pre-test)) คิดเป็นกี่เท่าของผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (Maximum possible gain = (100%)-(%Pre-test)) การประเมินนี้ทำให้สามารถแบ่ง ระดับของค่า Normalized gain มี 3 ระดับ ดังนี้

“สูง” หมายถึง ค่า $\langle g \rangle \geq 0.7$

“ปานกลาง” หมายถึง ค่า $0.7 > \langle g \rangle \geq 0.3$

“ต่ำ” หมายถึง ค่า $0.0 \leq \langle g \rangle > 0.3$

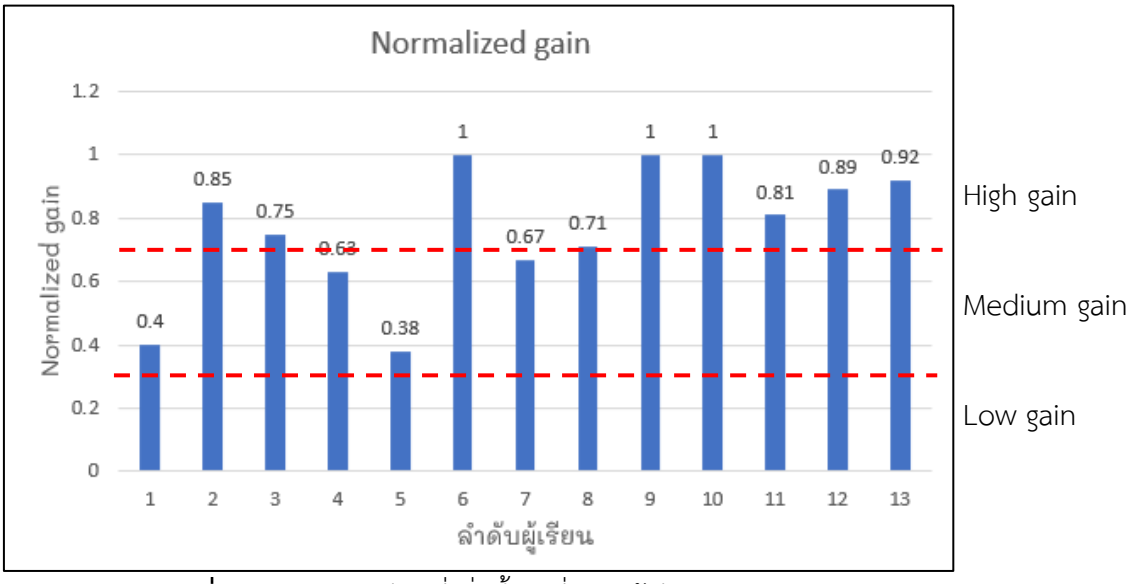
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ผล ผู้จัดทำศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะของผู้เรียนระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 เมื่อใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบก่อน และหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบวัดผลการเรียนรู้ก่อนเรียน และหลังเรียน ผลการวิเคราะห์คำตอบของผู้เรียนจากการทำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะ โดยทำการเปรียบเทียบคะแนนก่อนการเรียนรู้และหลังการเรียนรู้โดยใช้วิธี normalized gain โดยวิเคราะห์คะแนนผลการเรียนรู้เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะในการใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

%Pre-test	%Post-test	Actual gain	Maximum possible gain	Normalized gain <g>
55.13	87.82	32.69	44.87	0.77

จากตารางที่ 4-5 พบว่าเมื่อทดสอบด้วยแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะปฏิบัติจากคะแนนเต็มทั้งหมด 60 คะแนน กลุ่มผู้เรียนที่ศึกษาจำนวน 13 คน มีคะแนนผลการเรียนรู้เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดเท่ากับ 0.77

วิเคราะห์คะแนนผลการเรียนรู้เฉลี่ยเพิ่มขึ้นรายบุคคล โดยเป็นการวิเคราะห์พัฒนาการทางเรียนรู้ของผู้เรียน จากคะแนนก่อนการเรียนรู้และหลังการเรียนรู้ของแต่ละคน กลุ่มผู้เรียนที่ศึกษาจำนวน 13 คน มีค่า Normalized gain ดังภาพที่ 4-36



ภาพที่ 4-36 ผลการเรียนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของผู้เรียนรายบุคคล

จากภาพที่ 4-36 มีการแบ่งช่วงของระดับค่า Normalized gain <g> ที่ได้จากการเปรียบเทียบคะแนนก่อนการเรียนรู้และหลังการเรียนรู้ในการใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติ โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ กลุ่มผู้เรียนที่อยู่ในระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ พบว่าคะแนนผลการเรียนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของผู้เรียนรายบุคคลเมื่อใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบของผู้เรียนมีคะแนนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยสามารถแบ่งระดับออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

4.2.2.1 ผู้เรียนที่มีคะแนนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับสูง มีทั้งหมด 9 คน คิดเป็นร้อยละ 69.23 โดยผู้เรียนคนที่ 6 9 และ 10 มีผลการเรียนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดคือ 1

4.2.2.2 ผู้เรียนที่มีคะแนนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับปานกลาง มี 4 คน คิดเป็นร้อยละ 30.76 โดยผู้เรียนคนที่ 7 มีผลการเรียนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดคือ 0.67

4.2.2.3 ไม่มีผู้เรียนอยู่ในคะแนนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับต่ำ

4.3 ผลการประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น

ผลการประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม เป็นการประเมินเพื่อหาทัศนคติในด้านต่าง ๆ ของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติ โดยประกอบด้วย 3 ด้าน ประกอบด้วยด้านเนื้อหา ด้านชุดฝึกทักษะปฏิบัติและด้านการวัดและประเมินผล ไม่ว่าจะเป็นเนื้อหาที่จัดทำสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรายวิชาอื่น ๆ ได้หรือไม่ ชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยพัฒนาทักษะด้านปฏิบัติหรือไม่ เป็นต้น ดังตารางที่ 4-6 ซึ่งมีเกณฑ์ในการแปลความหมายตามแบบ ลิเคิร์ท กำหนดระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ โดยมีรายการประเมินทั้งหมด 14 ข้อที่ครอบคลุมรายละเอียดในการจัดทำปริญญานิพนธ์ โดยผู้ประเมินเป็นผู้เรียนจำนวน 13 คน

ตารางที่ 4-6 ผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

รายการประเมิน	ระดับทัศนคติ					Mean	S.D.	แปลผล
	5	4	3	2	1			
ด้านเนื้อหา								
1.ฉันมองเห็นความสำคัญของการเรียนวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	9	4	0	0	0	4.69	0.48	มากที่สุด

ตารางที่ 4-6 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับทัศนคติ					Mean	S.D.	แปลผล
	5	4	3	2	1			
2.ฉันคิดว่าเนื้อหามีการจัดลำดับเนื้อหาในการเรียนรู้และกระบวนการได้อย่างชัดเจน	9	4	0	0	0	4.69	0.48	มากที่สุด
3.ฉันคิดว่าเนื้อหาในการเรียนรู้ทำให้เกิดการพัฒนาการด้านการควบคุมมากขึ้น	12	1	0	0	0	4.92	0.28	มากที่สุด
4.ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเข้าใจง่าย	6	6	1	0	0	4.38	0.65	มาก
5.ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเหมาะสมกับรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	8	5	0	0	0	4.62	0.51	มากที่สุด
6.ฉันรู้สึกสนุกกับเนื้อหาของวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	11	2	0	0	0	4.85	0.38	มากที่สุด
7.ฉันคิดว่าเนื้อหาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรายวิชาอื่นๆได้	7	6	0	0	0	4.54	0.52	มากที่สุด
8.ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น	10	3	0	0	0	4.77	0.44	มากที่สุด
9.ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติมีความสอดคล้องกับเนื้อหาในการเรียนรู้	6	6	1	0	0	4.38	0.65	มาก
10.ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันรู้จักคิดและวิเคราะห์มากขึ้น	9	4	0	0	0	4.69	0.48	มากที่สุด
11.ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันพัฒนาทักษะด้านปฏิบัติมากขึ้น	9	3	1	0	0	4.62	0.65	มากที่สุด
12.ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับรายวิชาอื่นๆได้	8	5	0	0	0	4.62	0.51	มากที่สุด

ตารางที่ 4-6 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับทัศนคติ					Mean	S.D.	แปลผล
	5	4	3	2	1			
ด้านการวัดและประเมินผล								
13.ฉันคิดว่าวิธีการวัดและประเมินผลมีความเหมาะสมดีแล้ว	7	6	0	0	0	4.54	0.52	มากที่สุด
14.ฉันได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากการวัดและประเมินผลในเนื้อหา	12	1	0	0	0	4.92	0.28	มากที่สุด

หมายเหตุ การแปลผลทัศนคติ

4.50 – 5.00 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยมากที่สุด

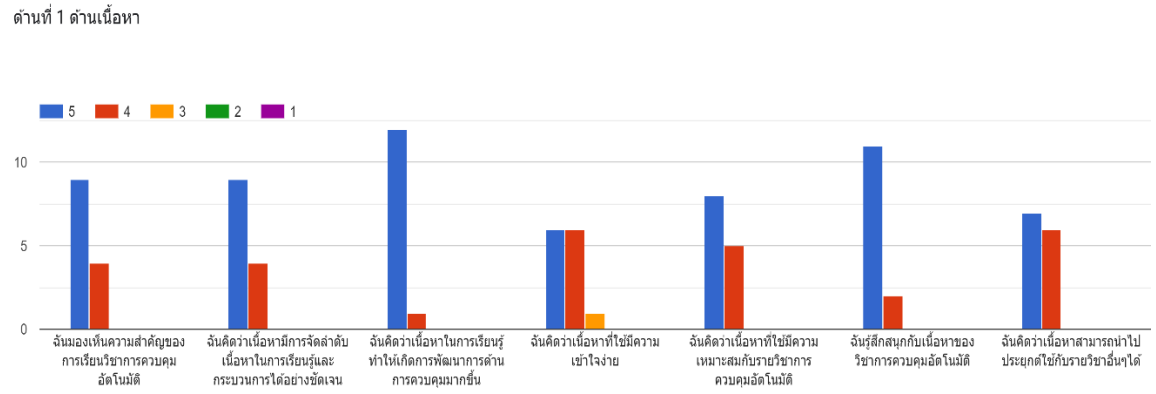
3.50 – 4.49 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยมาก

2.50 – 3.49 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยปานกลาง

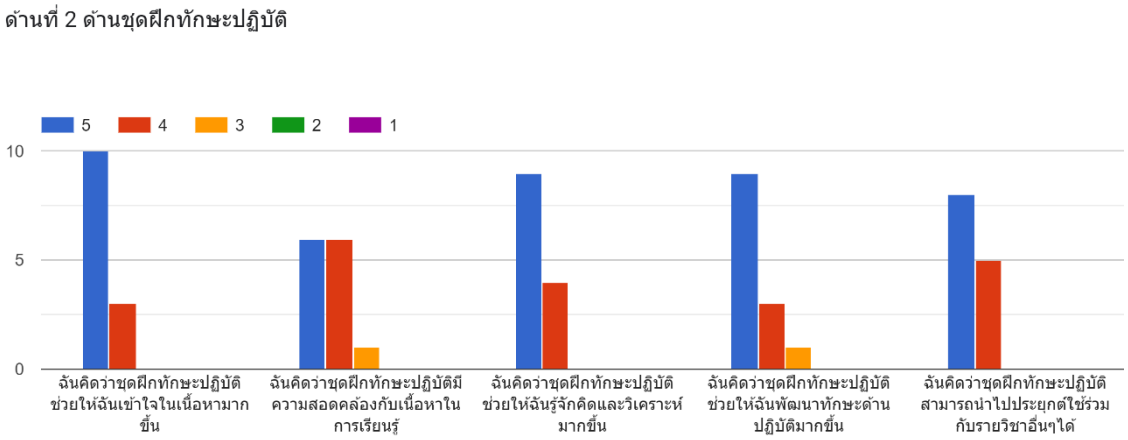
1.50 – 2.49 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยน้อย

1.00 – 1.49 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยน้อยที่สุด

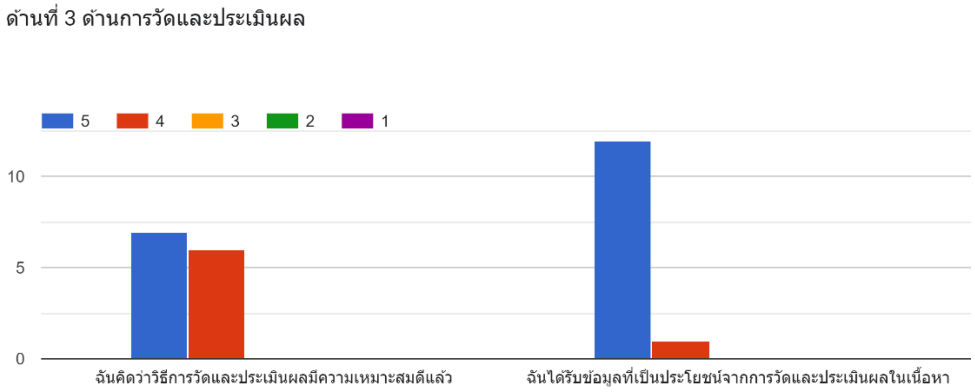
จากตารางที่ 4-6 เป็นตารางแสดงผลการประเมินทัศนคติที่ผู้เรียนมีต่อการเรียนรู้ โดยแสดงระดับทัศนคติของผู้เรียนทั้งหมด 5 ระดับ แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในแต่ละข้อคำถาม รวมไปถึงแสดงผลรวมการศึกษาทัศนคติของผู้เรียนทั้งหมด



ภาพที่ 4-37 ผลการประเมินทัศนคติด้านเนื้อหา

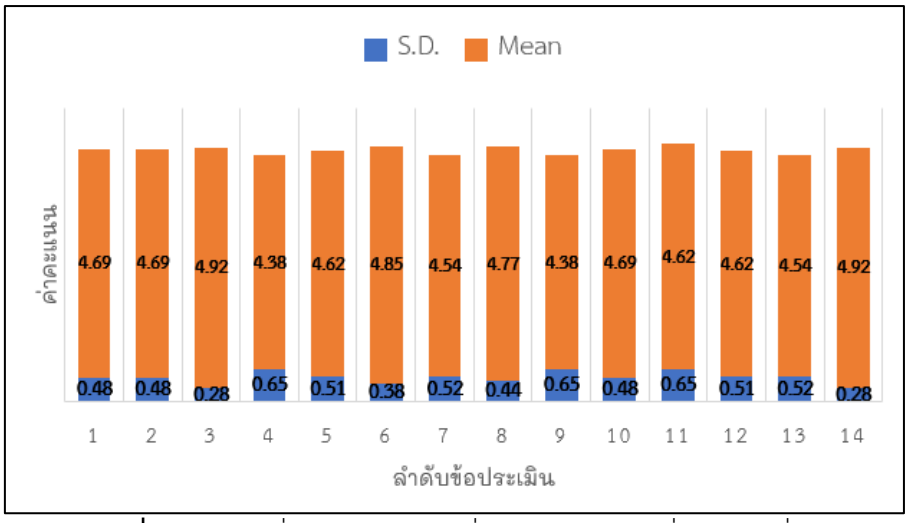


ภาพที่ 4-38 ผลการประเมินทัศนคติด้านชุดฝึกทักษะปฏิบัติ



ภาพที่ 4-39 ผลการประเมินทัศนคติด้านการวัดและประเมินผล

จากภาพที่ 4-37 ถึงภาพที่ 4-39 แสดงแผนภูมิผลการประเมินทัศนคติของผู้เรียนข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 14 เป็นภาพแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบทัศนคติของผู้เรียนในแต่ละระดับ จากความคิดเห็นที่ระดับมากที่สุด ความคิดเห็นที่ระดับมาก และความคิดเห็นที่ระดับปานกลาง จากผู้เรียนจำนวน 13 คน พบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด และระดับเห็นด้วยมาก



ภาพที่ 4-40 ค่าเบี่ยงเบนและค่าเฉลี่ยของทัศนคติข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 14

จากภาพที่ 4-40 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยของทัศนคติ จะเห็นได้ว่าจากผู้เรียนทั้งหมด 13 คน ซึ่งผลการประเมินทัศนคติ โดยเฉลี่ยทั้งหมด 4.66 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดของการประเมินทัศนคติผู้เรียนอยู่ในระดับที่เห็นด้วยมากที่สุดในการใช้ชุกฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม เนื่องจากอยู่ในเกณฑ์ระหว่าง 4.50 ถึง 5.00 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยมากที่สุด

การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ออกห่างจากค่าเฉลี่ยกลางของข้อมูล ค่ายิ่งมากแสดงว่ามีการแปรปรวน หรือการกระจายของข้อมูลสูง จากกราฟในข้อที่ 4 9 และ 11 มีค่า S.D. ที่มากที่สุดอยู่ที่ 0.65 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวมากมีความแตกต่างของข้อมูลหลายระดับ และข้อที่ 1 2 5 7 8 10 12 และ 13 มีค่า S.D. อยู่ระหว่าง 0.44 ถึง 0.52 ข้อมูลมีการกระจายตัวไม่มาก มีความแตกต่างของข้อมูลเล็กน้อย ซึ่งข้อที่ 3 6 และ 14 มีค่า S.D. ระหว่าง 0.38 ถึง 0.28 เป็นค่า S.D. ที่ต่ำที่สุด มีความแตกต่างของข้อมูลปานกลาง โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดอยู่ที่ 0.49 ซึ่งมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย และข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 4-7 ความคิดเห็นและข้อเสนอเพิ่มเติมของผู้เรียน

รายการคำถาม	ความคิดเห็น
1.ชุดฝึกทักษะปฏิบัติสามารถช่วยในการเรียนรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติได้หรือไม่	“ชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้เข้าใจ และเรียนรู้ได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังสนุก”

ตารางที่ 4-7 (ต่อ)

รายการคำถาม	ความคิดเห็น
2.เนื้อหา ใบงาน แอปพลิเคชัน และชุดฝึกทักษะปฏิบัตินั้นมีความสอดคล้องหรือไม่	“จากที่ได้ทำการเรียนรู้ในใบเนื้อหา และใบงาน เมื่อจำลองระบบในโปรแกรมแมทแลป หรือการทดลองที่ได้ใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติที่ต่อเพื่อศึกษาผลตอบสนองของวงจรยังสามารถดูการประกอบอุปกรณ์แต่ละตัวในแอปพลิเคชัน AR for control ได้”
3.ผู้เรียนมีความรู้สึกอย่างไรเมื่อได้เรียนรู้ด้วยตนเองร่วมกับแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริม	“เป็นการเรียนรูปแบบใหม่แตกต่างจากที่เรียนจะเขียนบนกระดาน เมื่อมาเป็นแอปพลิเคชันช่วยให้เห็นภาพมากกว่าบนกระดานมากขึ้น”
4.เนื้อหาและการทำงานภายในแอปพลิเคชันช่วยดึงดูดความสนใจได้หรือไม่	“ในใบเนื้อหา ใบงาน และภายในแอปพลิเคชันสามารถดึงดูดความสนใจได้เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม และมีอนิเมชันเหมือนเป็นเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ไม่ได้เห็นในการเรียนรู้มาก่อน และเมื่อได้ศึกษาด้วยตนเอง มีตัวอย่างผลตอบสนองและการคำนวณของแต่ละวงจรก็สามารถดูจากตรงนั้นได้”
5.เมื่อผู้เรียนเกิดความไม่เข้าใจผู้เรียนแก้ไขปัญหานั้นอย่างไร	“สามารถศึกษาใหม่ได้จากใบเนื้อหา และแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริมเข้ามาช่วยให้เห็นภาพมากขึ้น บางจุดอาจจะต่อสายไม่ครบก็สามารถดูในแอพลิเคชันเพิ่มเติมได้ หากมีกรณีที่ไม่สามารถแก้ไขได้ก็จะสอบถามจากผู้รู้โดยตรง”
6.ผู้เรียนต้องการให้ปรับปรุงแอพพลิเคชันหรือไม่และถ้าปรับปรุงต้องการให้ปรับปรุงอย่างไร	“อยากให้เพิ่มเติมในส่วนของความหมายของแต่ละวงจร รายละเอียดของวงจรเพิ่มเติม และอยากให้เทคโนโลยีความจริงเสริมเข้าถึงได้ง่ายกว่านี้โดยไม่โหลดแอปลพิเคชัน”

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมโดยให้ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 5 ท่านได้ทำการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนนำไปใช้ในการเรียนรู้รายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะของผู้เรียนและ เพื่อศึกษาทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติ จากนักศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จำนวน 13 คน และวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียนจากการทดสอบทักษะปฏิบัติ และวิเคราะห์ผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึก จากการประเมินความคิดเห็นของผู้เรียนหลังใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

5.1 สรุปผลการจัดทำปริญญานิพนธ์

5.1.1 สรุปผลการจัดทำปริญญานิพนธ์ตามวัตถุประสงค์

5.1.1.1 การพัฒนาสื่อการเรียนชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมผลที่ได้คือได้ออกแบบ และสร้างวงจรออปแอมป์ที่สอดคล้องกับการจำลองระบบด้วยโปรแกรมแมทแลป โดยระบบจะประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ ระบบลูปเปิด และระบบลูปปิด ซึ่งระบบลูปเปิดจะต่องเลือกสร้างวงจรออปแอมปที่ผู้เรียนสามารถใส่สิ่งรบกวน (disturbance) เขาไปในระบบแลวทำใหเอาตพุตมีการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณได้ ชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการเรียนรู้ ประกอบไปด้วย วงจรพี วงจรไอ วงจรลำดับหนึ่ง วงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน วงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด และวงจรพีไอดีเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรมแมทแลป และนำไปสร้างการควบคุมแบบระบบลูปปิด โดยที่ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองผ่านใบเนื้อหา และแอปพลิเคชันซึ่งภายในแอปพลิเคชันจะประกอบไปด้วยขั้นตอนการใส่อุปกรณ์ลงวงจรต่าง ๆ ทั้งหมด 6 วงจรโดยแสดงเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม และแอนิเมชัน

5.1.1.2 ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม ผู้จัดทำทำการทดสอบผู้เรียนโดยให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน จากนั้นจึงเริ่มดำเนินกิจกรรมโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบ หลังจากนั้นให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบด้านทักษะปฏิบัติโดยแบบทดสอบจะเป็นการกำหนดหัวข้อเรื่อง และกำหนดแบบทดสอบ ซึ่งแบบทดสอบจะมีลักษณะคล้ายกับใบงาน การ

ให้คะแนนใช้แบบประเมินรูบริค จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบ ก่อน-หลังการเรียนรู้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้การทดสอบพัฒนาการทางการเรียนรู้ด้วยสูตร normalized gain ของ Richard Hake ผลการทดสอบพบว่าผู้เรียนทั้ง 13 คนมีพัฒนาการทางเรียนรู้ในระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 69.23 จำนวน 9 คน และผู้เรียนมีพัฒนาการทางการเรียนรู้ในระดับปานกลาง จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 30.76

5.1.1.3 ศึกษาผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม ซึ่งผลการประเมินทัศนคติของผู้เรียนอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยด้านทัศนคติอยู่ที่ 4.66 (S.D. = 0.49)

สรุปได้ว่า ผลประเมินทักษะและทัศนคติของผู้เรียนหลังจากที่ได้ใช้ชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมมีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติ โดยคะแนนด้านทักษะอยู่ที่ 69.23 เมื่อแปลความเทียบกับเกณฑ์แปลผลแล้วสรุปได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีการเรียนรู้สูงเนื่องจากผู้เรียนค่อนข้างมีพื้นฐานด้านการควบคุม และด้านโปรแกรม ซึ่งก็มีบางคนที่อาจมีพื้นฐานด้านการควบคุมไม่มาก จึงทำให้มีผู้เรียนที่อยู่ในเกณฑ์การเรียนรู้ปานกลาง และมีระดับคะแนนด้านทัศนคติเฉลี่ยอยู่ที่ 4.66 เมื่อแปลความเทียบกับเกณฑ์สรุปได้ว่าผู้เรียนเห็นด้วยมากที่สุดแสดงให้เห็นว่าชุดฝึกทักษะ เนื้อหา และแอปพลิเคชันมีความเหมาะสมกับการเรียนรู้ด้วยตนเองรวมไปถึงเทคโนโลยีความจริงเสริมสามารถช่วยดึงดูดความสนใจ และเข้าใจระบบที่เกี่ยวกับรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติเพิ่มขึ้น

5.2 อภิปรายผล

ปริญญานิพนธ์ที่จัดทำขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะปฏิบัติและทัศนคติในรายวิชาการควบคุมนี้เป็นประโยชน์สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอน สามารถช่วยดึงดูดความสนใจในการเรียนรู้และช่วยให้ผู้เรียนสามารถเห็นพฤติกรรมของระบบ ในขณะเดียวกันการนำโปรแกรมแมทแลปมาช่วยในการออกแบบและจำลองระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบลำดับหนึ่งและระบบลำดับสอง โดยที่รูปแบบการเขียนโปรแกรมแมทแลป เขียนทั้งในรูปแบบข้อความ (text) และแผนภาพบล็อก (โหมด Simulink) ทำให้ง่ายต่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบและตัวควบคุม ก่อนที่จะนำค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมไปใช้กับระบบที่สร้างขึ้นจากวงจรที่ใช้ออปแอมป์ ในส่วนของตัวควบคุมผู้เรียนจะสามารถออกแบบระบบการควบคุมลูปปิดได้จากโปรแกรมแมทแลป ด้วยคำสั่ง SISO หลังจากที่ทราบค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแล้ว ผู้เรียนนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมมาสร้างเป็นโครงงานเพื่อใช้ควบคุมระบบได้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการดูผลตอบสนองของระบบและปรับแก้พารามิเตอร์ที่ตัวควบคุมได้ทันที ซึ่งทำให้ผู้เรียนเห็นความแตกต่างของตัวควบคุมได้ทันที

ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจพฤติกรรมเกี่ยวกับระบบ และการควบคุมระบบโดยใช้ตัวควบคุมทั้งแบบแอนาล็อกได้เป็นอย่างดี

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.3.1 แอปพลิเคชันไม่สามารถติดตั้งในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์บางเวอร์ชันได้ในการสร้างแอปพลิเคชันควรให้ติดตั้งในโทรศัพท์ได้หลายเวอร์ชันมากขึ้น

5.3.2 ระยะเวลาในการเรียนรู้ของผู้เรียน เนื่องจากนักศึกษาไม่สามารถมีเวลาว่างสำหรับให้เก็บผลคะแนนด้านทักษะตามกำหนด จึงต้องใช้เวลาเก็บผลทั้งหมด 4 ถึง 5 ครั้ง เพื่อให้ผู้เรียนสามารถมีเวลาเข้าใจในเรื่องที่กำลังศึกษาในแต่ละครั้งมากขึ้นและความเข้าใจที่สมบูรณ์

5.3.3 การเรียนรู้แบบสืบสอบ มีกระบวนการที่ต้องให้ผู้เรียนได้มีการค้นคว้าข้อมูล ซึ่งมีผู้เรียนบางส่วนไม่ให้ความร่วมมือในการค้นคว้าข้อมูล และมีการลอกจากเพื่อนในกลุ่มเพื่อให้มีงานส่ง จึงมีควรมีคำถามสำหรับวัดความรู้ผู้เรียนเพิ่มเติมว่าผู้เรียนเข้าใจเรื่องนั้น ๆ อย่างถูกต้อง

5.4 ข้อจำกัด

5.4.1 ผู้เรียนมีจำนวนน้อย (13 คน) จึงไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างด้านทักษะระหว่างกลุ่มที่ใช้ชุดฝึกร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมและกลุ่มไม่ได้ใช้ชุดฝึกร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมได้

5.4.2 ผู้เรียนต้องผ่านการเรียนรายวิชาวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 2

5.4.3 ผู้เรียนต้องผ่านการใช้งานโปรแกรมแมทแลปเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 แอปพลิเคชันควรสามารถติดตั้งได้ในโทรศัพท์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์หลายเวอร์ชัน

5.5.2 ผู้เรียนควรมีมากกว่า 30 คน เพื่อสามารถเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะระหว่างกลุ่มที่ใช้ชุดฝึกร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมและกลุ่มไม่ได้ใช้ชุดฝึกร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมได้

5.5.3 ควรมีโครงงานให้ผู้เรียนประยุกต์ใช้กับชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

5.5.4 แบบประเมินทัศนคติควรครอบคลุมด้านการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กลุ่มงานหลักสูตรและพัฒนาคณาจารย์. (2560). [วารสารออนไลน์]. “หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต.” ฉบับที่ 17 : 46.

รุ่งศักดิ์ เยื่อใย. (2562). [วารสารออนไลน์]. “ความท้าทายต่อการพัฒนาการเรียนการสอนของประเทศไทยในศตวรรษที่ 21.” เทคโนโลยีความจริงเสริม. ฉบับที่ 2 ปีที่ 25 : 129-130.

พฤทธิ์ พุฒจร. (2561). [ออนไลน์]. การพัฒนาสื่อการสอนด้วย AR (Augmented Reality). [สืบค้นวันที่ 1 มกราคม 2566]. จาก https://spidyhero.wordpress.com/2018/09/26/arineducation/

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). (2565). [ออนไลน์]. Manufacturing Automation: ยกระดับการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติ. [สืบค้นวันที่ 1 มกราคม 2566]. จาก https://www.pttraise.com/About_Und_Us/5fb4dd8d0f1ee000128e3d07

ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน (Safety Health and Environmental). (2560). [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 1 มกราคม 2566]. จาก https://shorturl.asia/V0TKD

นายพุฒิพงศ์ คชฤทธิ์, นายโกวิท นกโตและพรจิต ประทุมสุวรรณ. (2563). การพัฒนาสื่อการเรียนการสอนในหัวข้อเรื่องระบบไฮดรอลิกส์ขั้นพื้นฐานโดยใช้เทคโนโลยีความจริงเสริม . ปริญญานิพนธ์ครุอุตสหากรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อัญชนา ลักษณ์วิรามสิริ และคนอื่น ๆ. (2564). [วารสารออนไลน์]. “การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์การละเล่นไทยพื้นบ้านด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม.” วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏรอยเอ็ด. ฉบับที่ 1 ปีที่ 16 : 187-197.

วรรณวิศา วัฒนสินธุ์และยุภี อาบสุวรรณ. (2565). [วารสารออนไลน์]. “การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เทคโนโลยีความจริงเสริม เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น.” วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา. ฉบับที่ 2 ปีที่ 6 : 142-150.

วิทยาลัยเทคโนโลยีชื่นชมไทย-เยอรมัน สระบุรี. (2564). [ออนไลน์]. ออปเปอเรชั่นแนล แอปลิไฟร์เบื้องต้น. [สืบค้นวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2566]. จาก https://shorturl.asia/lf5V3

บรรณานุกรม (ต่อ)

พัชรินทร์ สุวรรณบุตร. (2564). [วารสารออนไลน์]. “การพัฒนาชุดปฏิบัติการออปแอมป์สำหรับการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์.” วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง. ฉบับที่ 1 ปีที่ 5 : 50-58.

เกวลี ผาใต้, พิเชนทร์ จันทร์ปุ่มและอภิวัฒน์ วัฒนะสุระ. (2561). [วารสารออนไลน์]. “สื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีมิติเสมือนจริง เรื่อง คำศัพท์ภาษาอังกฤษสัตว์โลกน่ารู้.” วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. ฉบับที่ 1 ปีที่ 4 : 23-28.

ชาญชัย ศุภอรรถกร และเกศรา ภรณ์ไชยสุวรรณ. (2562). [วารสารออนไลน์]. “หนังสือวรรณคดีไทยสามมิติ เรื่อง หลวิชัย คาวีด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์.” วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ. ฉบับที่ 10 ปีที่ 2 : 13-23

ณัฐพงศ์ พลสยม. (2560). การพัฒนาสื่อการสอน ชิ้นส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ด้วย เทคโนโลยีเสมือนจริง. ปริญญานิพนธ์การศึกษาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ทวีพร เอกมณีโรจน์และจิรพันธุ์ ศรีสมพันธุ์. (2564). การพัฒนาสื่อการเรียนการสอนเรื่องการประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ. เอกสารประกอบการประชุมเรื่อง การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14, สิงหาคม.

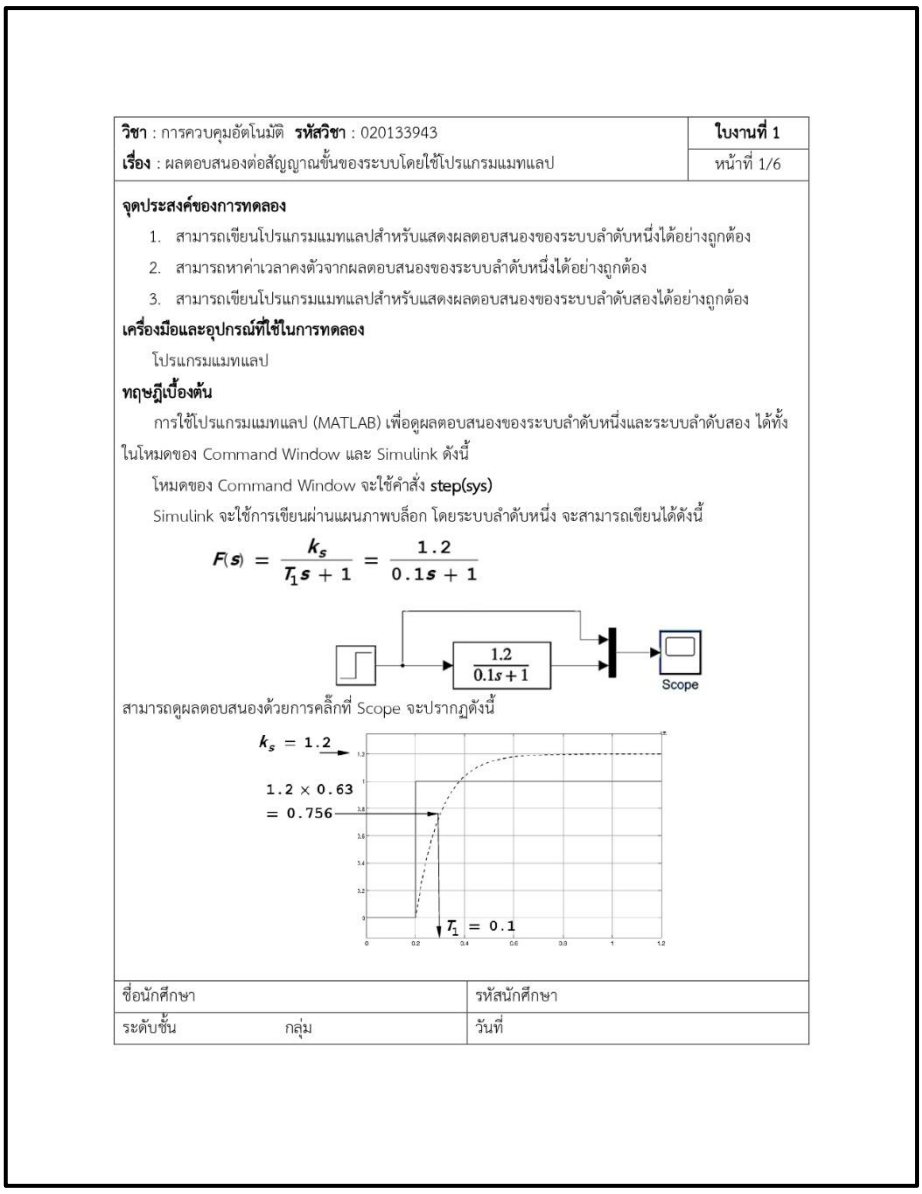
โศภิตา สิทธิฤทธิ์, ดร.ทัศนีย์ ปัญจานนท์และวนิดา วัฒนธรรม. (2560). การพัฒนาผลการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่อง การสืบพันธุ์ของสัตว์ในรายวิชาชีววิทยาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่4. เอกสารประกอบการประชุมเรื่อง การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ 2560, มีนาคม.

ภาษาอังกฤษ

De Pace,F. Manuri,F. and Sanna,A. (2018). [serial online]. “Augmented Reality in Industry 4.0.” Am J Compt Sci Inform Technol. Vol.6 No.1 : 17.

ภาคผนวก ก

ใบงานสำหรับประกอบการเรียนรู้



วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943 | **ใบงานที่ 1**

เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป | หน้าที่ 1/6

จุดประสงค์ของการทดลอง

1. สามารถเขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถหาค่าเวลาคงตัวจากผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง
3. สามารถเขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมแมทแลป

ทฤษฎีเบื้องต้น

การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อดูผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งและระบบลำดับสอง ได้ทั้งในโหมดของ Command Window และ Simulink ดังนี้

โหมดของ Command Window จะใช้คำสั่ง **step(sys)**

Simulink จะใช้การเขียนผ่านแผนภาพบล็อก โดยระบบลำดับหนึ่ง จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$F(s) = \frac{k_s}{T_1 s + 1} = \frac{1.2}{0.1s + 1}$$

สามารถดูผลตอบสนองด้วยการคลิ๊กที่ Scope จะปรากฏดังนี้

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

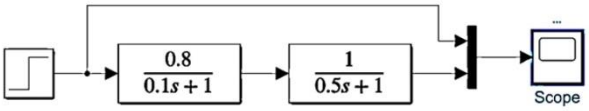
ภาพที่ ก-1 ใบงานสำหรับประกอบการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป

จากภาพที่ ก-1 เป็นใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป ให้ผู้เรียนสามารถจำลองระบบลำดับหนึ่ง และระบบลำดับสองโดยใช้โปรแกรมแมทแลป เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบและบันทึกการทดลอง

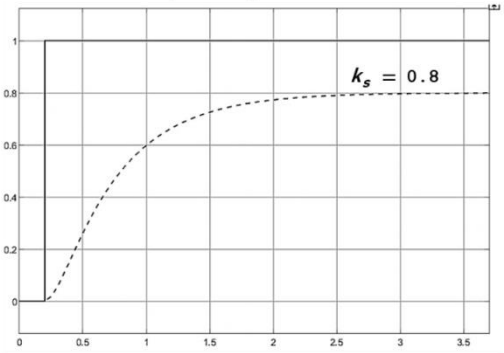
วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 1**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 2/6

รูปแบบของระบบลำดับสอง

$$F(s) = \frac{k_s}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} = \frac{0.8}{(0.1s + 1)(0.5s + 1)}$$ สามารถเขียนได้ดังนี้



สามารถดูผลตอบสนองด้วยการคลิ๊กที่ Scope จะปรากฏดังนี้



ลำดับขั้นการทดลอง

กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s + 1}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window ได้ดังนี้

1.สร้างตัวแปร

num=.....

den=.....

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-1 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 1**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 3/6

2.เขียนเป็นฟังก์ชันบนโปรแกรมแมทแลป

```
sys=tf(num,den)
```

3.รันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

.....

.....

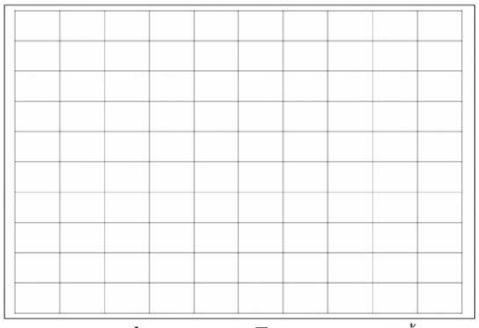
.....

.....

4.ดูผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นด้วยการใช้คำสั่ง

```
step(sys)
```

5.ผลจากการรันโปรแกรมให้ นักศึกษาวาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นดังนี้



6.หาค่าของอัตราการขยายของระบบ k_s และเวลาคงตัว T_1 จากผลตอบสนองดังนี้

k_s =

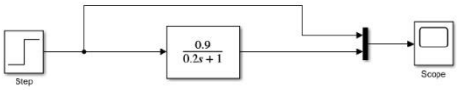
T_1 = วินาที

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

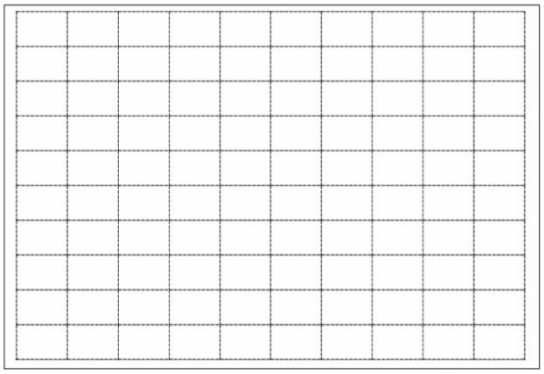
ภาพที่ ก-1 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 1**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 4/6

7.จาก $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink ได้ดังนี้



8.ผลจากการรันโปรแกรมให้นักศึกษาวาดผลตอบสนองต่อสัญญาขั้นดังนี้



9.หาค่าของอัตราการขยายของระบบ k_s และเวลาคงตัว T_1 จากผลตอบสนองดังนี้

k_s =

T_1 = วินาที

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-1 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 1**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 5/6

กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10.ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{0.9}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window ดังนี้

11.สร้างตัวแปร

num=.....

den=.....

12.เขียนเป็นฟังก์ชันบนโปรแกรมแมทแลป

sys=tf(num, den)

13.รันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

.....

.....

14.ดูผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นด้วยการใช้คำสั่ง

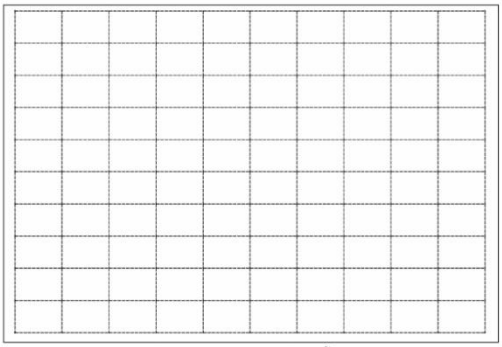
step(sys)

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-1 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 1**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 6/6

15.ผลจากการรันโปรแกรมให้นักศึกษาวาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นดังนี้



16.หาค่าของอัตราการขยายของระบบ k_s จากผลตอบสนองได้ดังนี้

k_s=.....

17. กำหนดให้ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-1 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943 | **ใบงานที่ 2**

เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์ | หน้าที่ 1/11

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

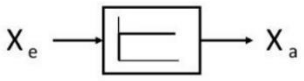
1. สามารถต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรตได้อย่างถูกต้อง
3. สามารถวัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบอร์ด P และบอร์ด I

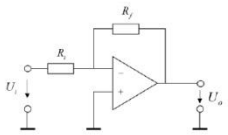
1.	ไอซีออปแอมป์ 741	1 ตัว
2.	ตัวต้านทาน	2 ตัว
3.	ตัวเก็บประจุ	1 ตัว
4.	ตัวต้านทานปรับค่าได้	1 ตัว
5.	ออสซิลโลสโคป 2 ช่องพร้อมสายโพรบ	1 ชุด
6.	แหล่งจ่ายไฟ ± 12 โวลต์	1 ตัว

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรสัดส่วนมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $F(s)_p = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$ มีแผนภาพบล็อก ดังนี้



สามารถใช้ออปแอมป์จำลองเป็นวงจรสัดส่วนได้ดังนี้



เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้สมการดังนี้

$$F(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \left[\frac{R_2}{R_1+R_2}\right] \quad \text{และ} \quad F(s) = k_p$$

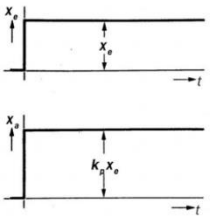
ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

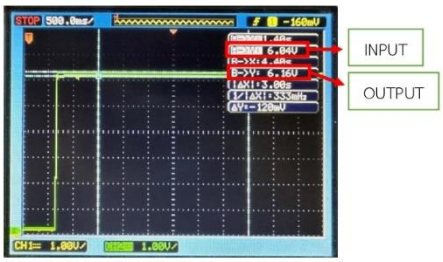
ภาพที่ ก-2 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์

จากภาพที่ ก-2 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์ เป็นการทดลองผลตอบสนองของการต่อวงจรพี วงจรไอ วงจรลำดับหนึ่ง และวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน โดยช่วงต้นจะเป็นการทดลองวงจรพี และวงจรไอ พร้อมทั้งหาค่าเวลาจากผลตอบสนองของวงจรไอ

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 2/11

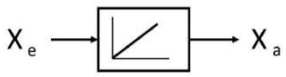
ดังนั้น $k_p = \frac{R_2}{R_1+R_2}$





ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของวงจรสัดส่วน

วงจรอินทิเกรตมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $F(s)_I = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = \frac{1}{sT_i}$ มีแผนภาพบล็อก ดังนี้

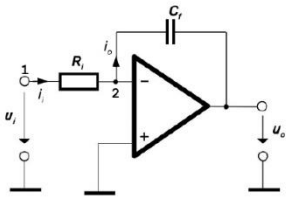


ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

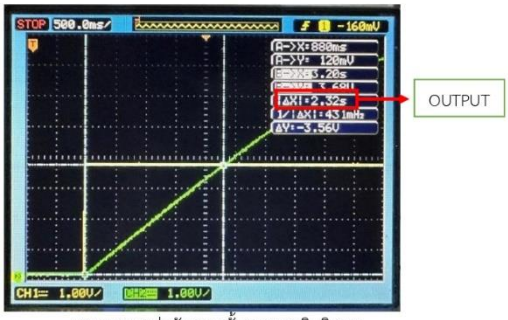
ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 3/11

สามารถใช้ออปแอมป์จำลองเป็นวงจรอินทิเกรตได้ดังนี้



โดยที่เวลาคงตัวในการบูรณาการ $T_i = R_i C_f$



ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของวงจรอินทิเกรต

จากภาพผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของวงจรอินทิเกรต

ใช้ $R = 10k\Omega$ และ $C = 220uF$ แทนลงสมการ $T_i = R_i C_f$

$T_i = 10 \times 10^3 \times 220 \times 10^{-6}$

$T_i = 2.2s$

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

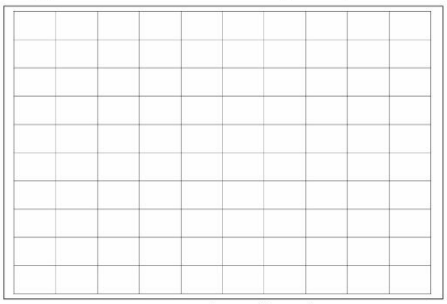
วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 4/11

ลำดับขั้นตอนการทดลอง ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 2 คน ร่วมมือกันทดลองตามการทดลองต่อไปนี้

กำหนดให้ $F(s) = \frac{1}{s}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด โดยให้ U_i =10 V

1.ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ U_o และ U_i โดยจะต้องกดปุ่ม Invert สัญญาณของ U_o

2.วาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยเปรียบเทียบกันระหว่าง U_o และ U_i



หาค่าเวลาของระบบเวลาคงตัว T จากผลตอบสนองที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

$T =$ ..... วินาที

3.สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 4/11

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

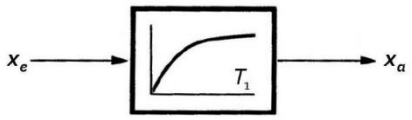
4. สามารถต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง
5. สามารถวัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง
6. สามารถต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบอร์ด PT1

1. ไอซีออปแอมป์ 741	3 ตัว
2. ตัวต้านทาน	6 ตัว
3. ตัวต้านทานปรับค่าได้	2 ตัว
4. คาปาซิเตอร์แบบมีขั้ว (อิเล็กโตรไลต์)	1 ตัว
5. สวิตช์คันโยก 2 ทาง	2 ตัว
6. ออสซิลโลสโคป 2 ช่องพร้อมสายโพรบ	1 ตัว
7. เทอร์มินอล 2 ช่อง	2 ตัว
8. ขารองบอร์ด	4 ชิ้น
9. ตาไก่สำหรับวัดสัญญาณ	4 ตัว
10. แหล่งจ่ายไฟ ± 12 โวลต์	1 ตัว

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรลำดับหนึ่ง PT_1 มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $F(s) = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = \frac{K_s}{T_1 s+1}$ มีแผนภาพบล็อกดังนี้



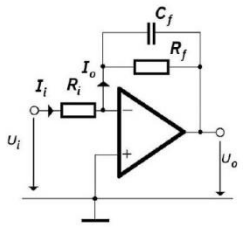
สามารถใช้ออปแอมป์จำลองเป็นระบบลำดับหนึ่ง PT_1 ดังนี้

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

ภาพที่ ก-2 ถัดมาเป็นการทดลองผลตอบสนองโดยใช้อปปแอมป์ของวงจรลำดับหนึ่ง และวงจรลำดับสองแบบหน่วงเกิน มีการหาค่าเวลาคงตัวของผลตอบสนอง รวมถึงตัวอย่างการคำนวณค่าเวลาคงตัว ให้ผู้เรียนได้ศึกษา

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 5/11



เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$F_{PT_1}(s) = -\frac{R_f}{R_i} \cdot \frac{1}{R_f C_f + 1}$$

โดยที่ $k_s = \frac{R_f}{R_i}$, $T_1 = R_f C_f$

จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า $U_{T_1} = 0.63 \cdot k_s U_i$

ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของวงจรลำดับหนึ่ง

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 6/11

วงจรระบบลำดับสอง PT_2 ชนิดหน่วงเกิน มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

$y(s) = \frac{k_{p1}}{1+T_1 s} x_e(s)$ และ $x_a(s) = \frac{k_{p2}}{1+T_2 s} y(s)$ ที่เรียงกัน ดังนั้นเขียนเป็นความสัมพันธ์

ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตได้คือ $x_a(s) = \frac{k_{p2}}{1+T_2 s} \frac{k_{p1}}{1+T_1 s} x_e(s)$

เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนคือ $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p2}}{1+T_2 s} \frac{k_{p1}}{1+T_1 s}$

หรือ $$F_{PT_2}(s) = \frac{k_s}{1+(T_1+T_2)s+T_1 T_2 s^2}$$

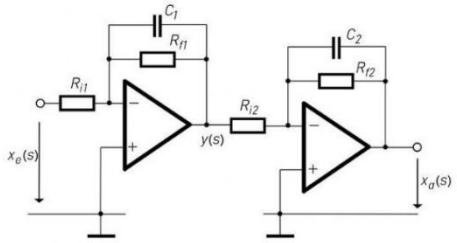
ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นของวงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 7/11

สามารถใช้ออปแอมป์จำลองเป็นระบบลำดับสองดังวงจรต่อไปนี้



โดยที่

$$F_1(s) = \frac{y(s)}{x_e(s)} = -k_{p1} \cdot \frac{1}{T_1 s + 1}$$

$$k_{p1} = \frac{R_{f1}}{R_{i1}} \text{ และ } T_1 = R_{f1}C_1$$

$$F_2(s) = \frac{x_a(s)}{y(s)} = -k_{p2} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1}$$

$$k_{p2} = \frac{R_{f2}}{R_{i2}} \text{ และ } T_2 = R_{f2}C_2$$

$$F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s + 1)\ (T_2 s + 1)}$$

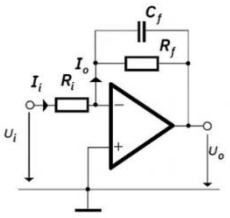
ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 8/11

ลำดับขั้นตอนการทดลอง ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 2 คน ร่วมมือกันทดลองตามการทดลองต่อไปนี้

กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{0.2s+1}$ สามารถออกแบบวงจรออปแอมป์ได้ดังนี้



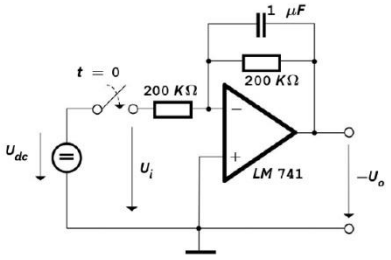
1.เลือกตัวเก็บประจุ

$C_f = 1\mu F$

เนื่องจากเวลาคงตัว $T_1 = 0.2$ วินาที ดังนั้น $R_f = \frac{T_1}{C_f} = 200\ K\Omega$

ค่าอัตราการขยาย $k_s = 1$ ดังนั้น $R_i = \frac{R_f}{k_s} = 200K\Omega$

2.ต่อวงจรตามภาพ โดยให้ $U_{dc} = 10\ V$



ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

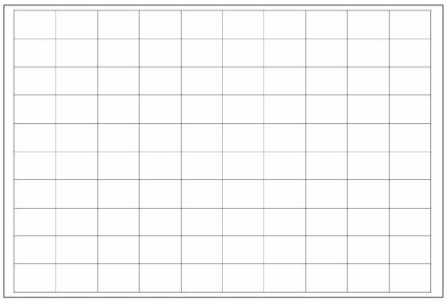
ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 9/11

3.ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ U_o และ U_i โดยจะต้องกดปุ่ม Invert สัญญาณของ U_o

4.ปิด (Close) สวิตช์ พร้อมทั้งดูสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

5.วาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยเปรียบเทียบกันระหว่าง U_o และ U_i



6.หาค่าของอัตราการขยายของระบบ k_s และเวลาคงตัว T_1 จากผลตอบสนองที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

k_s=.....

T_1=.....วินาที

7.สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

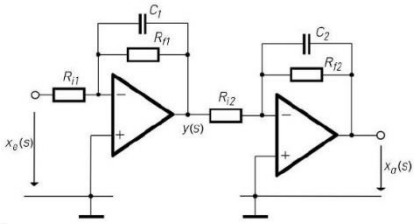
ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 10/11

กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s) = \frac{1}{(0.1s+1)\,(0.22s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ ดังนี้

8.เทียบกับสมการมาตรฐาน (Standard Form) $F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s+1)\,(T_2 s+1)}$ ออกแบบวงจรออปแอมป์แบบหน่วงเกิน ได้ดังนี้



9.เลือกออกแบบตัวเก็บประจุ

เลือกตัวเก็บประจุ

$C_1 = 10\ \mu F\ ,\ C_2 = 22\ \mu F$

เนื่องจากเวลาคงตัว $T_1 = 0.1$ วินาที ดังนั้น $R_{f1} = \frac{T_1}{C_1} = 10\ K\Omega$

ค่าอัตราการขยาย $k_{p_1} = k_{p_2} = 1$ ดังนั้น $R_{i1} = \frac{R_{f1}}{k_s} = 10\ K\Omega$

เวลาคงตัว $T_2 = 0.22$ วินาที ดังนั้น $R_{f2} = \frac{T_2}{C_2} = 10\ K\Omega$

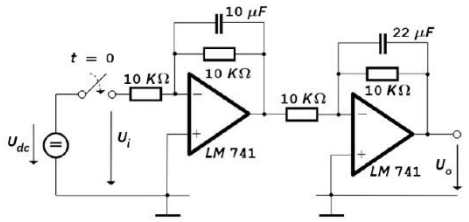
ดังนั้น $R_{i2} = \frac{R_{f2}}{k_s} = 10\ K\Omega$

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 2**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 11/11

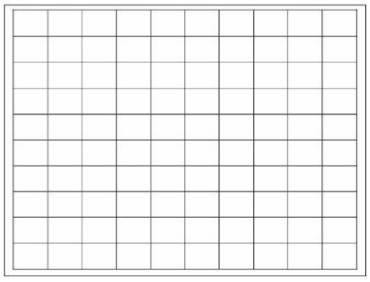
10.ต่อวงจรของระบบลำดับสองตามค่าที่ออกแบบไว้ดังนี้



11.ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ U_o และ U_i

12.ปิด (Close) สวิตช์ พร้อมทั้งดูสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

13.วาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยเปรียบเทียบกันระหว่าง U_o และ U_i



14.สรุปผลการทดลอง

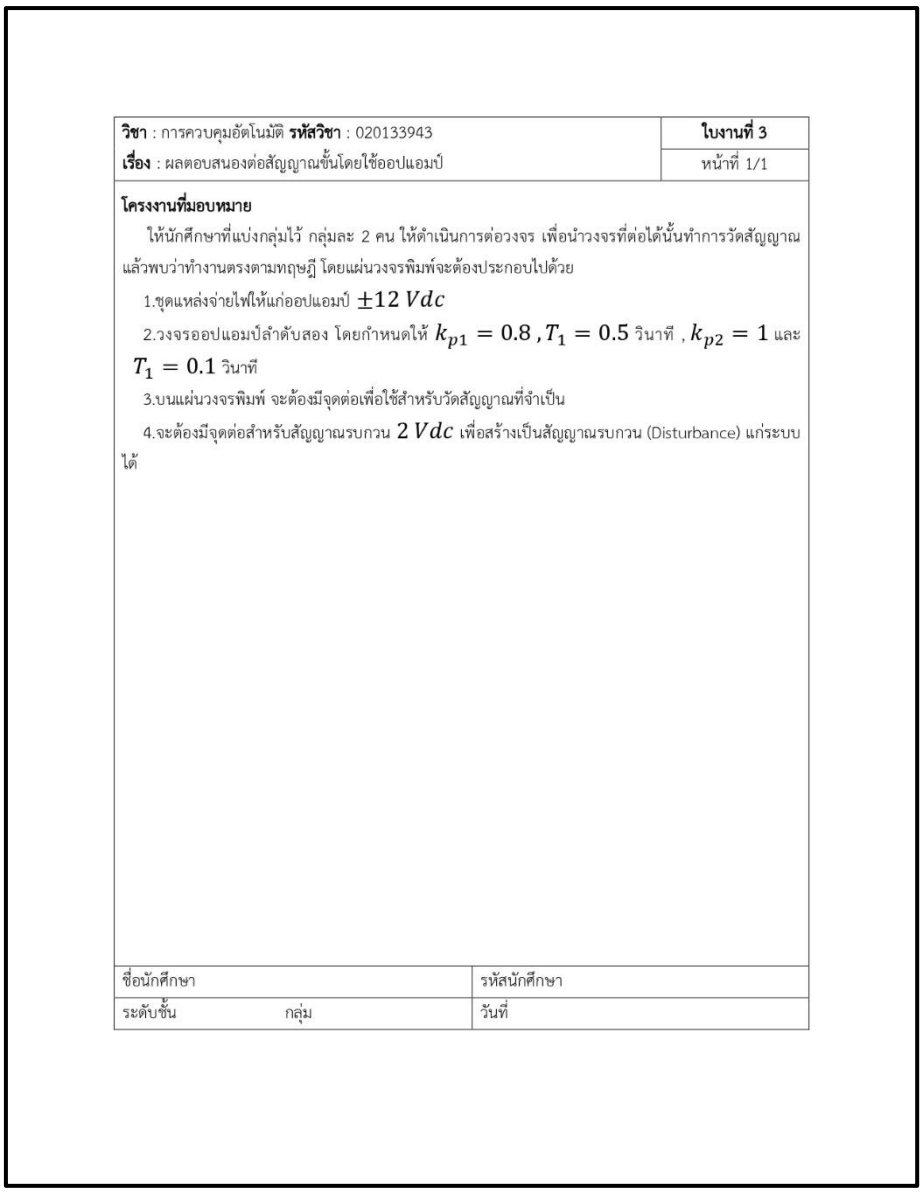
.....

.....

.....

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-2 (ต่อ)



วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 3**
เรื่อง : ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 1/1

โครงงานที่มอบหมาย

ให้นักศึกษาที่แบ่งกลุ่มไว้ กลุ่มละ 2 คน ให้ดำเนินการต่อวงจร เพื่อนำวงจรที่ต่อได้นั้นทำการวัดสัญญาณ แล้วพบว่าทำงานตรงตามทฤษฎี โดยแผ่นวงจรพิมพ์จะต้องประกอบไปด้วย

1.ชุดแหล่งจ่ายไฟให้แก่ออปแอมป์ $\pm 12\ Vdc$

2.วงจรออปแอมป์ลำดับสอง โดยกำหนดให้ $k_{p1} = 0.8$, $T_1 = 0.5$ วินาที , $k_{p2} = 1$ และ $T_1 = 0.1$ วินาที

3.บนแผ่นวงจรพิมพ์ จะต้องมีจุดต่อเพื่อใช้สำหรับวัดสัญญาณที่จำเป็น

4.จะต้องมีจุดต่อสำหรับสัญญาณรบกวน $2\ Vdc$ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณรบกวน (Disturbance) แก่ระบบได้

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-3 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยใช้ออปแอมป์

จากภาพที่ ก-3 เป็นใบงานโดยให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบตามเงื่อนไขให้ถูกต้อง และกำหนดค่าเวลาคงตัวสำหรับวงจรลำดับสองหน่วงเกิน เพื่อให้ผู้เรียนทำตามแบบทดสอบ และต้องใส่สัญญาณรบกวนให้ระบบ

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 4**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 1/6

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. สามารถใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบลำดับสองได้อย่างถูกต้อง

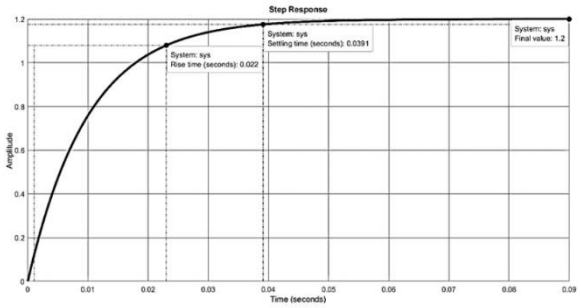
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมแมทแลป

ทฤษฎีเบื้องต้น

การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อดูผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งและระบบลำดับสอง ได้ทั้งในโหมดของ Command Window และ Simulink ดังนี้

โหมดของ Command Window จะใช้คำสั่ง step(sys) เมื่อคลิกขวาที่กราฟผลตอบสนองก็จะ สามารถดูค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาได้



ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-4 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป

จากภาพที่ ก-4 เป็นใบงานที่ 4 ของการเรียนรู้ โดยจะให้ผู้เรียนใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาระบบลำดับหนึ่ง และระบบลำดับสอง

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 4**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 2/6

ลำดับขั้นการทดลอง

กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window ได้ดังนี้

1.สร้างตัวแปร

num=.....

den=.....

2.เขียนเป็นฟังก์ชันบนโปรแกรมแมทแลบ

sys=tf(num,den)

3.รันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

.....

.....

.....

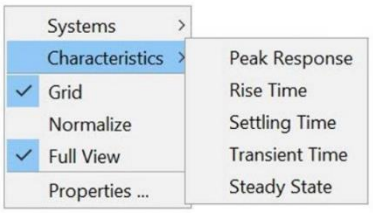
.....

.....

4.ดูผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นด้วยการใช้คำสั่ง

step(sys)

5.คลิ๊กขวาบนรูปกราฟ จะปรากฏเมนูของผลตอบสนองเชิงเวลาที่ต้องการให้แสดงบนหน้าจอ

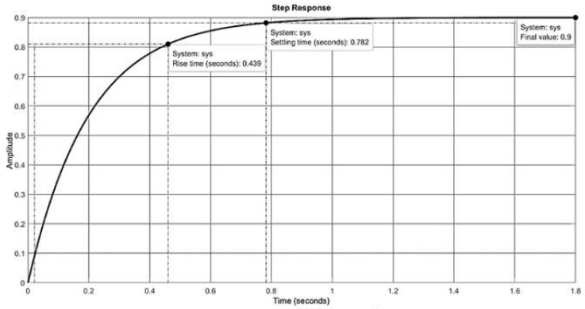


ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-4 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 4**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 3/6

6.เมื่อเลือกค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาตามที่ต้องการได้แล้ว จะปรากฏค่าของพารามิเตอร์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ทันที



7.ผลจากการเลือกค่าพารามิเตอร์ของระบบลำดับหนึ่ง PT_1 มีค่าดังนี้

T_r=.....วินาที

T_s=.....วินาที

k_s=.....

กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)\,(0.6s+1)}$ นำมาเขียนเป็นโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window ได้ดังนี้

8.สร้างตัวแปร

num=.....

den=conv([0.25 1],[0.6 1]);

9.เขียนเป็นฟังก์ชันบนโปรแกรมแมทแลบ

sys=.....

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-4 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 4**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 4/6

10.รันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

.....

.....

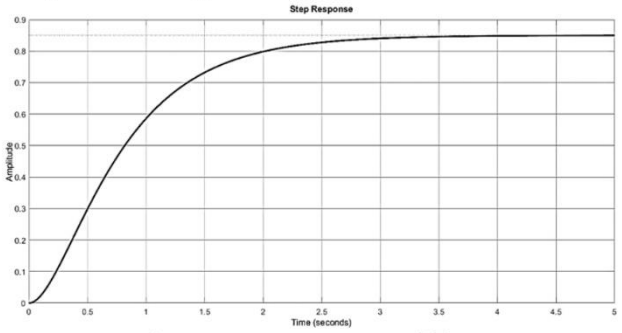
.....

.....

11.ดูผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นด้วยการใช้คำสั่ง

step(sys)

12.จะปรากฏเป็นผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้น ที่มีพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลา ดังนี้



13.จากกราฟ มีค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบลำดับสอง PT_2 ชนิดหน่วงเกินหา ค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมแมทแลปได้ดังนี้

T_r=.....วินาที

T_s=.....วินาที

k_s=.....

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-4 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 4**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 5/6

10.รันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

.....

.....

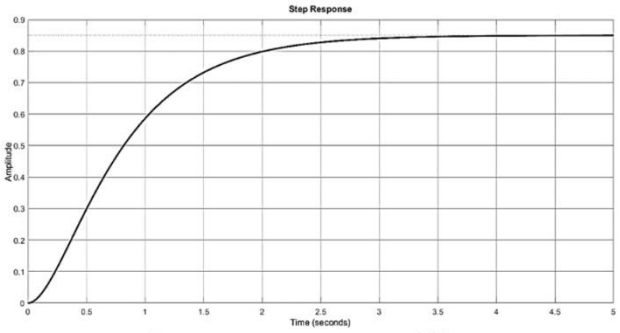
.....

.....

11.ดูผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นด้วยการใช้คำสั่ง

step(sys)

12.จะปรากฏเป็นผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้น ที่มีพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลา ดังนี้



13.จากกราฟ มีค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบลำดับสอง PT_2 ชนิดหน่วงเกิน หาค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมแมทแลปได้ดังนี้

T_r=.....วินาที

T_s=.....วินาที

k_s=.....

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-4 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 4**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลป	หน้าที่ 6/6

กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{1}{s^2+3s+9}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบลำดับสองดังนี้

14.สร้างตัวแปร

num=.....

den=.....

15.เขียนเป็นฟังก์ชันบนโปรแกรมแมทแลป

sys=tf(num,den)

16.ดูผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นด้วยการใช้คำสั่ง

step(sys)

17.ปรากฏเป็นผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้น ที่มีพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาจากการดูพารามิเตอร์ของกราฟระบบลำดับสอง PT_2 ขนิดหน่วงขาด จากโปรแกรมแมทแลบ ดังนี้

T_r=.....วินาที

T_s=.....วินาที

k_s=.....

$\%OS$=.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

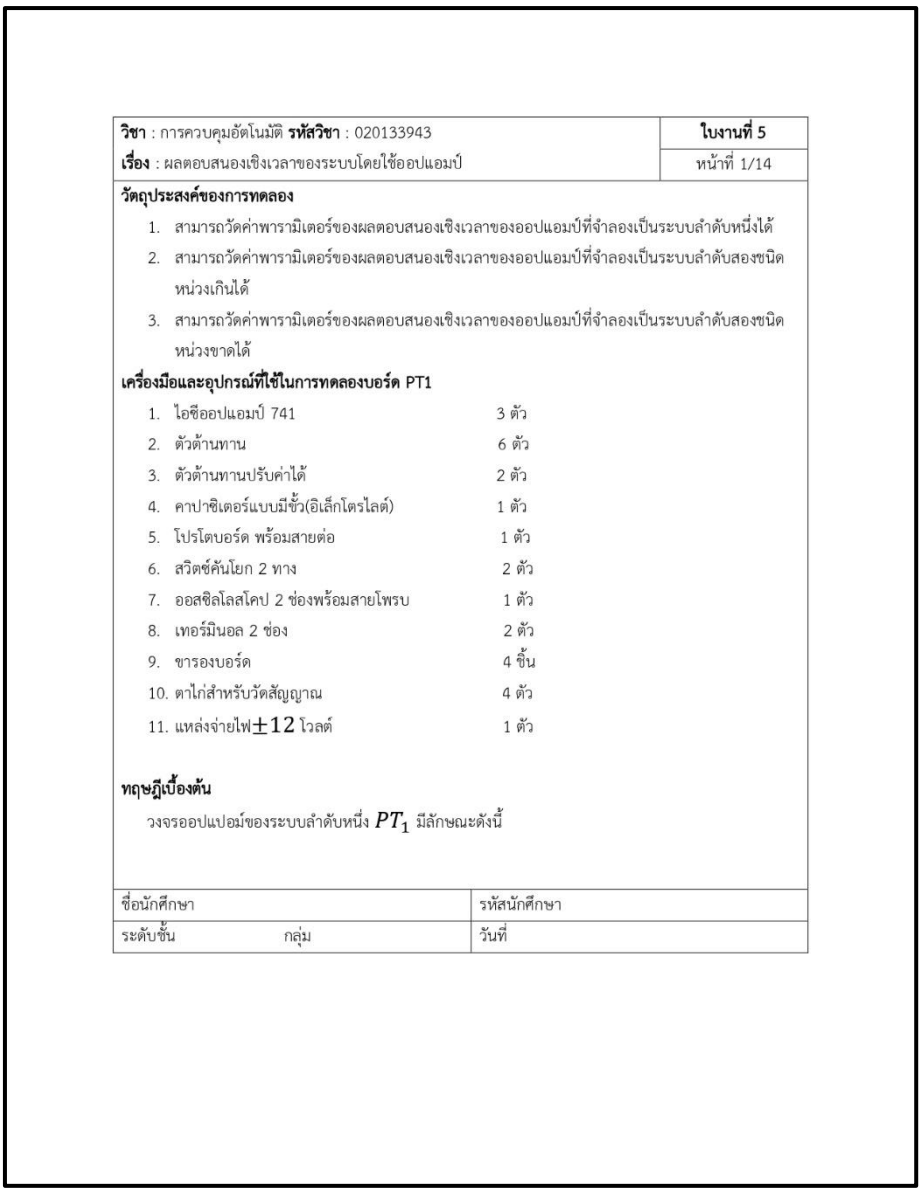
.....

.....

.....

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-4 (ต่อ)



วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943 | **ใบงานที่ 5**

เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์ | หน้าที่ 1/14

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาของออปแอมป์ที่จำลองเป็นระบบลำดับหนึ่งได้
2. สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาของออปแอมป์ที่จำลองเป็นระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้
3. สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาของออปแอมป์ที่จำลองเป็นระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบอร์ด PT1

1.	ไอซีออปแอมป์ 741	3 ตัว
2.	ตัวต้านทาน	6 ตัว
3.	ตัวต้านทานปรับค่าได้	2 ตัว
4.	คาปาซิเตอร์แบบมีขั้ว(อิเล็กโตรไลต์)	1 ตัว
5.	โปรโตบอร์ด พร้อมสายต่อ	1 ตัว
6.	สวิตช์คันโยก 2 ทาง	2 ตัว
7.	ออสซิลโลสโคป 2 ช่องพร้อมสายโพรบ	1 ตัว
8.	เทอร์มินอล 2 ช่อง	2 ตัว
9.	ขารองบอร์ด	4 ชิ้น
10.	ตาไก่สำหรับวัดสัญญาณ	4 ตัว
11.	แหล่งจ่ายไฟ ± 12 โวลต์	1 ตัว

ทฤษฎีเบื้องต้น

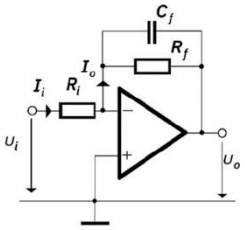
วงจรออปแอมป์ของระบบลำดับหนึ่ง PT_1 มีลักษณะดังนี้

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์

จากภาพที่ ก-5 เป็นใบงานที่ 5 ของการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบลำดับหนึ่ง ระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกิน และระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาด โดยมีทฤษฎีเบื้องต้นในใบงาน และสามารถศึกษาได้จากการใบเนื้อหา ให้ผู้เรียนทดลองหาค่าเวลาคงตัวของวงจรลำดับหนึ่ง วงจรลำดับสองชนิดหน่วงเกิน และวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาด

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 2/14



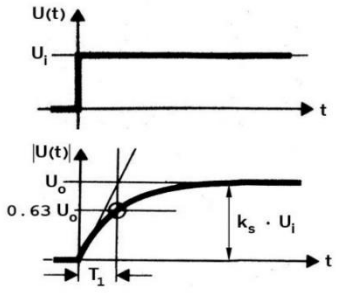
เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน

$$F_{PT_1}(s) = -\frac{R_f}{R_i} \cdot \frac{1}{\left(R_f C_f + 1\right)} = -k_s \cdot \frac{1}{(T_1 s + 1)}$$

โดยที่ $k_s = \frac{R_f}{R_i}$, $T_1 = R_f C_f$

จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า

$U_{T_1} = 0.63 \cdot k_s U_i$



ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

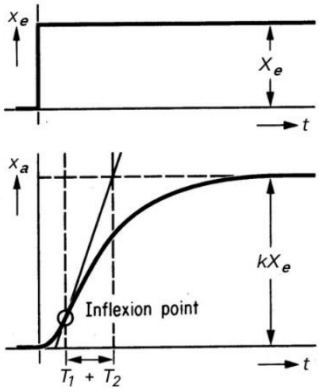
วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 3/14

วงจรระบบลำดับสอง PT_2 ชนิดหน่วงเกิน มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

$$\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = F_2(s) = \frac{k_{p2}}{1 + T_2 s} \frac{k_{p1}}{1 + T_1 s}$$

หรือ $F_2(s) = \frac{k_s}{1+(T_1+T_2)s+T_1T_2s^2}$

มีผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นดังนี้



ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

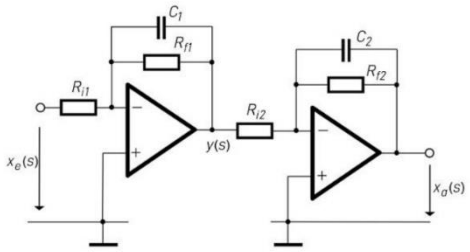
ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 4/14

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรบอร์ด PT2 Overdamp

1. ไอซีออปแอมป์ 741 3 ตัว
2. ตัวต้านทาน 7 ตัว
3. คาปาซิเตอร์แบบมีขั้ว(อิเล็กโตรไลต์) 2 ตัว
4. โปรโตบอร์ด พร้อมสายต่อ 1 ตัว
5. สวิตช์คันโยก 1 ตัว
6. สายโพรบ 1 ตัว
7. เทอร์มินอล 2 ช่อง 4 ตัว
8. ตาไก่สำหรับวัดสัญญาณ 4 ตัว
9. แหล่งจ่ายไฟ ± 12 โวลต์ 1 ตัว

สามารถใช้ออปแอมป์จำลองเป็นระบบลำดับสองดังวงจรต่อไปนี้



โดยที่ $k_{p1} = \dfrac{R_{f1}}{R_{i1}}$ และ $T_1 = R_{f1}C_1$

$k_{p2} = \dfrac{R_{f2}}{R_{i2}}$ และ $T_2 = R_{f2}C_2$

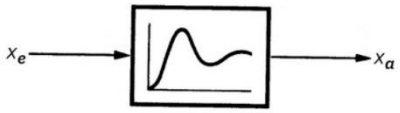
$$F_2(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s + 1)\,(T_2 s + 1)}$$

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 5/14

วงจรระบบลำดับสอง PT_2 ชนิดหน่วงขาด มีแผนภาพบล็อกดังนี้



มีฟังก์ชันถ่ายโอนในรูปแบบมาตรฐาน (standard form) ดังนี้

$$F_2(s) = k_s \frac{1}{\frac{1}{\omega_n^2} s^2 + \frac{2D}{\omega_n} s + 1}$$

หรือ $$F_2(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2D\omega_n s + \omega_n^2}$$

สมการลักษณะเฉพาะ (characteristic equation) มีค่าดังนี้

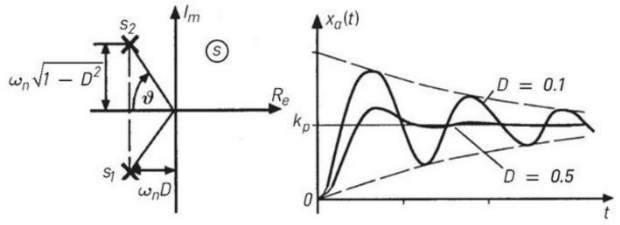
$$s^2 + 2D\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

ค่ารากบนระนาบ s และผลตอบสนองของระบบ PT_2 แบบหน่วงขาดมีลักษณะดังนี้

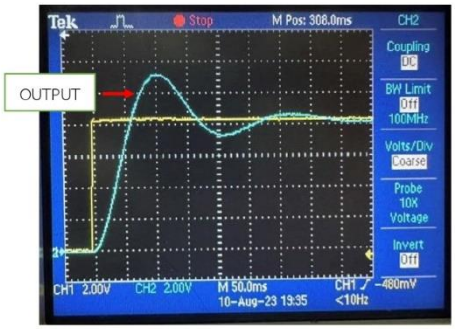
ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 6/14



มีผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นดังนี้



ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

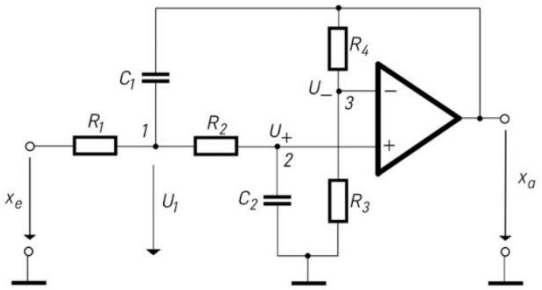
ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 7/14

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรบอร์ด PT2 Underdamp

1. ไอซีออปแอมป์ 741 3 ตัว
2. ตัวต้านทาน 100 ohm, 10K ohm 1/2W 7 ตัว
3. ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเกือกม้า 10k, 50k 7 ตัว
4. คาปาซิเตอร์แบบมีขั้ว(อิเล็กโตรไลต์) 2 ตัว
5. โปรโตบอร์ด พร้อมสายต่อ 1 ตัว
6. สวิตช์คันโยก 1 ตัว
7. สายโพรบ 1 ตัว
8. เทอร์มินอล 2 ช่อง 3 ตัว
9. ตาไก่สำหรับวัดสัญญาณ 4 ตัว
10. แหล่งจ่ายไฟ ± 12 โวลต์ 1 ตัว

สามารถใช้ออปแอมป์จำลองเป็นระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาด ดังวงจรต่อไปนี้



ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 8/14

กำหนดให้ $K = \frac{R_3+R_4}{R_3}$

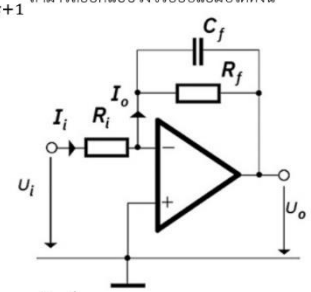
วงจรออปแอมป์ที่จำลองเป็นระบบลำดับสอง ชนิดหน่วงขาด มีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$F_2(s) = \frac{K}{[R_1R_2C_1C_2]\,s^2 + [(R_1 + R_2)C_2 + (1 - K)R_1C_1]\,s + 1}$$

ลำดับขั้นการทดลอง

ให้นักศึกษาแต่ละกลุ่ม ทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองเชิงเวลาตามการทดลองต่อไปนี้

กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{0.5s+1}$ สามารถออกแบบวงจรออปแอมป์ได้ดังนี้



1.เลือกตัวเก็บประจุและตัวตานทาน โดยที่

$K_s = 1$ และ $T_1 = 0.5$ วินาที

C_f =.....

R_f =.....

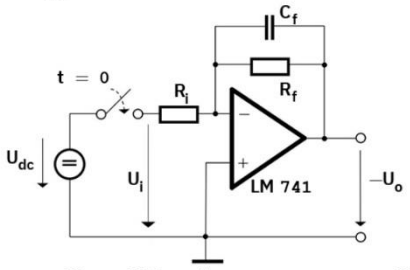
R_i =.....

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 9/14

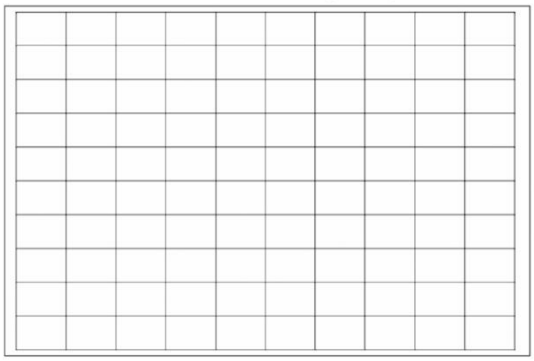
2.ต่อวงจรตามภาพ โดยให้ $U_{dc} = 10\ V$



3.ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ U_o และ U_i โดยจะต้องกดปุ่ม Invert สัญญาณของ U_o

4.ปิด (Close) สวิตช์ พร้อมทั้งดูสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

5.วาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยเปรียบเทียบกันระหว่าง U_o และ U_i



ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 10/14

6.หาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบจากผลตอบสนองที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

T_r =.....วินาที

T_s =.....วินาที

ค่าสุดท้าย (final value) =.....

7.สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

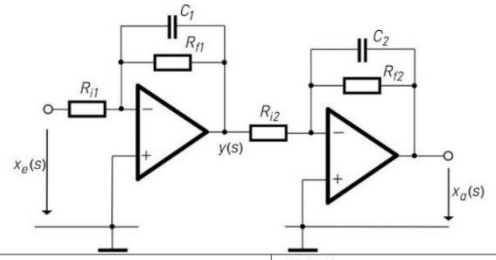
.....

.....

กำหนดให้ระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกิน $F_2(s) = \frac{1}{(0.47s+1)\,(0.68s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ ดังนี้

8.เทียบกับสมการมาตรฐาน (Standard Form) $F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s+1)\,(T_2 s+1)}$

ออกแบบวงจรออปแอมป์แบบหน่วงเกิน ได้ดังนี้



ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 11/14

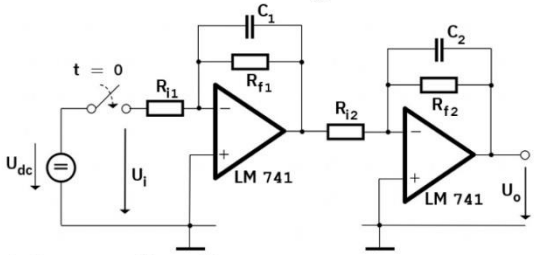
9.เลือกออกแบบตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน

$C_1 =$..... $C_2 =$.....

$R_{f1} =$..... $R_{i1} =$.....

$R_{f1} =$..... $R_{i2} =$.....

10.ต่อวงจรของระบบลำดับสองตามค่าที่ออกแบบไว้ โดยให้ $U_{dc} = 10\ V$ ดังนี้



11.ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ U_o และ U_i

12.ปิด (Close) สวิตช์ พร้อมทั้งดูสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

13.วาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยเปรียบเทียบกันระหว่าง U_o และ U_i

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 12/14

14.หาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบจากผลตอบสนองที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

T_r=.....วินาที

T_s=.....วินาที

ค่าสุดท้าย =.....

15.สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

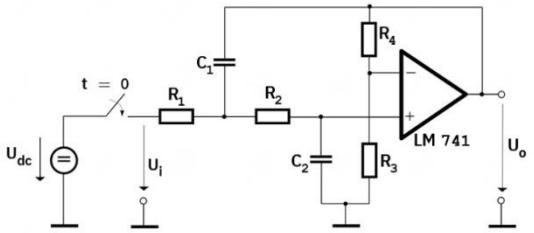
.....

.....

.....

กำหนดให้ระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาด สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ ดังนี้

16.ต่อวงจรออปแอมป์เพื่อจำลองเป็นระบบลำดับสอง ชนิดหน่วงขาด ดังนี้



17.เลือกตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน โดยกำหนดให้

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\ K\Omega$

$C_1 = C_2 = 0.1\ \mu F$

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 13/14

18.เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$F_2(s) =$.....

19.จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้ ใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลา

T_r=.....วินาที

T_s=.....วินาที

T_p=.....วินาที $\%OS$=.....วินาที

ค่าสุดท้าย=.....

20.กำหนดให้ $U_{dc} = 5\ V$ ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ U_o และ U_i

21.ปิด (Close) สวิตช์ พร้อมทั้งดูสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

22.วาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยเปรียบเทียบกันระหว่าง U_o และ U_i

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 5**
เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์	หน้าที่ 14/14

23.หาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบจากผลตอบสนองที่ได้จากกราฟขั้นตอนที่ 21

T_r=.....วินาที

T_s=.....วินาที

T_p=.....วินาที $\%OS$=.....วินาที

ค่าสุดท้าย=.....

24.สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

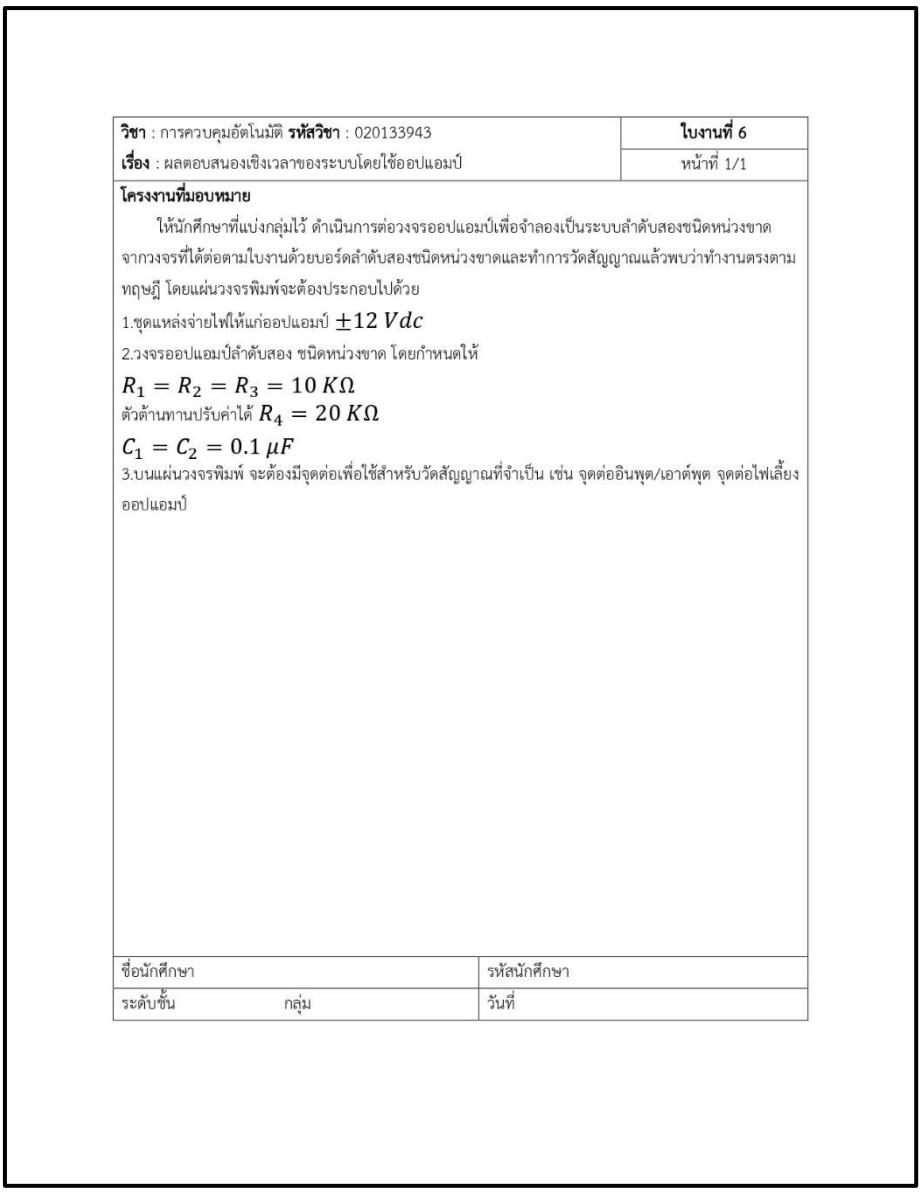
.....

.....

.....

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)



วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943 | **ใบงานที่ 6**

เรื่อง : ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์ | หน้าที่ 1/1

โครงงานที่มอบหมาย

ให้นักศึกษาที่แบ่งกลุ่มไว้ ดำเนินการต่อวงจรออปแอมป์เพื่อจำลองเป็นระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาด จากวงจรที่ได้ต่อตามใบงานด้วยบอร์ดลำดับสองชนิดหน่วงขาดและทำการวัดสัญญาณแล้วพบว่าทำงานตรงตามทฤษฎี โดยแผ่นวงจรพิมพ์จะต้องประกอบไปด้วย

1.ชุดแหล่งจ่ายไฟให้แก่ออปแอมป์ $\pm 12\ Vdc$

2.วงจรออปแอมป์ลำดับสอง ชนิดหน่วงขาด โดยกำหนดให้

$R_1 = R_2 = R_3 = 10\ K\Omega$

ตัวต้านทานปรับค่าได้ $R_4 = 20\ K\Omega$

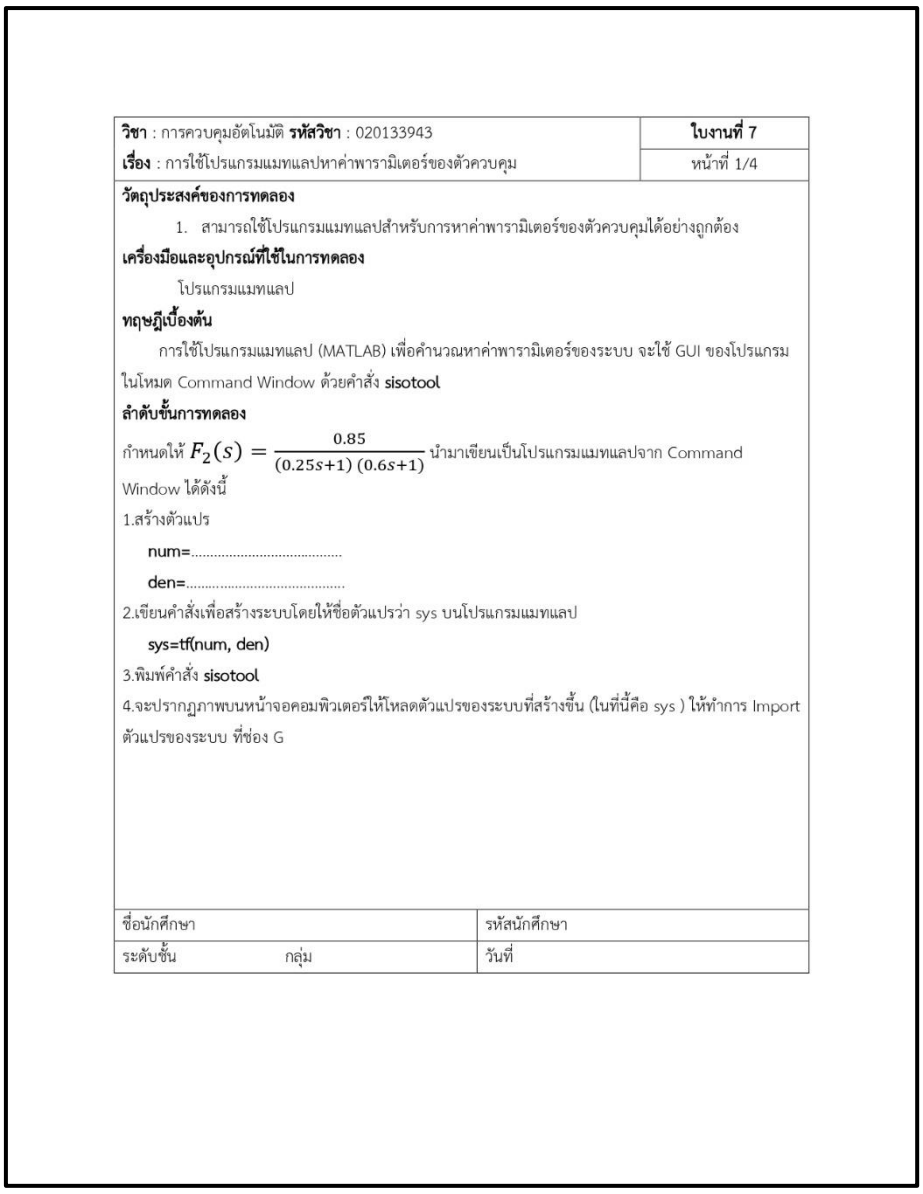
$C_1 = C_2 = 0.1\ \mu F$

3.บนแผ่นวงจรพิมพ์ จะต้องมีจุดต่อเพื่อใช้สำหรับวัดสัญญาณที่จำเป็น เช่น จุดต่ออินพุต/เอาต์พุต จุดต่อไฟเลี้ยงออปแอมป์

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-6 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์

จากภาพที่ ก-6 เป็นใบงานที่ 6 เรื่อง ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบโดยใช้ออปแอมป์ โดยให้ผู้เรียนทดลองวงจรลำดับสองชนิดหน่วงขาดตามเงื่อนไข และกำหนดค่าตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุสำหรับการทดลอง



วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 7**
เรื่อง : การใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม	หน้าที่ 1/4

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. สามารถใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมแมทแลป

ทฤษฎีเบื้องต้น

การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง **sisotool**

ลำดับขั้นการทดลอง

กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)(0.6s+1)}$ นำมาเขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window ได้ดังนี้

1.สร้างตัวแปร

num=.....

den=.....

2.เขียนคำสั่งเพื่อสร้างระบบโดยให้ชื่อตัวแปรว่า sys บนโปรแกรมแมทแลป

sys=tf(num, den)

3.พิมพ์คำสั่ง **sisotool**

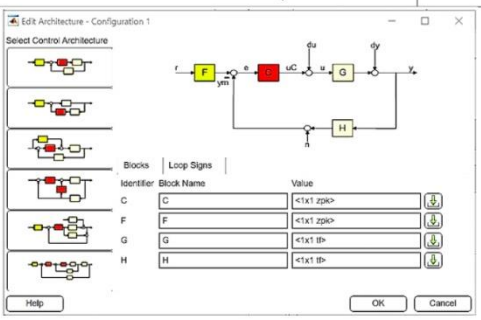
4.จะปรากฏภาพบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ให้โหลดตัวแปรของระบบที่สร้างขึ้น (ในที่นี้คือ sys) ให้ทำการ Import ตัวแปรของระบบ ที่ช่อง G

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-7 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง การใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

จากภาพที่ ก-7 เป็นใบงานที่ 7 สำหรับการเรียนรู้ โดยใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ภายในใบงานเป็นขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ และให้ผู้เรียนบันทึกค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมแมทแลป

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943 | **ใบงานที่ 7**
เรื่อง : การใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม | หน้าที่ 2/4

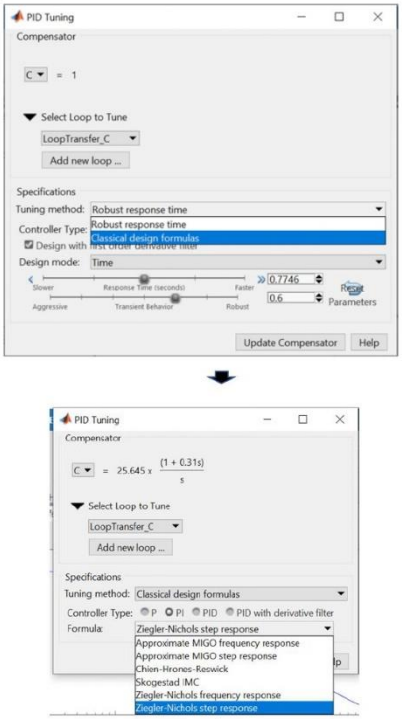


ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-7 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 7**
เรื่อง : การใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม	หน้าที่ 3/4

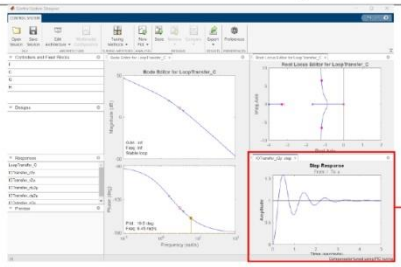
5.หลังจาก Import ระบบเข้าไปยังโปรแกรมแล้ว สามารถเลือกปรับตัวควบคุมโดยเลือกไปที่ PID Tuning ให้มีผลตอบสนองตามต้องการได้ทันที จากการ Update Compensator



ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-7 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 7**
เรื่อง : การใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม	หน้าที่ 4/4



ผลตอบสนองหลังจากใส่ตัวควบคุม PI-controller

6.หลังจาก Update Compensator แล้ว สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้คือ (ในที่นี้เลือกตัวควบคุมแบบ PI)

$$C = \frac{k_i}{s} + k_p$$

7.จากค่าพารามิเตอร์ที่อ่านได้ หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ดังนี้

k_i=..... $T_i = \frac{1}{k_i}$ =.....วินาที

k_p=.....

8.เลือกเป็นตัวควบคุมแบบ PID โดยวิธี Chien-Hrones-Reswick หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ดังนี้

k_i=..... $T_i = \frac{1}{k_i}$ =.....วินาที

k_p=.....

$k_d = T_d$=.....วินาที

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-7 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 8**
เรื่อง : การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	หน้าที่ 1/6

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1.สามารถต่อวงจรตัวควบคุมด้วยไอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้

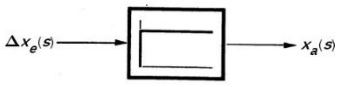
2.สามารถต่อวงจรตัวควบคุมด้วยไอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบอร์ด PT2

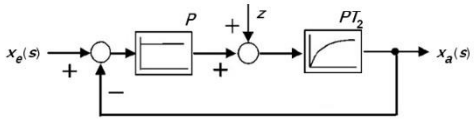
1.	ไอซีออปแอมป์ 741	4 ตัว
2.	ตัวต้านทาน	1 ชุด
3.	ตัวต้านทานปรับค่าได้	1 ชุด
4.	คาปาซิเตอร์แบบมีขั้ว(อิเล็กโตรไลต์)	1 ชุด
5.	โปรโตบอร์ด พร้อมสายต่อ	1 อัน
6.	สวิตช์ SPDT	1 ตัว
7.	ออสซิลโลสโคป2ช่องพร้อมสายโพรบ	1 ตัว
8.	แหล่งจ่ายไฟ± 12 โวลต์	1 ตัว

ทฤษฎีเบื้องต้น

ตัวควบคุมสามารถนำไปใช้กับระบบลูปปิดเพื่อควบคุมระบบให้มีผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นตามที่ต้องการได้ โดยที่นิยมใช้มี 3 ชนิดหลักคือ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมพีไอ และตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยมีแผนภาพบล็อกดังนี้



ภาพที่ 1 แผนภาพบล็อกของตัวควบคุมพี



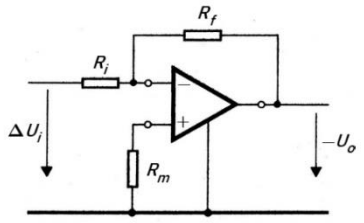
ภาพที่ 2 แผนภาพบล็อกการนำตัวควบคุมพีไปใช้ควบคุมระบบด้วยการป้อนกลับแบบลบ

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-8 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ

จากภาพที่ ก-8 เป็นใบงานที่ 8 ของการเรียนรู้ โดยให้ผู้เรียนทดลองวงจรพีไอดีสำหรับการควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกิน และระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาด ใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตามเงื่อนไข และบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่หาได้ลงใบงานที่ 8

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 8**
เรื่อง : การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	หน้าที่ 2/6

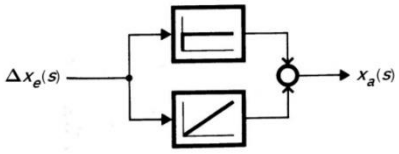


ภาพที่ 3 วงจรออปแอมป์ของตัวควบคุมพี

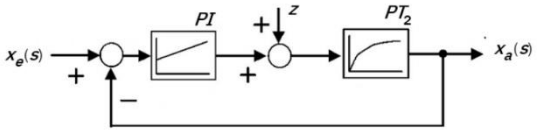
เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$F_c(s) = \frac{-U_o}{\Delta U_i} = \frac{R_f}{R_i} = k_p$$

ตัวควบคุมแบบพีไอ มีแผนภาพบล็อกดังนี้



ภาพที่ 4 แผนภาพบล็อกตัวควบคุมพีไอ

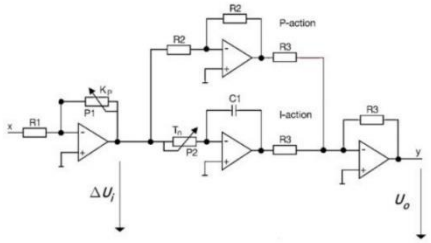


ภาพที่ 5 แผนภาพบล็อกการนำตัวควบคุมพีไอ ไปใช้ควบคุมระบบด้วยการป้อนกลับแบบลบ

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-8 (ต่อ)

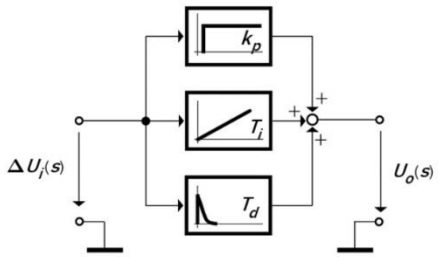
วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 8**
เรื่อง : การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	หน้าที่ 3/6



เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$F_c(s) = \frac{U_o}{\Delta U_i} = \frac{R_{f1}}{R_{f1}} + \frac{1}{R_{i2}Cs}$$

ตัวควบคุมแบบพีไอดี มีแผนภาพบล็อกดังนี้

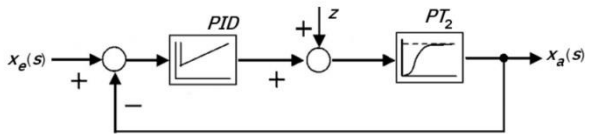


ภาพที่ 7 แผนภาพบล็อกตัวควบคุมพีไอดี

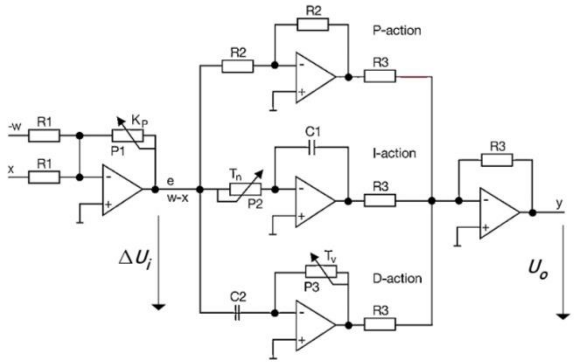
ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-8 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 8**
เรื่อง : การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	หน้าที่ 4/6



ภาพที่ 8 แผนภาพบล็อกการนำตัวควบคุมพีไอดี ไปใช้ควบคุมระบบด้วยการป้อนกลับแบบลบ



ภาพที่ 6 วงจรออปแอมป์ของตัวควบคุมพีไอดี

เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$F_c(s) = \frac{U_o}{\Delta U_i} = \frac{P_1}{R_1} + \frac{1}{P_2 C_1 s} + P_3 C_2 s$$

ชื่อนักศึกษา		รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น	กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-8 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 8**
เรื่อง : การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	หน้าที่ 5/6

ลำดับขั้นการทดลอง

ให้นักศึกษาแต่ละกลุ่ม หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากโปรแกรมแมทแลบ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบลำดับสองแบบหน่วงเกินของแต่ละกลุ่ม ใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี ของ Ziegler-Nichlos และใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดให้ค่าพุ่งเกินต้องน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมแมทแลบมาใช้ออกแบบตัวควบคุมดังนี้

1.ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

k_p=..... T_n=..... และ T_v=.....

2.ออกแบบตัวควบคุมโดยเลือกให้

R_1=..... P_1=.....

C_1=..... P_2=.....

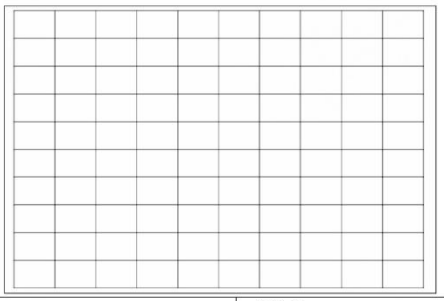
C_2=..... P_3=.....

3.ต่อวงจรตัวควบคุมตามภาพที่ 6 โดยให้ $w = -5\,Vdc$

4.ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ w และ x โดยจะต้องกดปุ่ม Invert สัญญาณของ w

5.ปิด (Close) สวิตช์ พร้อมทั้งดูสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

6.วาดผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นโดยเปรียบเทียบกันระหว่าง w และ x



ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-8 (ต่อ)

วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 8**
เรื่อง : การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	หน้าที่ 6/6

7.หาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองของระบบจากผลตอบสนองที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

$\%OS$=.....

ค่าสุดท้าย (final value)=.....

8.สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

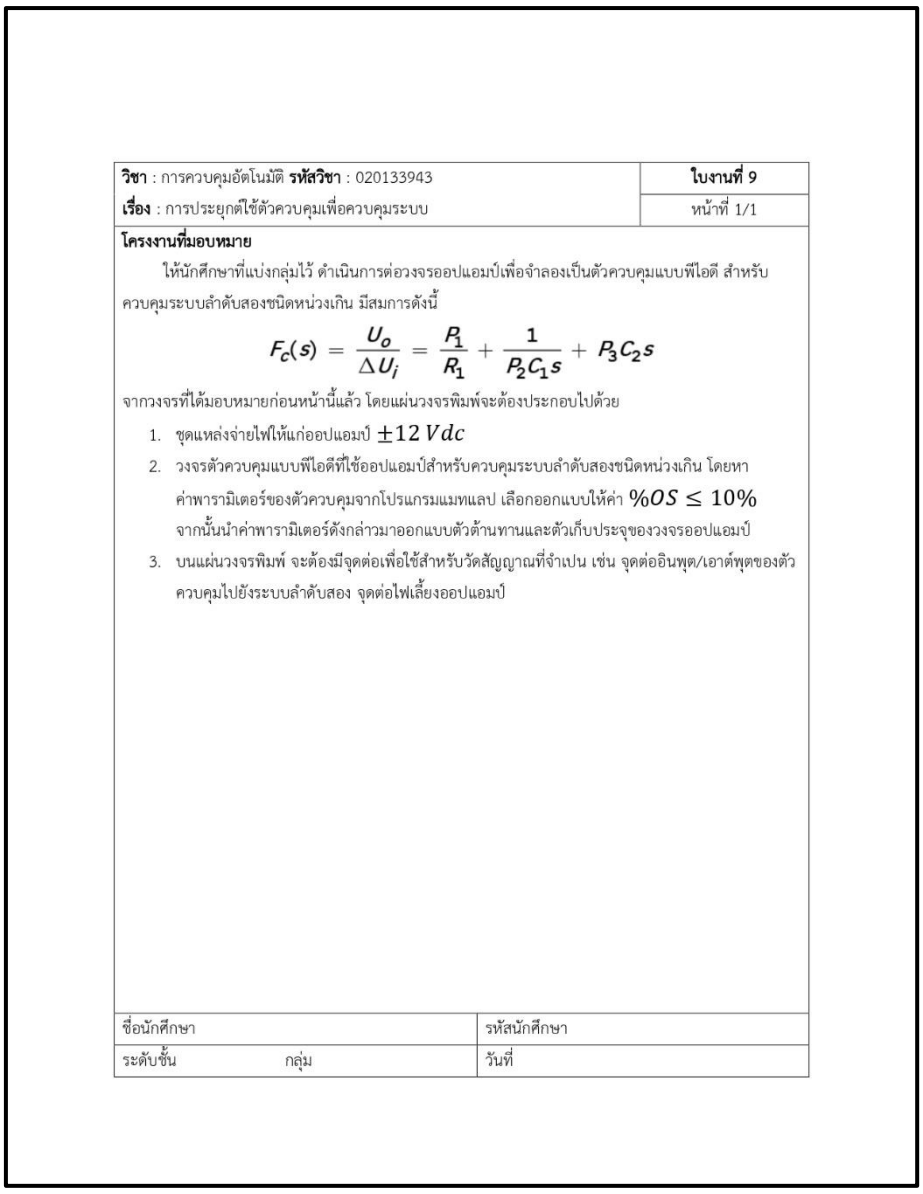
.....

.....

.....

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-8 (ต่อ)



วิชา : การควบคุมอัตโนมัติ **รหัสวิชา** : 020133943	**ใบงานที่ 9**
เรื่อง : การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ	หน้าที่ 1/1

โครงงานที่มอบหมาย

ให้นักศึกษาที่แบ่งกลุ่มไว้ ดำเนินการต่อวงจรออปแอมป์เพื่อจำลองเป็นตัวควบคุมแบบพีไอดี สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกิน มีสมการดังนี้

$$F_c(s) = \frac{U_o}{\Delta U_i} = \frac{P_1}{R_1} + \frac{1}{P_2 C_1 s} + P_3 C_2 s$$

จากวงจรที่ได้มอบหมายก่อนหน้านี้แล้ว โดยแผ่นวงจรพิมพ์จะต้องประกอบไปด้วย

1. ชุดแหล่งจ่ายไฟให้แก่ออปแอมป์ $\pm 12\ Vdc$
2. วงจรตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ใช้ออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกิน โดยหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากโปรแกรมแมทแลป เลือกออกแบบให้ค่า $\%OS \leq 10\%$ จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาออกแบบตัวต้านทานและตัวเก็บประจุของวงจรออปแอมป์
3. บนแผ่นวงจรพิมพ์ จะต้องมีจุดต่อเพื่อใช้สำหรับวัดสัญญาณที่จำเปน เช่น จุดต่ออินพุต/เอาต์พุตของตัวควบคุมไปยังระบบลำดับสอง จุดต่อไฟเลี้ยงออปแอมป์

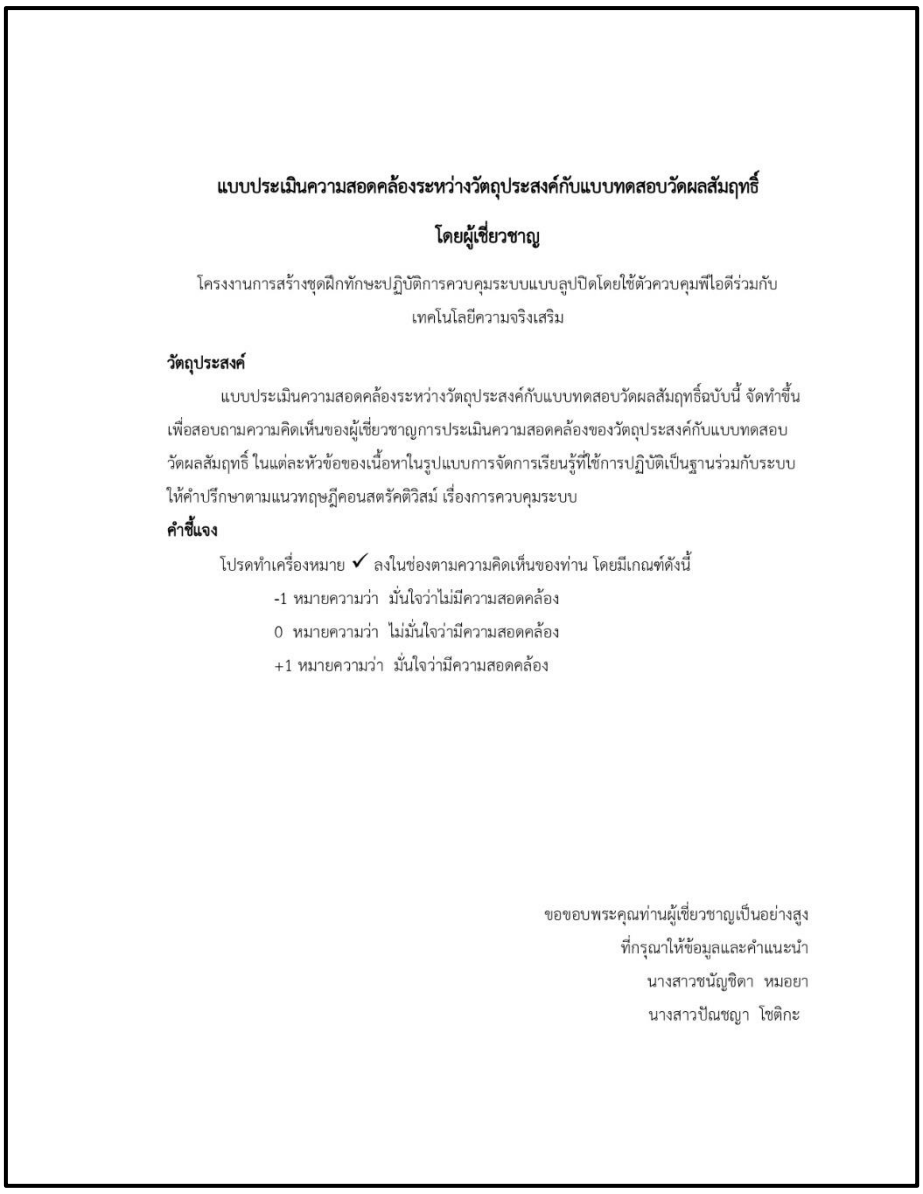
ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา
ระดับชั้น กลุ่ม	วันที่

ภาพที่ ก-9 ใบงานสำหรับการเรียนรู้ เรื่อง การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบ

จากภาพที่ ก-9 เป็นใบงานที่ 9 ของการเรียนรู้ โดยให้ผู้เรียนทดลองวงจรตัวควบคุมพีไอดีที่ใช้ตัวควบคุมออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกิน และหาค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมแมทแลป จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาออกแบบตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อใส่ในวงจรตัวควบคุมพีไอดี

ภาคผนวก ข

แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์โดยผู้เชี่ยวชาญ (IOC)



แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

โดยผู้เชี่ยวชาญ

โครงงานการสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

วัตถุประสงค์

แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญการประเมินความสอดคล้องของวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ในแต่ละหัวข้อของเนื้อหาในรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ใช้การปฏิบัติเป็นฐานร่วมกับระบบให้คำปรึกษาตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิสม์ เรื่องการควบคุมระบบ

คำชี้แจง

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องตามความคิดเห็นของท่าน โดยมีเกณฑ์ดังนี้

-1 หมายความว่า มั่นใจว่าไม่มีความสอดคล้อง

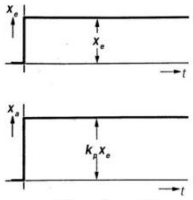
0 หมายความว่า ไม่มั่นใจว่ามีความสอดคล้อง

+1 หมายความว่า มั่นใจว่ามีความสอดคล้อง

ขอขอบพระคุณท่านผู้เชี่ยวชาญเป็นอย่างสูง
ที่กรุณาให้ข้อมูลและคำแนะนำ
นางสาวชนัญชิตา หมอยา
นางสาวปัณชญา โชติกะ

ภาพที่ ข-1 แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์โดยผู้เชี่ยวชาญ

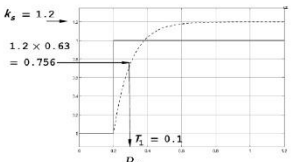
จากภาพที่ ข-1 เป็นแบบประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์จากผู้เชี่ยวชาญ วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมาจากใบเนื้อหา และครอบคลุมถึงชุดฝึกทักษะปฏิบัติในการทดลอง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.1 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	1. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			
	2. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			
1.2 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรลัดส่วนได้อย่างถูกต้อง	 $x_a(t) = k_p x_e(t)$ โดยที่ค่า k_p เป็นอัตราการขยาย (ไม่มีหน่วย) จึงจะสามารถหาค่า K_p ได้จาก $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$			

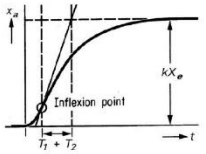
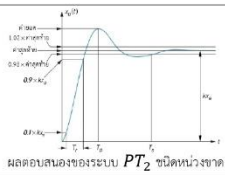
ภาพที่ ข-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.3 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรตได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F(s) = \frac{1}{s}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด โดยให้ U_i =10 V			
1.4 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินทิเกรต $F(s)_I = \frac{1}{T_i s}$ โดยที่เวลาคงตัวในการบูรณาการ $T_i = R_i C_f$			
1.5 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{0.2s+1}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด			

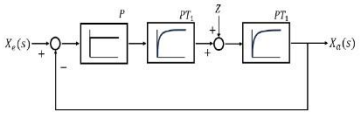
ภาพที่ ข-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.6 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	 โดยที่ $k_s = \frac{R_f}{R_i}$, $T_1 = R_f C_f$ จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า $U_{T_1} = 0.63 \cdot k_s U_i$			
1.7 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้	1. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{0.9}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			
	2. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			

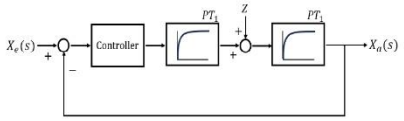
ภาพที่ ข-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.8 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง	กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s) = \frac{1}{(0.1s+1)(0.22s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ เทียบกับสมการมาตรฐาน $F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$			
1.9 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	โดยที่ $T_1 = R_{f1} C_{f1}$ และ $T_2 = R_{f2} C_{f2}$ 			
1.10 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้อย่างถูกต้อง	 ผลตอบสนองของระบบ PT_2 ชนิดหน่วงขาด			

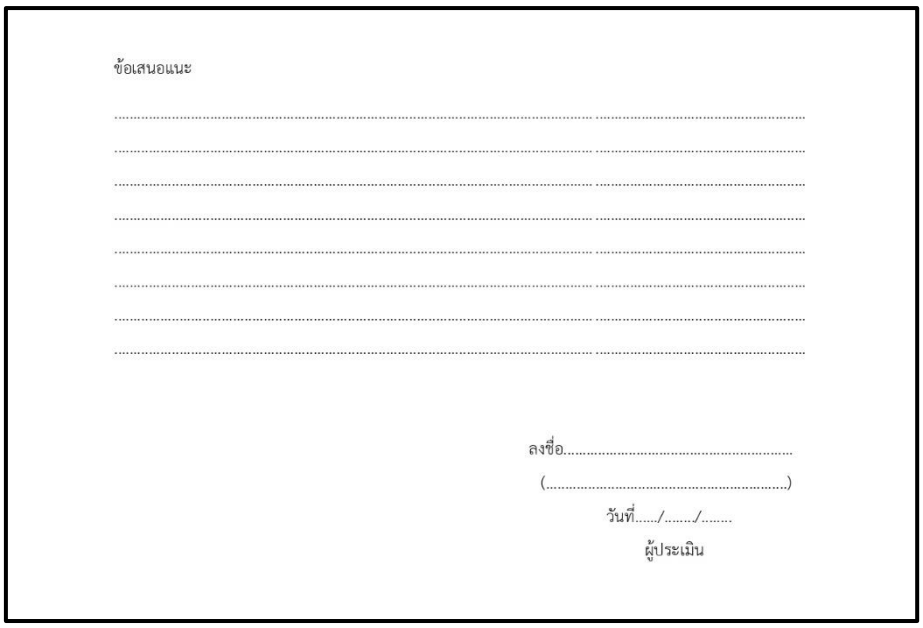
ภาพที่ ข-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.11 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			
	กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)(0.6s+1)}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			
2.1 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง	การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง sisotool			
2.2 ต่อวงจรตัวควบคุมด้วยไอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง				

ภาพที่ ข-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
2.3 ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบลู่เข้าสู่ค่าจุดปรับตั้งได้	แผนภาพบล็อกดังภาพด้านล่าง จงใช้ออปแอมป์จำลองการทำงาน และเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมพร้อมทั้งปรับตั้งให้ค่าความผิดพลาด (Error) ของสัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์ 			

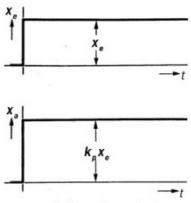
ภาพที่ ข-1 (ต่อ)



ภาพที่ ข-1 (ต่อ)

ภาคผนวก ค

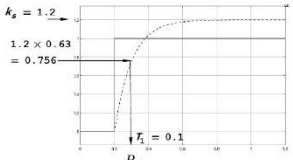
ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์โดยผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.1 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	1. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			√
	2. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			√
1.2 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง	 $x_a(t) = k_p x_e(t)$ โดยที่ค่า k_p เป็นอัตราการขยาย (ไม่มีหน่วย) จึงจะสามารถหาค่า K_p ได้จาก $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$			√

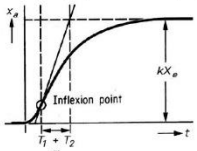
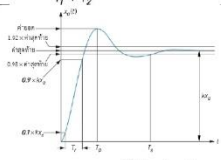
ภาพที่ ค-1 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.3 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรตได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F(s) = \frac{1}{s}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด โดยให้ U_i =10 V			√
1.4 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินทิเกรต $F(s)_I = \frac{1}{T_i s}$ โดยที่เวลาคงตัวในการบูรณาการ $T_i = R_i C_f$			√
1.5 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{0.2s+1}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด			√

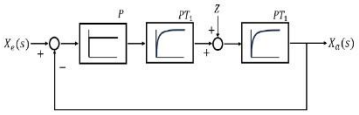
ภาพที่ ค-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.6 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	 โดยที่ $k_s = \frac{R_f}{R_i}$, $T_1 = R_f C_f$ จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า $U_{T_1} = 0.63 \cdot k_s U_i$			✓
1.7 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้	1. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{0.9}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			✓
	2. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			✓

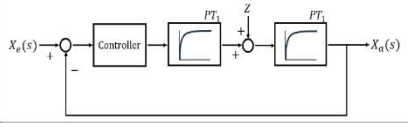
ภาพที่ ค-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.8 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง	กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s) = \frac{1}{(0.1s+1)(0.22s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ เทียบกับสมการมาตรฐาน $F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$			✓
1.9 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	โดยที่ $T_1 = R_{f1} C_{f1}$ และ $T_2 = R_{f2} C_{f2}$ 			✓
1.10 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้อย่างถูกต้อง	 ผลตอบสนองของระบบ PT_2 ชนิดหน่วงขาด			✓

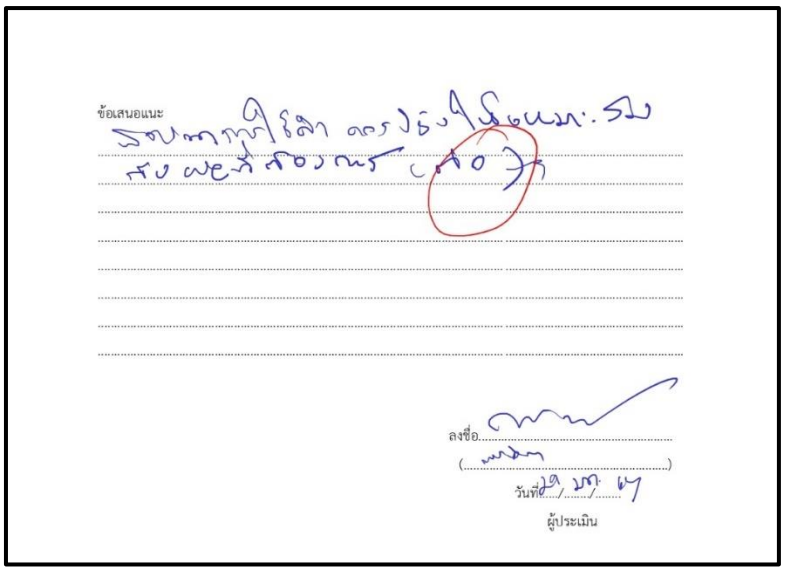
ภาพที่ ค-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.11 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			✓
	กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)(0.6s+1)}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			✓
2.1 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง	การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง sisotool			✓
2.2 ต่อวงจรตัวควบคุมด้วยโอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง				✓

ภาพที่ ค-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
2.3 ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบลู่เข้าสู่ค่าจุดปรับตั้งได้	แผนภาพบล็อกดังภาพด้านล่าง จงใช้ออปแอมป์จำลองการทำงาน และเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมพร้อมทั้งปรับตั้งให้ค่าความผิดพลาด (Error) ของสัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์ 			✓

ภาพที่ ค-1 (ต่อ)


ข้อเสนอแนะ

ลงชื่อ.....

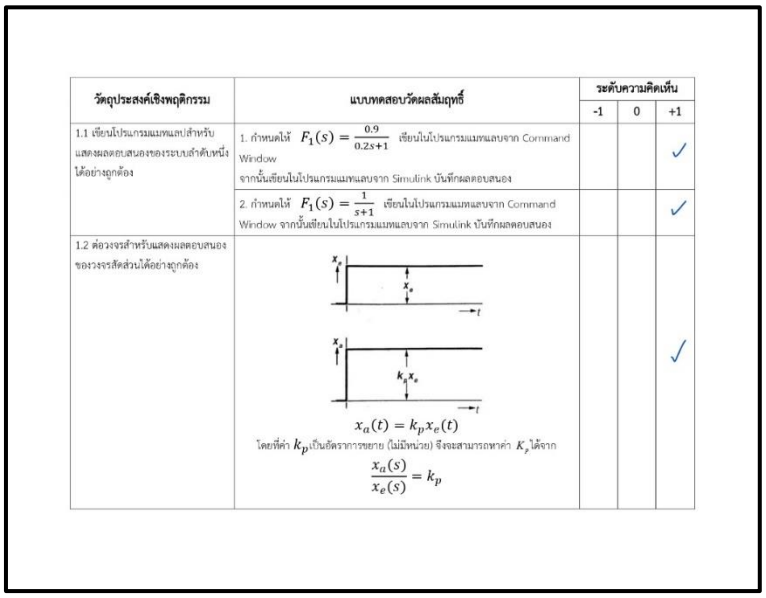
(.....)

วันที่ 29 มิ.ย. 67

ผู้ประเมิน

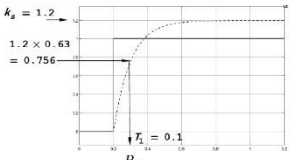
ภาพที่ ค-1 (ต่อ)

จากภาพที่ ค-1 เป็นผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 โดยมีข้อเสนอแนะ ให้พิจารณาการใช้คำควรปรับให้ปรับเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลที่ต้องการ ซึ่งผลการประเมินโดยรวมของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 สามารถนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ไปใช้งานได้

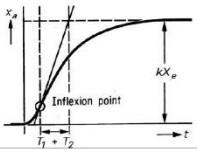


วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.1 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	1. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			✓
	2. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			✓
1.2 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง	$x_a(t) = k_p x_e(t)$ โดยที่ค่า k_p เป็นอัตราการขยาย (ไม่มีหน่วย) จึงจะสามารถหาค่า K_p ได้จาก $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$			✓

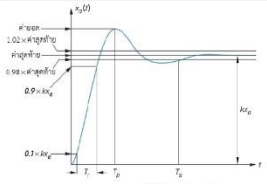
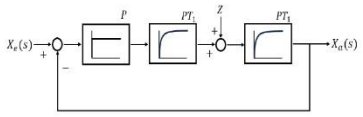
ภาพที่ ค-2 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2

1.3 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรตได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F(s)=\frac{1}{s}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด โดยให้ U_i =10 V			✓
1.4 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินทิเกรต $F(s)_I=\frac{1}{T_i s}$ โดยที่เวลาคงตัวในการบูรณาการ $T_i = R_i C_f$			✓
1.5 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s)=\frac{1}{0.2s+1}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด			✓
1.6 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	 โดยที่ $k_s=\frac{R_f}{R_i}$, $T_1 = R_f C_f$ จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า $U_{T_1} = 0.63 \cdot k_s U_i$			✓

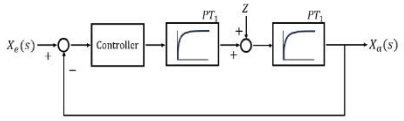
ภาพที่ ค-2 (ต่อ)

1.7 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้	1. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s)=\frac{0.9}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			✓
	2. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s)=\frac{1}{(s+1)(0.2s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			✓
1.8 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง	กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s)=\frac{1}{(0.1s+1)(0.22s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ เทียบกับสมการมาตรฐาน $F_{PT_2}(s)=\frac{k_{p1}\times k_{p2}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$			✓
1.9 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	โดยที่ $T_1 = R_{f1}C_{f1}$ และ $T_2 = R_{f2}C_{f2}$ 			✓

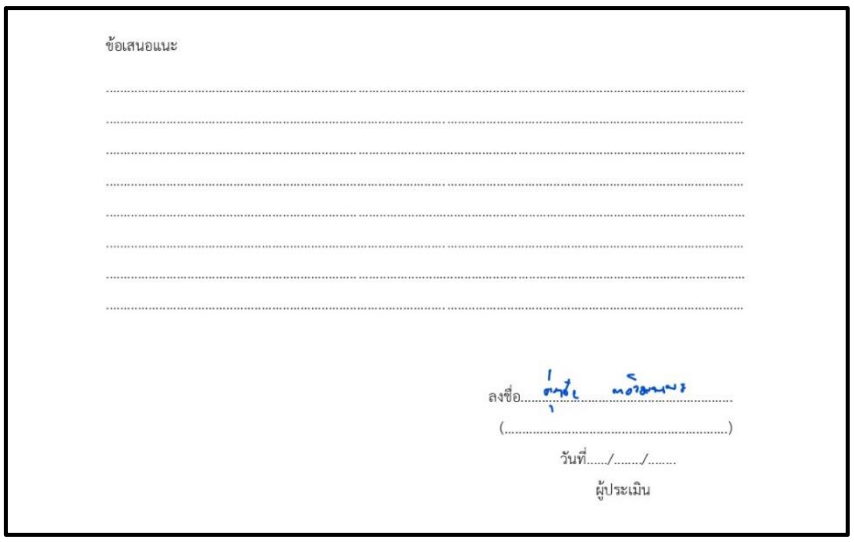
ภาพที่ ค-2 (ต่อ)

1.10 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้อย่างถูกต้อง	 ผลตอบสนองของระบบ PT_2 ชนิดหน่วงขาด			✓
1.11 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			✓
	กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)(0.6s+1)}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			✓
2.1 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง	การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง sisotool			✓
2.2 ต่อวงจรตัวควบคุมด้วยโอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง				✓

ภาพที่ ค-2 (ต่อ)

2.3 ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบลู่เข้าสู่ค่าจุดปรับตั้งได้	แผนภาพบล็อกดังภาพด้านล่าง จงใช้ออปแอมป์จำลองการทำงาน และเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมพร้อมทั้งปรับตั้งให้ค่าความผิดพลาด (Error) ของสัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์ 			✓

ภาพที่ ค-2 (ต่อ)



ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

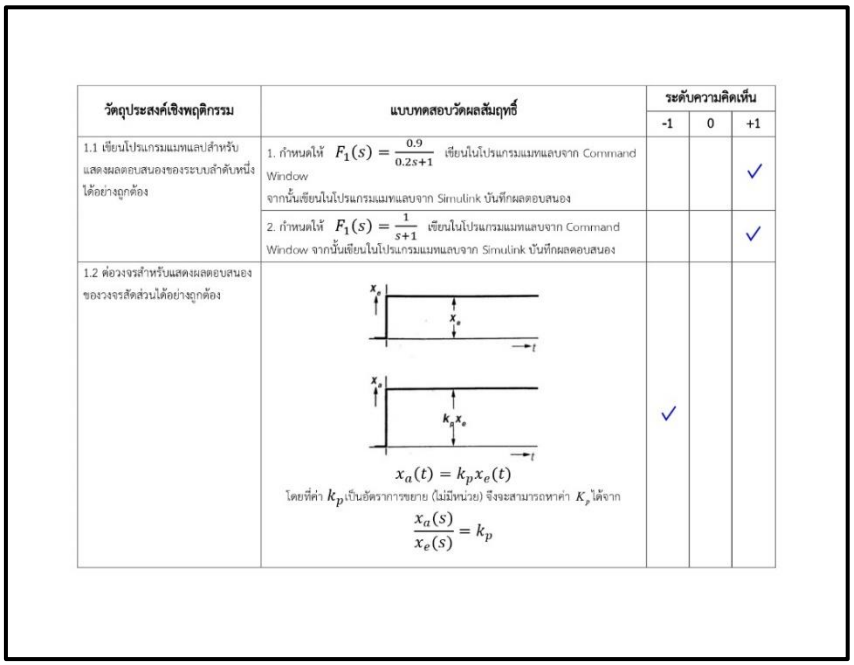
(.....)

วันที่...../...../.....

ผู้ประเมิน

ภาพที่ ค-2 (ต่อ)

จากภาพที่ ค-2 เป็นผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2 ซึ่งผลการประเมินโดยรวมของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2 สามารถนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ไปใช้งานได้

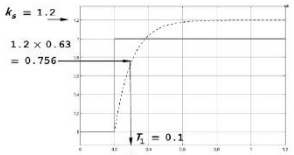


วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.1 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	1. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			✓
	2. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			✓
1.2 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง	$x_a(t) = k_p x_e(t)$ โดยที่ค่า k_p เป็นอัตราการขยาย (ไม่มีหน่วย) จึงจะสามารถหาค่า K_p ได้จาก $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$	✓		

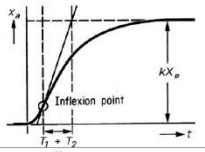
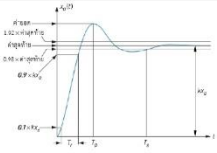
ภาพที่ ค-3 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.3 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรต์ได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F(s) = \frac{1}{s}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด โดยให้ U_i =10 V	✓		
1.4 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินทิเกรต $F(s)_I = \frac{1}{T_i s}$ โดยที่เวลาคงตัวในการบูรณาการ $T_i = R_i C_f$	✓		
1.5 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{0.2s+1}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด	✓		

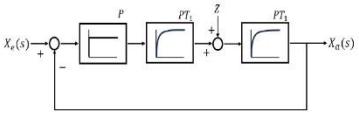
ภาพที่ ค-3 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.6 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	 โดยที่ $k_s = \frac{R_f}{R_i}$, $T_1 = R_f C_f$ จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า $U_{T_1} = 0.63 \cdot k_s U_i$			✓
1.7 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้	1. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{0.9}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			✓
	2. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			✓

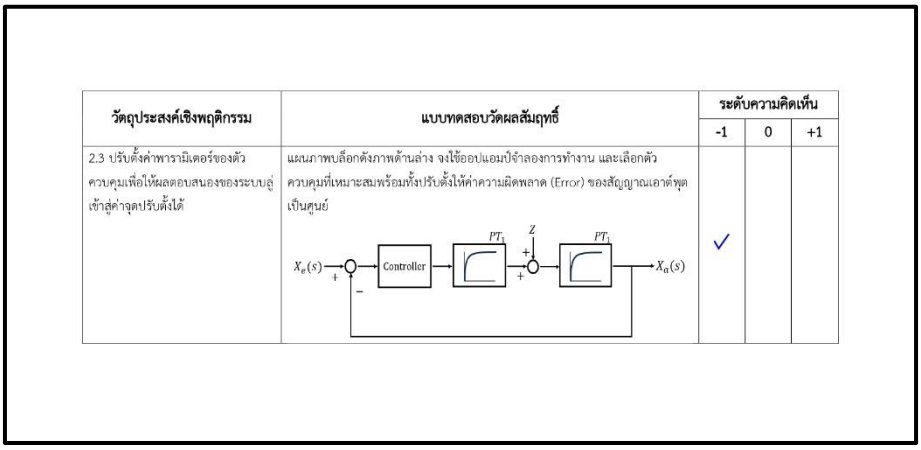
ภาพที่ ค-3 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.8 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง	กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s) = \frac{1}{(0.1s+1)(0.22s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ เทียบกับสมการมาตรฐาน $F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$	✓		
1.9 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	โดยที่ $T_1 = R_{f1}C_{f1}$ และ $T_2 = R_{f2}C_{f2}$ 			✓
1.10 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้อย่างถูกต้อง	 ผลตอบสนองของระบบ PT_2 ชนิดหน่วงขาด	✓		

ภาพที่ ค-3 (ต่อ)

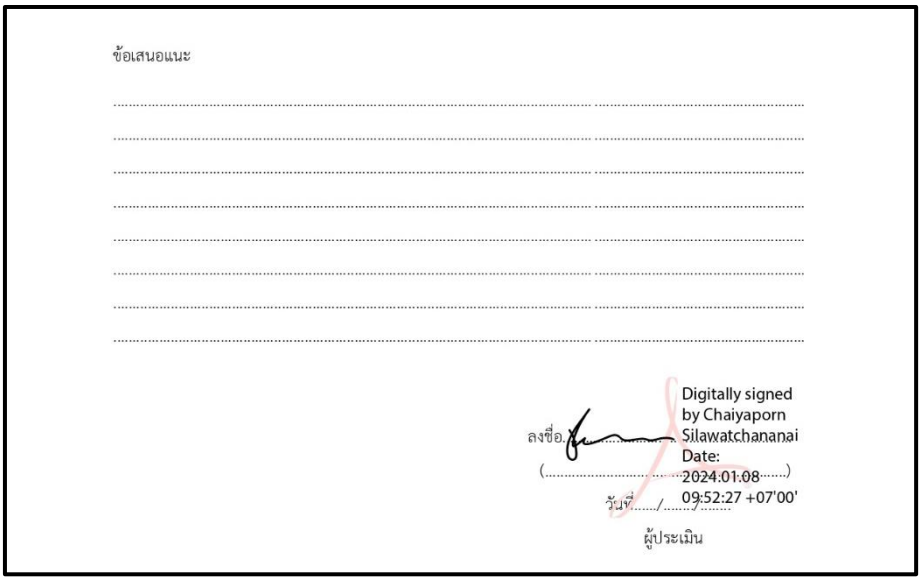
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.11 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			✓
	กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)(0.6s+1)}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			✓
2.1 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง	การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง sisotool	✓		
2.2 ต่อวงจรตัวควบคุมด้วยไอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง		✓		

ภาพที่ ค-3 (ต่อ)



วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
2.3 ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบลู่เข้าสู่ค่าจุดปรับตั้งได้	แผนภาพบล็อกดังภาพด้านล่าง จงใช้ออปแอมป์จำลองการทำงาน และเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมพร้อมทั้งปรับตั้งให้ค่าความผิดพลาด (Error) ของสัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์	✓		

ภาพที่ ค-3 (ต่อ)



ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

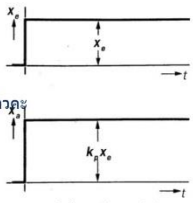
วันที่...../...../.....

ผู้ประเมิน

Digitally signed by Chaiyaporn Silawatchananai
Date: 2024.01.08 09:52:27 +07'00'

ภาพที่ ค-3 (ต่อ)

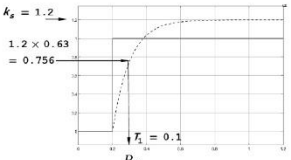
จากภาพที่ ค-3 เป็นผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 โดยมีข้อเสนอแนะวัตถุประสงค์พฤติกรรมไม่สอดคล้องกับแบบทดสอบในหัวข้อการต่อวงจร และการเขียนโปรแกรม ซึ่งผลการประเมินโดยรวมของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 แนะนำให้แก้ไขแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.1 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 1และใบเนื้อหาบทที่ 3)	1. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			1
	2. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนในโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			1
1.2 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	 $x_a(t) = k_p x_e(t)$ โดยที่ค่า k_p เป็นอัตราการขยาย (ไม่มีหน่วย) จึงจะสามารถหาค่า K_p ได้จาก $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$		0	

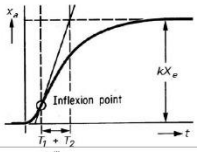
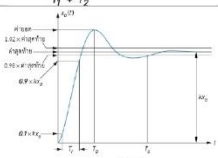
ภาพที่ ค-4 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.3 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิเกรตได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	กำหนดให้ $F(s) = \frac{1}{s}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด โดยให้ U_i =10 V		0	
1.4 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินทิเกรต $T(s) = \frac{1}{T_i s}$ โดยที่เวลาคงตัวในการบูรณาการ $T_i = R_i C_f$		0	
1.5 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{0.2s+1}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด		0	

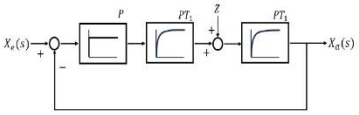
ภาพที่ ค-4 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.6 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	 โดยที่ $k_s = \frac{R_f}{R_i}$, $T_1 = R_f C_f$ จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า $U_{T_1} = 0.63 \cdot k_s U_i$		0	
1.7 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้ ใบงานที่ 4 หรือป่าว (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3)	1. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{0.9}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			1
	2. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			1

ภาพที่ ค-4 (ต่อ)

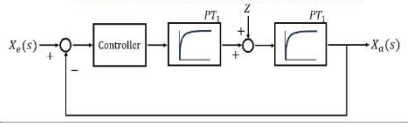
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.8 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 3และใบเนื้อหาบทที่ 3)	กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s) = \frac{1}{(0.1s+1)(0.22s+1)}$ สามารถจำลองการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ เทียบกับสมการมาตรฐาน ควรจะบอกหน่อยว่าสัญญาณที่ถูกเป็นยังไง $F_{PT_2}(s) = \frac{K_{p2}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$		0	
1.9 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 2และใบเนื้อหาบทที่ 3) ถูกต้องคือยังไง?	โดยที่ $T_1 = R_{f1} C_{f1}$ และ $T_2 = R_{f2} C_{f2}$ 		0	
1.10 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 5 และใบเนื้อหาบทที่ 3)	 ผลตอบสนองของระบบ PT_2 ชนิดหน่วงขาด		0	

ภาพที่ ค-4 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.11 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 4และใบเนื้อหาบทที่ 3)	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			1
	กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)(0.6s+1)}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			1
2.1 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 7และใบเนื้อหาบทที่ 4)	การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง sisotool			1
2.2 ต่อวงจรตัวควบคุมด้วยโอซีออปแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง (ใบงานที่ 8และใบเนื้อหาบทที่ 4)			0	

ถูกต้องคือยังไง?

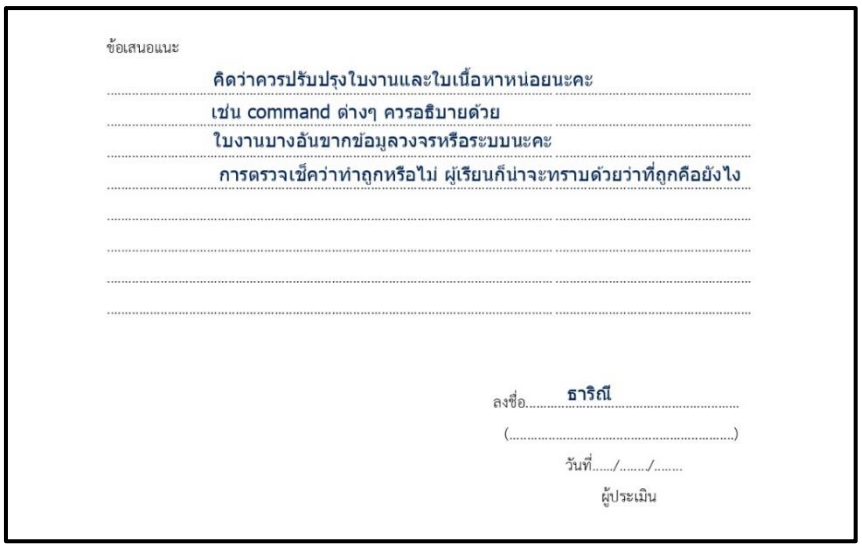
ภาพที่ ค-4 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
2.3 ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบลู่เข้าสู่ค่าจุดปรับตั้งได้ (ใบงานที่ 9และใบเนื้อหาบทที่ 4)	แผนภาพบล็อกดังภาพด้านล่าง จงใช้ออปแอมป์จำลองการทำงาน และเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมพร้อมทั้งปรับตั้งให้ค่าความผิดพลาด (Error) ของสัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์ 		0	

ควรเอาสมการของระบบใส่ในใบงานด้วยนะคะ

หรืออย่างน้อยในใบงานก็ควรจะบอกว่าให้ไปดูที่ไหนของเนื้อหา

ภาพที่ ค-4 (ต่อ)



ข้อเสนอแนะ

คิดว่าควรปรับปรุงใบงานและใบเนื้อหาหน่อยนะคะ

เช่น command ต่างๆ ควรอธิบายด้วย

ใบงานบางอันขาดข้อมูลวงจรหรือระบบนะคะ

การตรวจเช็คว่าทำถูกหรือไม่ ผู้เรียนก็น่าจะทราบด้วยว่าที่ถูกคือยังไง

ลงชื่อ..... ธาริณี .....

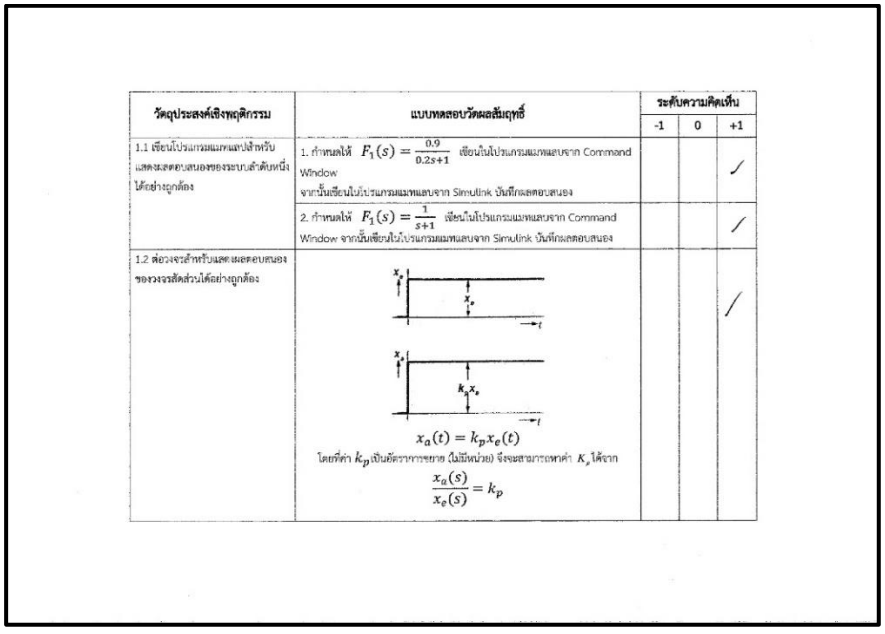
(.....)

วันที่...../...../.....

ผู้ประเมิน

ภาพที่ ค-4 (ต่อ)

จากภาพที่ ค-4 เป็นผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4 โดยมีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงใบงานและใบเนื้อหา เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น ซึ่งผลการประเมินโดยรวมของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4 แนะนำให้แก้ไขใบเนื้อหา และใบงาน

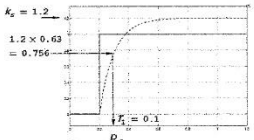


วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.1 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	1. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ เขียนโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			✓
	2. กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{1}{s+1}$ เขียนโปรแกรมแมทแลบจาก Command Window จากนั้นเขียนโปรแกรมแมทแลบจาก Simulink บันทึกผลตอบสนอง			✓
1.2 ต่อวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรสัดส่วนได้อย่างถูกต้อง	$x_a(t) = k_p x_e(t)$ โดยที่ค่า k_p เป็นอัตราการขยาย (ไม่มีหน่วย) จึงจะสามารถหาค่า K_p ได้จาก $\frac{x_a(s)}{x_e(s)} = k_p$			✓

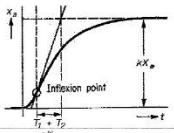
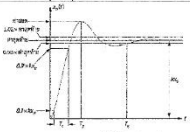
ภาพที่ ค-5 ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.3 ตอวงจรสำหรับแสดงผลตอบสนองของวงจรอินทิกรต์ได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F(s)=\frac{1}{s}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด โดยให้ U_i =10 V			/
1.4 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณวงจรอินทิเกรตบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินทิเกรต $F(S)_I=\frac{1}{T_i s}$ โดยที่เวลาคงตัวในการบูรณาการ $T_i=R_i C_f$			/
1.5 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับหนึ่งได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s)=\frac{1}{0.2s+1}$ จงทดสอบสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนด			/

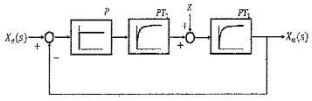
ภาพที่ ค-5 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.6 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับหนึ่งบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	 โดยที่ $k_S=\frac{R_f}{R_i}$, $T_1=R_f C_f$ จากผลตอบสนองสามารถหาค่าเวลาคงตัว T_1 จากการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ระดับแรงดันไฟฟ้า $U_{T_1}=0.63\cdot k_s U_i$			/
1.7 เขียนโปรแกรมแมทแลปสำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้	1. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s)=\frac{0.9}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			/
	2. ระบบลำดับสองมีฟังก์ชันโอนเป็น $F_2(s)=\frac{1}{(s+1)(0.2s+1)}$ เขียนเป็นโปรแกรมแมทแลปจาก Command Window			/

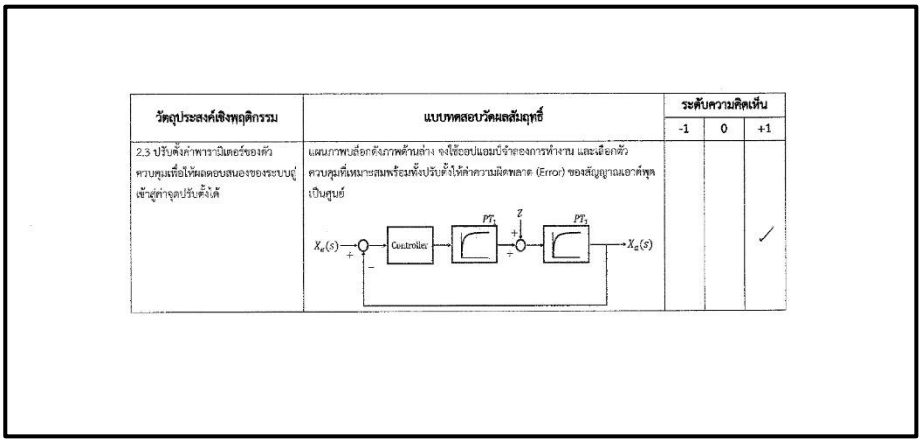
ภาพที่ ค-5 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.8 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง	กำหนดระบบลำดับสอง $F_2(s) = \frac{1}{(0.1s+1)(0.22s+1)}$ สามารถหาวิธีการทำงานเป็นระบบลำดับสองด้วยออปแอมป์ เทียบกับสมการมาตรฐาน $F_{PT_2}(s) = \frac{k_{p1} \times k_{p2}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$			/
1.9 วัดเวลาคงตัวจากสัญญาณระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินบนออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง	โดยที่ $T_1 = R_{f1}C_{f1}$ และ $T_2 = R_{f2}C_{f2}$ 			/
1.10 ต่อวงจรออปแอมป์สำหรับแสดงผลตอบสนองของระบบลำดับสองชนิดหน่วงขาดได้อย่างถูกต้อง	 ผลตอบสนองของระบบ PT_2 ชนิดหน่วงขาด			/

ภาพที่ ค-5 (ต่อ)

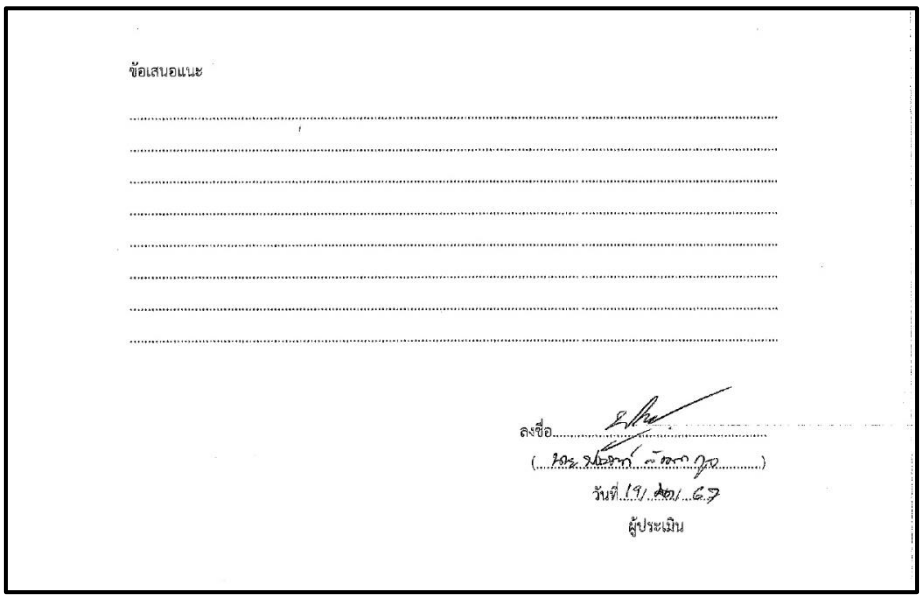
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
1.11 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาได้อย่างถูกต้อง	กำหนดให้ $F_1(s) = \frac{0.9}{0.2s+1}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			/
	กำหนดให้ $F_2(s) = \frac{0.85}{(0.25s+1)(0.6s+1)}$ จงใช้โปรแกรมแมทแลปหาค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ			/
2.1 ใช้โปรแกรมแมทแลปสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างถูกต้อง	การใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จะใช้ GUI ของโปรแกรมในโหมด Command Window ด้วยคำสั่ง sisotool			/
2.2 ต่อวงจรตัวควบคุมด้วยโอเปอแอมป์สำหรับควบคุมระบบลำดับสองชนิดหน่วงเกินได้อย่างถูกต้อง				/

ภาพที่ ค-5 (ต่อ)



วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	ระดับความคิดเห็น		
		-1	0	+1
2.3 ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบอยู่เข้าสู่ค่าจุดปรับตั้งได้	แผนภาพบล็อกดังภาพด้านล่าง จงใช้ออปแอมป์จำลองการทำงาน และเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมพร้อมทั้งปรับตั้งให้ค่าความผิดพลาด (Error) ของสัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์			✓

ภาพที่ ค-5 (ต่อ)



ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่ 19/ ต.ค./ 67

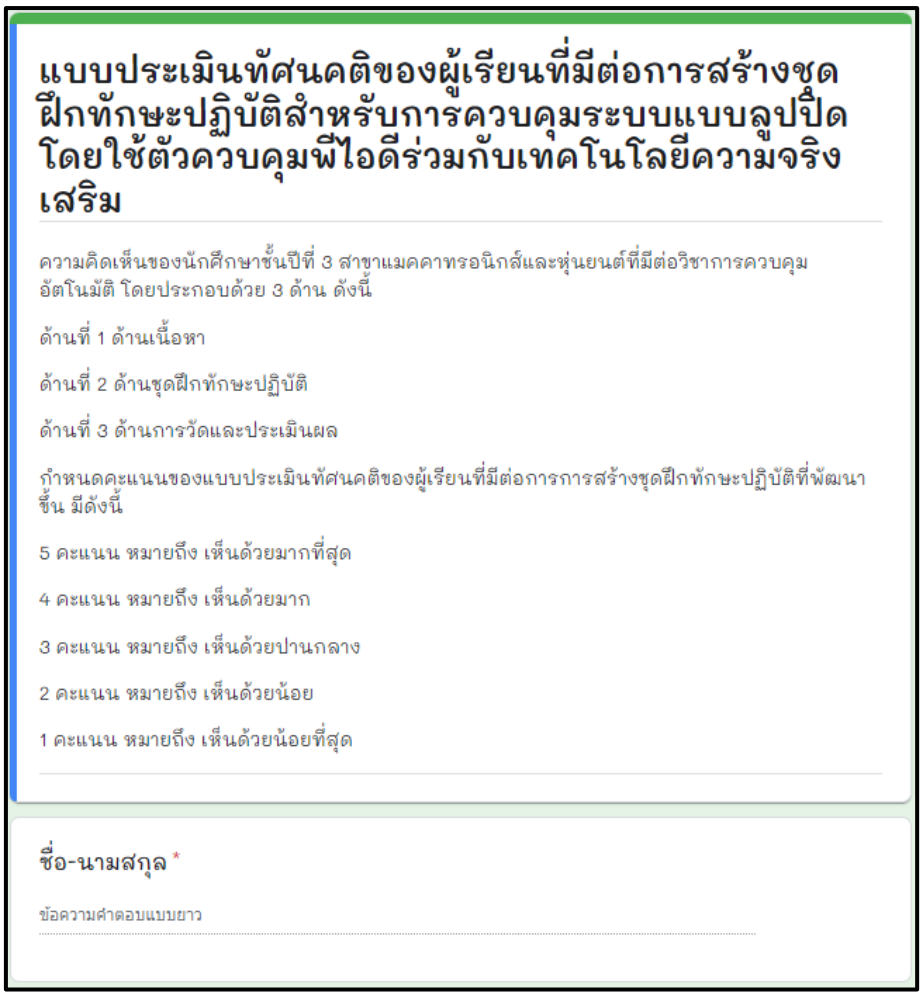
ผู้ประเมิน

ภาพที่ ค-5 (ต่อ)

จากภาพที่ ค-5 เป็นผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5 ซึ่งผลการประเมินโดยรวมของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5 สามารถนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ไปใช้งานได้

ภาคผนวก ง

แบบประเมินทัศนคติและตัวอย่างผลประเมินของผู้เรียน



ภาพที่ ง-1 แบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติ

จากภาพที่ ง-1 เป็นแบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติโดยจัดทำในรูปแบบ form ของ Google เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเปิดใช้งานจากแอปพลิเคชันได้ ให้ระบุชื่อผู้จัด และข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริม

ด้านที่ 1 ด้านเนื้อหา *

	5	4	3	2	1
ฉันมองเห็นความสำคัญของการเรียนวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	○	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหามีการจัดลำดับเนื้อหาในการเรียนรู้และกระบวนการได้อย่างชัดเจน	○	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาในการเรียนรู้ทำให้เกิดการพัฒนาการด้านการควบคุมมากขึ้น	○	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเข้าใจง่าย	○	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเหมาะสมกับรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	○	○	○	○	○
ฉันรู้สึกสนุกกับเนื้อหาของวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	○	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรายวิชาอื่นๆได้	○	○	○	○	○

ภาพที่ ง-1 (ต่อ)

ภาพที่ ง-1 (ต่อ)

ภาพที่ ง-1 (ต่อ)

ชื่อ-นามสกุล *

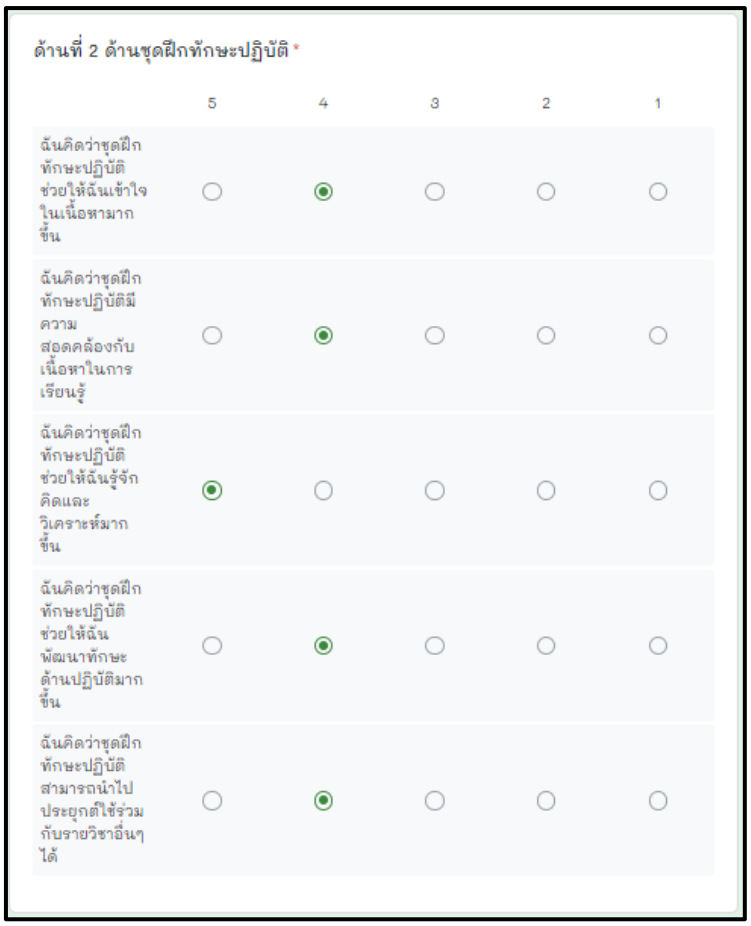
ชยากร สรรเสริญทิม

ด้านที่ 1 ด้านเนื้อหา *

	5	4	3	2	1
ฉันมองเห็นความสำคัญของการเรียนวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	●	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหามีการจัดลำดับเนื้อหาในการเรียนรู้และกระบวนการได้อย่างชัดเจน	○	●	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาในการเรียนรู้ทำให้เกิดการพัฒนาการด้านการควบคุมมากขึ้น	○	●	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเข้าใจง่าย	○	●	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเหมาะสมกับรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	○	●	○	○	○
ฉันรู้สึกสนุกกับเนื้อหาของวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	●	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรายวิชาอื่นๆได้	○	●	○	○	○

ภาพที่ ง-2 ตัวอย่างผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติคนที่ 1

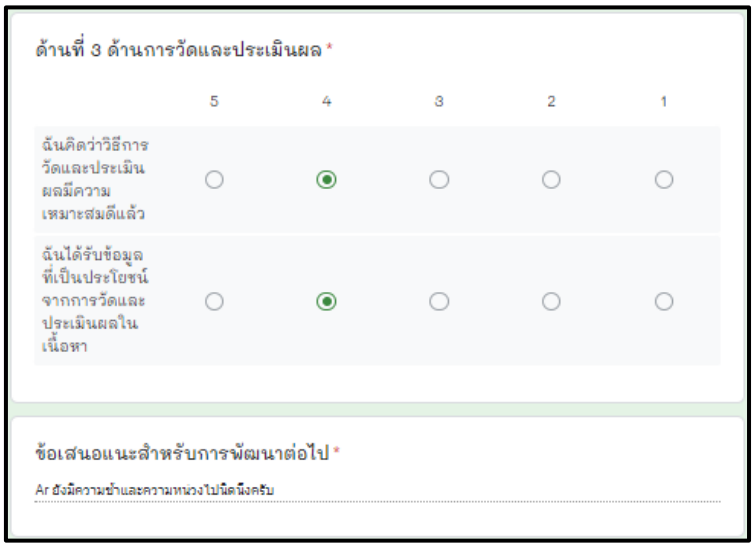
จากภาพที่ ง-2 เป็นตัวอย่างผลประเมินของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 เพศชาย มีระดับทัศนคติด้านเนื้อหา ด้านชุดฝึกทักษะ และด้านด้านการวัดและประเมินผลในระดับที่ดี และมีข้อเสนอแนะในขณะที่ใช้แอปพลิเคชันอาจมีบางช่วงเวลาแอปพลิเคชันกระตุก



ด้านที่ 2 ด้านชุดฝึกทักษะปฏิบัติ *

	5	4	3	2	1
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น	○	◉	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติมีความสอดคล้องกับเนื้อหาในการเรียนรู้	○	◉	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันรู้จักคิดและวิเคราะห์มากขึ้น	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันพัฒนาทักษะด้านปฏิบัติมากขึ้น	○	◉	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับรายวิชาอื่นๆได้	○	◉	○	○	○

ภาพที่ ง-2 (ต่อ)



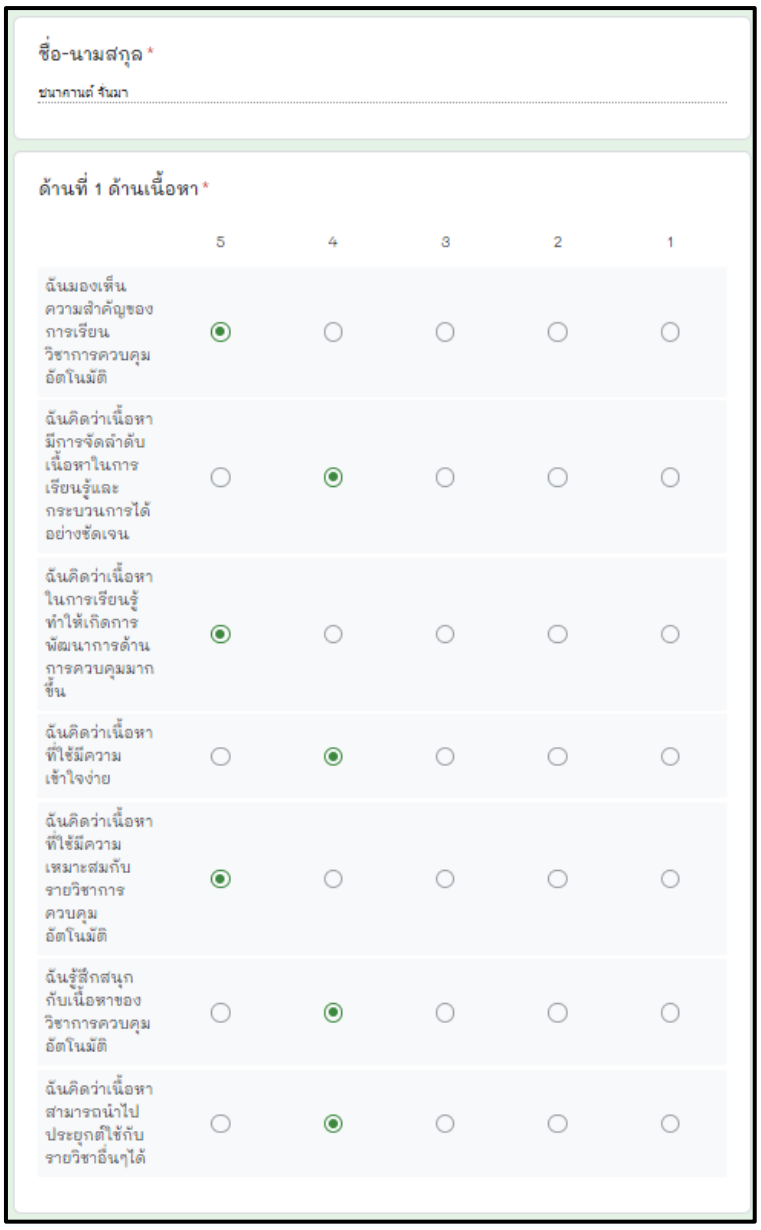
ด้านที่ 3 ด้านการวัดและประเมินผล *

	5	4	3	2	1
ฉันคิดว่าวิธีการวัดและประเมินผลมีความเหมาะสมดีแล้ว	○	◉	○	○	○
ฉันได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากการวัดและประเมินผลในเนื้อหา	○	◉	○	○	○

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อไป *

Ar ยังมีความข้าและความหนวงไปนิดนึงครับ

ภาพที่ ง-2 (ต่อ)



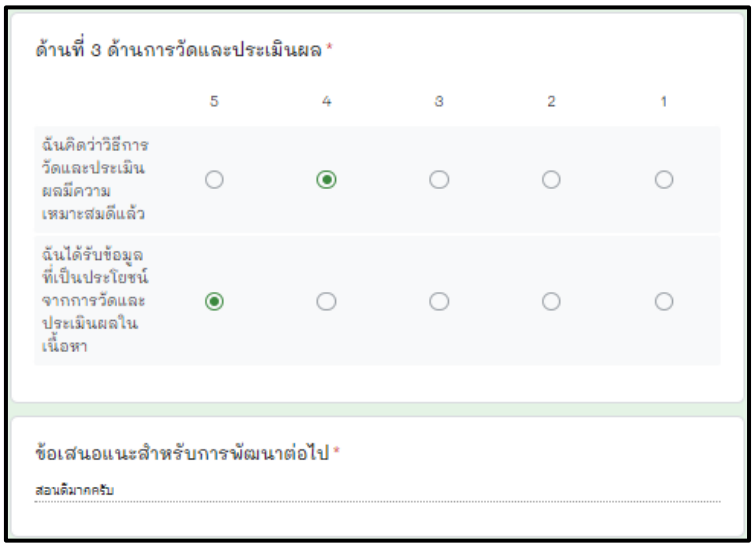
ภาพที่ ง-3 ตัวอย่างผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติคนที่ 2

จากภาพที่ ง-3 เป็นตัวอย่างผลประเมินของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 เพศชาย มีระดับทัศนคติด้านเนื้อหา ด้านชุดฝึกทักษะ และด้านด้านการวัดและประเมินผลในระดับที่ดีมาก และไม่มีข้อเสนอแนะ

ด้านที่ 2 ด้านชุดฝึกทักษะปฏิบัติ *

	5	4	3	2	1
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติมีความสอดคล้องกับเนื้อหาในการเรียนรู้	○	◉	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันรู้จักคิดและวิเคราะห์มากขึ้น	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติช่วยให้ฉันพัฒนาทักษะด้านปฏิบัติมากขึ้น	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าชุดฝึกทักษะปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับรายวิชาอื่นๆได้	◉	○	○	○	○

ภาพที่ ง-3 (ต่อ)



ด้านที่ 3 ด้านการวัดและประเมินผล *

	5	4	3	2	1
ฉันคิดว่าวิธีการวัดและประเมินผลมีความเหมาะสมดีแล้ว	○	◉	○	○	○
ฉันได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากการวัดและประเมินผลในเนื้อหา	◉	○	○	○	○

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อไป *

สอนดีมากครับ

ภาพที่ ง-3 (ต่อ)

ชื่อ-นามสกุล *

นายณวัสน์ พรพัชรนิตย์

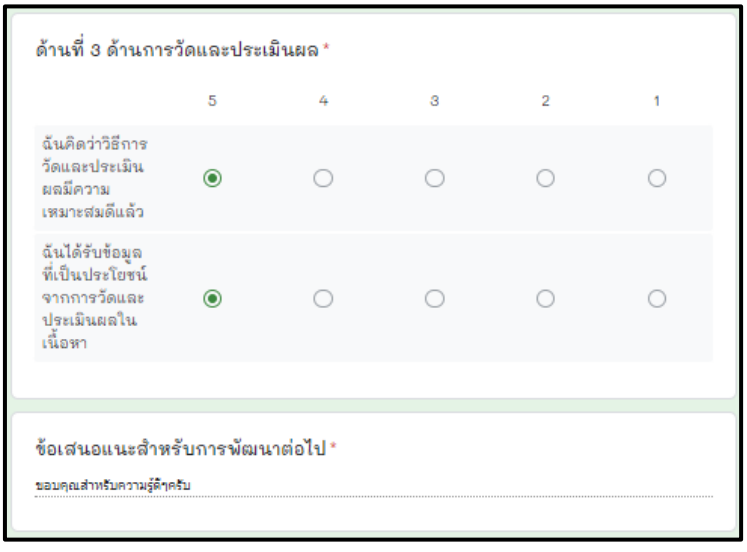
ด้านที่ 1 ด้านเนื้อหา *

	5	4	3	2	1
ฉันมองเห็นความสำคัญของการเรียนวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหามีการจัดลำดับเนื้อหาในการเรียนรู้และกระบวนการได้อย่างชัดเจน	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาในการเรียนรู้ทำให้เกิดการพัฒนาการด้านการควบคุมมากขึ้น	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเข้าใจง่าย	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาที่ใช้มีความเหมาะสมกับรายวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	◉	○	○	○	○
ฉันรู้สึกสนุกกับเนื้อหาของวิชาการควบคุมอัตโนมัติ	◉	○	○	○	○
ฉันคิดว่าเนื้อหาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรายวิชาอื่นๆได้	◉	○	○	○	○

ภาพที่ ง-4 ตัวอย่างผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกทักษะปฏิบัติคนที่ 3

จากภาพที่ ง-4 เป็นตัวอย่างผลประเมินของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 เพศชาย มีระดับทัศนคติด้านเนื้อหา ด้านชุดฝึกทักษะ และด้านด้านการวัดและประเมินผลในระดับที่ดีมาก และไม่มีข้อเสนอแนะ

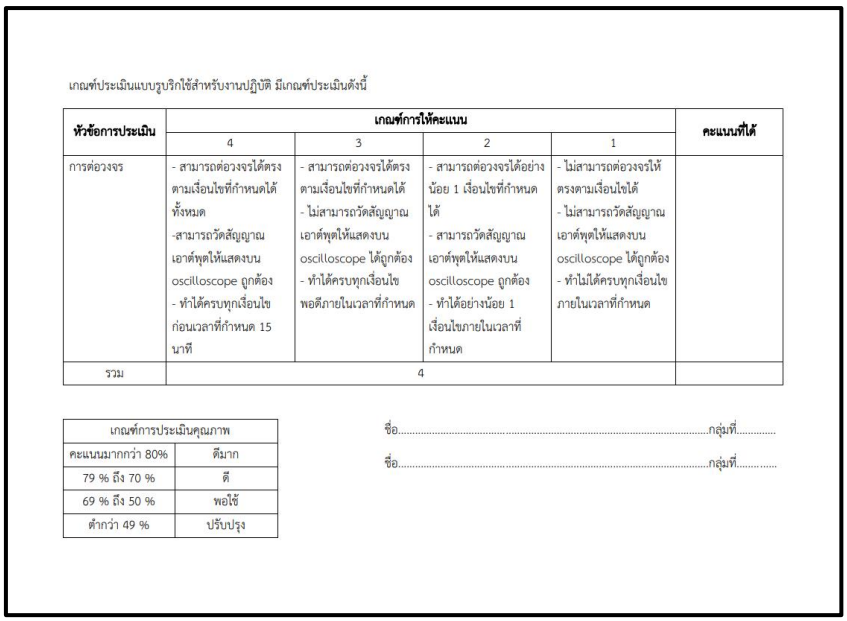
ภาพที่ ง-4 (ต่อ)



ภาพที่ ง-4 (ต่อ)

ภาคผนวก จ

เกณฑ์ประเมินทักษะการปฏิบัติและตัวอย่างผลประเมินของผู้เรียน



เกณฑ์ประเมินแบบรูบริกใช้สำหรับงานปฏิบัติ มีเกณฑ์ประเมินดังนี้

หัวข้อการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน				คะแนนที่ได้
	4	3	2	1	
การต่อวงจร	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ทั้งหมด -สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขก่อนเวลาที่กำหนด 15 นาที	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขพอดีภายในเวลาที่กำหนด	- สามารถต่อวงจรได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขที่กำหนดได้ - สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด	- ไม่สามารถต่อวงจรให้ตรงตามเงื่อนไขได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำไม่ได้ครบทุกเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด	
รวม	4				

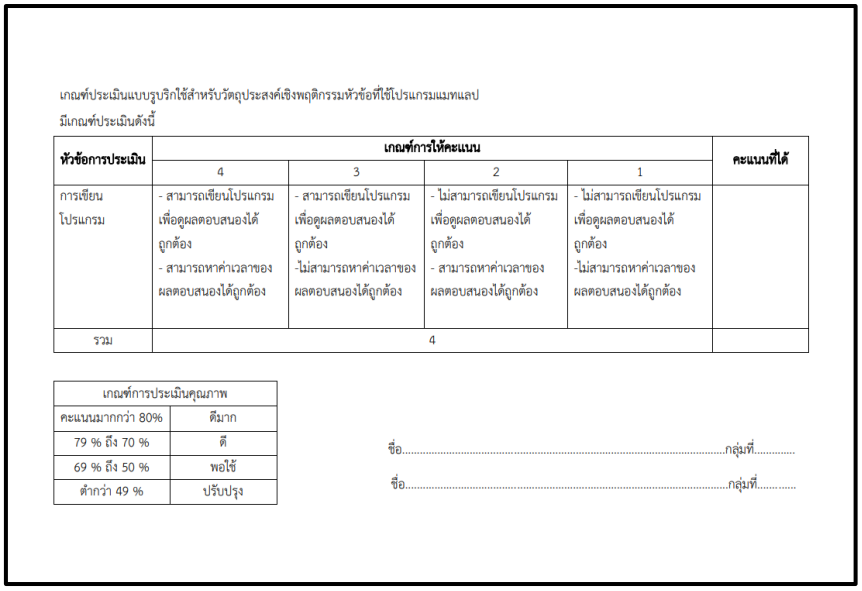
เกณฑ์การประเมินคุณภาพ	
คะแนนมากกว่า 80%	ดีมาก
79 % ถึง 70 %	ดี
69 % ถึง 50 %	พอใช้
ต่ำกว่า 49 %	ปรับปรุง

ชื่อ.....กลุ่มที่.....

ชื่อ.....กลุ่มที่.....

ภาพที่ จ-1 เกณฑ์ประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียน

จากภาพที่ จ-1 เป็นเกณฑ์สำหรับประเมินด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียน โดยการให้คะแนนมาจากการสังเกตผู้เรียนและให้คะแนนตามลำดับ



เกณฑ์ประเมินแบบรูบริกใช้สำหรับวัดถุประสงค์เชิงพฤติกรรมหัวข้อที่ใช้โปรแกรมแมทแลป มีเกณฑ์ประเมินดังนี้

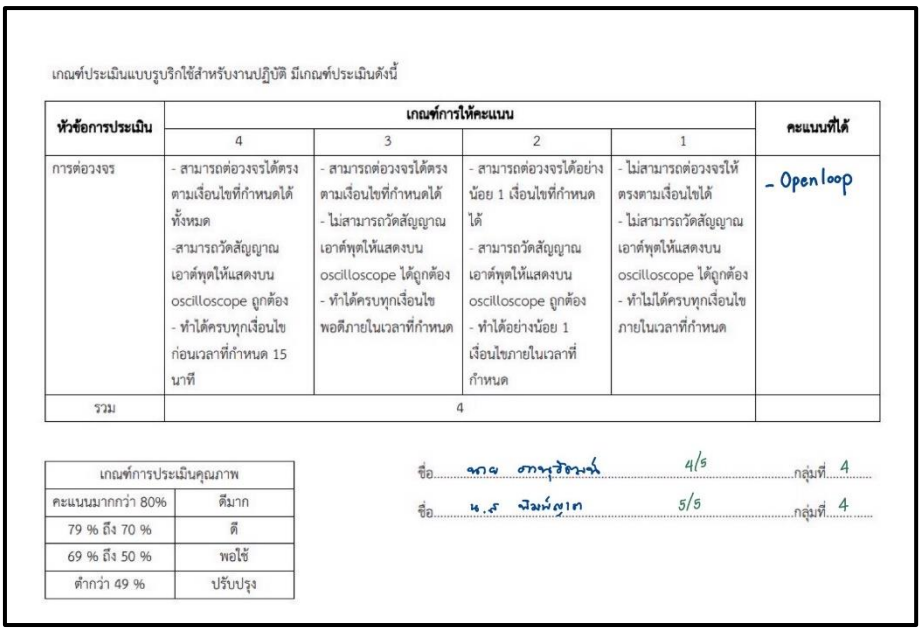
หัวข้อการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน				คะแนนที่ได้
	4	3	2	1	
การเขียนโปรแกรม	- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง - สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง -ไม่สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	- ไม่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง - สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	- ไม่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง -ไม่สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	
รวม	4				

เกณฑ์การประเมินคุณภาพ	
คะแนนมากกว่า 80%	ดีมาก
79 % ถึง 70 %	ดี
69 % ถึง 50 %	พอใช้
ต่ำกว่า 49 %	ปรับปรุง

ชื่อ.....กลุ่มที่.....

ชื่อ.....กลุ่มที่.....

ภาพที่ จ-1 (ต่อ)



เกณฑ์ประเมินแบบรูบริกใช้สำหรับงานปฏิบัติ มีเกณฑ์ประเมินดังนี้

หัวข้อการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน				คะแนนที่ได้
	4	3	2	1	
การต่อวงจร	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ทั้งหมด -สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขก่อนเวลาที่กำหนด 15 นาที	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขพอดีภายในเวลาที่กำหนด	- สามารถต่อวงจรได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขที่กำหนดได้ - สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด	- ไม่สามารถต่อวงจรให้ตรงตามเงื่อนไขได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำไม่ได้ครบทุกเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด	- Open loop
รวม	4				

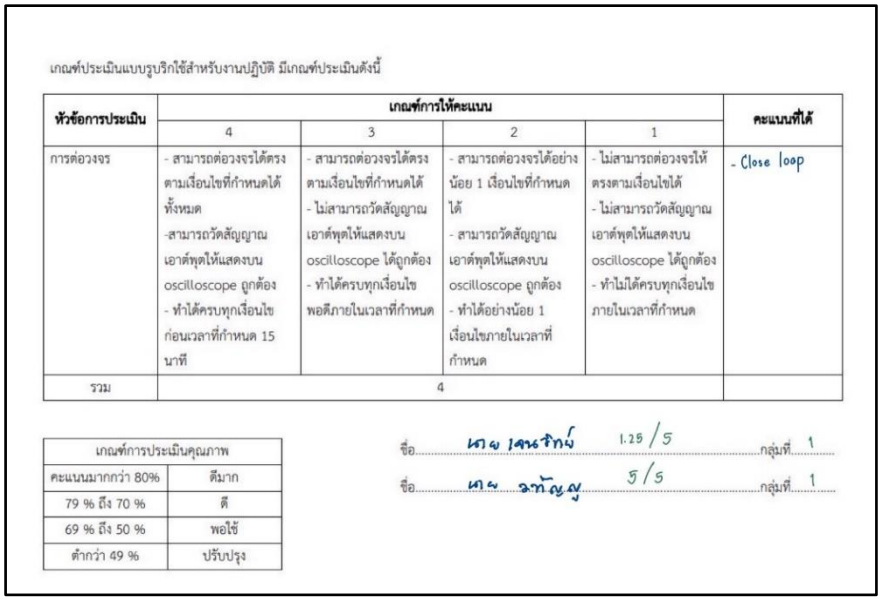
เกณฑ์การประเมินคุณภาพ	
คะแนนมากกว่า 80%	ดีมาก
79 % ถึง 70 %	ดี
69 % ถึง 50 %	พอใช้
ต่ำกว่า 49 %	ปรับปรุง

ชื่อ นาย ภานุวัฒน์ 4/5 กลุ่มที่ 4

ชื่อ น.ส. ฉิมพ์ญาภา 5/5 กลุ่มที่ 4

ภาพที่ จ-2 ตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนแบบทดสอบการควบคุมลูปเปิด

จากภาพที่ จ-2 เป็นตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนที่ทำแบบทดสอบการควมคุมลูปเปิด วงจรพี โดยเป็นนักศึกษาเพศหญิงได้คะแนนปฏิบัติ 5 คะแนน และนักศึกษาเพศชายได้คะแนนปฏิบัติ 4 คะแนน



เกณฑ์ประเมินแบบรูบริกใช้สำหรับงานปฏิบัติ มีเกณฑ์ประเมินดังนี้

หัวข้อการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน				คะแนนที่ได้
	4	3	2	1	
การต่อวงจร	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ทั้งหมด -สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขก่อนเวลาที่กำหนด 15 นาที	- สามารถต่อวงจรได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำได้ครบทุกเงื่อนไขพอดีภายในเวลาที่กำหนด	- สามารถต่อวงจรได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขที่กำหนดได้ - สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ถูกต้อง - ทำได้อย่างน้อย 1 เงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด	- ไม่สามารถต่อวงจรให้ตรงตามเงื่อนไขได้ - ไม่สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตให้แสดงบน oscilloscope ได้ถูกต้อง - ทำไม่ได้ครบทุกเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด	- Close loop
รวม	4				

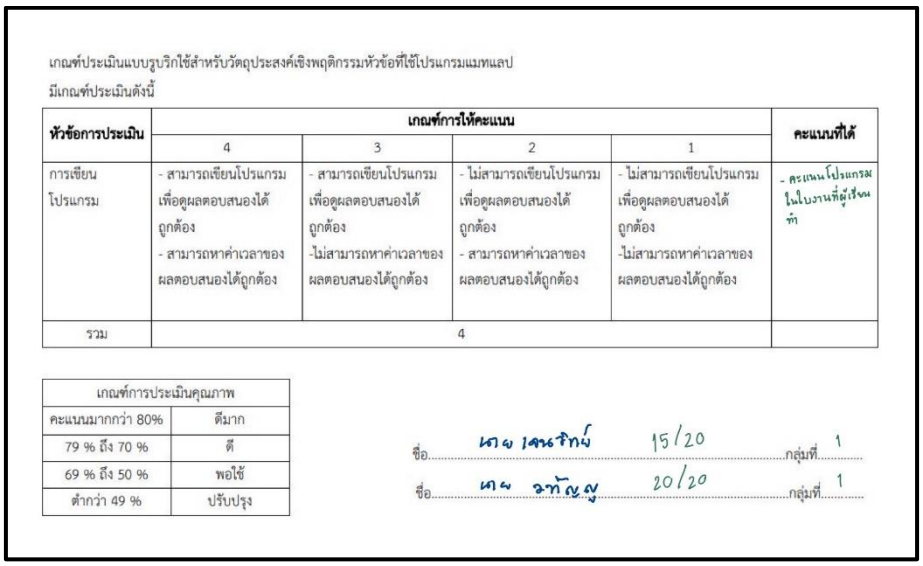
เกณฑ์การประเมินคุณภาพ	
คะแนนมากกว่า 80%	ดีมาก
79 % ถึง 70 %	ดี
69 % ถึง 50 %	พอใช้
ต่ำกว่า 49 %	ปรับปรุง

ชื่อ นาย เสนธิกุ 1.25/5 กลุ่มที่ 1

ชื่อ นาย ภาณุ 5/5 กลุ่มที่ 1

ภาพที่ จ-3 ตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนทำแบบทดสอบการควบคุมลูปปิด

จากภาพที่ จ-3 เป็นตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนที่ทำแบบทดสอบการควมคุมลูปปิด วงจรพีไอดี โดยเป็นนักศึกษาเพศชายได้คะแนนปฏิบัติ 1.25 คะแนน และนักศึกษาเพศชายได้คะแนนปฏิบัติ 5 คะแนน



เกณฑ์ประเมินแบบรูบริกใช้สำหรับวัดฤประสงค์เชิงพฤติกรรมหัวข้อที่ใช้โปรแกรมแมทแลป
มีเกณฑ์ประเมินดังนี้

หัวข้อการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน				คะแนนที่ได้
	4	3	2	1	
การเขียนโปรแกรม	- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง - สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง -ไม่สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	- ไม่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง - สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	- ไม่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อดูผลตอบสนองได้ถูกต้อง -ไม่สามารถหาค่าเวลาของผลตอบสนองได้ถูกต้อง	- คะแนนโปรแกรมในใบงานที่ผู้เรียนทำ
รวม	4				

เกณฑ์การประเมินคุณภาพ	
คะแนนมากกว่า 80%	ดีมาก
79 % ถึง 70 %	ดี
69 % ถึง 50 %	พอใช้
ต่ำกว่า 49 %	ปรับปรุง

ชื่อ เกษ เลนรักษ์ 15/20 กลุ่มที่ 1
ชื่อ เกษ วรัญญู 20/20 กลุ่มที่ 1

ภาพที่ จ-4 ตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนจากการเขียนโปรแกรมในใบงาน

จากภาพที่ จ-4 เป็นตัวอย่างผลประเมินทักษะปฏิบัติของผู้เรียนจากการเขียนโปรแกรมในใบงาน โดยเป็นนักศึกษาเพศชายได้คะแนนปฏิบัติ 15 คะแนน และนักศึกษาเพศชายได้คะแนนปฏิบัติ 20 คะแนน

ภาคผนวก ช

ผลการตรวจสอบการคัดลอกผลงานวิชาการ

Plagiarism Checking Report

Created on 2024-04-19 20:57:04 at 20:57 PM

Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
3693817	Apr 19, 2024 at 20:53 PM	mechaproject@fte.kmutnb.ac.th	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบอุปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม.pdf	Completed	3.53 %

Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
1	Development of Op-amp Operating set for Electronics Circuit Design at Saraburi Technical College	Suwannabut, Phatcharin	วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง	0.68 %
2	Animal Planet Vocabulary Book with Augmented Reality Technology	ผาใต้, เกวลี	วารสารวิชาการ "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ"	0.64 %
3	Three-dimensional Thai Literature Book: Holwichai and Kawee with Augmented Reality Technology on Android Operating System	ศุภอรรถกร, ขาญชัย	วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ	0.38 %
4	https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/nation2019/NA19-131.pdf	rsucon.rsu.ac.th	rsucon.rsu.ac.th_nutch	0.28 %
5	การพัฒนาการเรียนรู้ เรื่อง การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	เจริญไชย, ขวัญตา	วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร	0.25 %
6	ผลของการจัดการเรียนรู้โดยวิธีการสอนแบบทำนาย สังเกต อธิบาย ต่อการเรียนเรื่องปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	สุปรียา แสงมณี	มหาวิทยาลัยรังสิต	0.23 %
7	ไดร์ฟคลีน : เว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจองการดูแลรถยนต์	กรกต แก่นแก้ว	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์	0.22 %
8	The Effectiveness of The Teaching Materials Basic Accounting 2 Course Code 2200-1003	Purahong, Vasana	วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง	0.22 %
9	LEARNING MATERIALS ON NATURAL DISASTERS USING AUGMENTED REALITY	จิ๊กระโทก, คณิศร	วารสารครุศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี	0.21 %
10	THE DEVELOPMENT OF THE LEARNING ACHIEVEMENT TEST ON ALGORITHMS AND PROGRAMMING SUBJECT	พิมพิมูล, อัจฉริย์	วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	0.19 %

ภาพที่ ช-1 ผลการตรวจสอบการคัดลอกผลงานวิชาการ

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ : นางสาวชนัญชิดา หมอยา

ชื่อปริญญานิพนธ์ : การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

สาขาวิชา : วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

ประวัติ

ประวัติการศึกษา : - การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชานุสรณ์ สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา 2563

- การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา 2566

ชื่อ : นางสาวปัณชญา โชติกะ

ชื่อปริญญานิพนธ์ : การสร้างชุดฝึกทักษะปฏิบัติสำหรับการควบคุมระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม

สาขาวิชา : วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

ประวัติ

ประวัติการศึกษา : - การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา 2563

- การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา 2566