การปรับปรุงชุดทดลองดิจิตอล สำหรับห้องปฏิบัติการ บนพื้นฐานการเรียนรู้เชิงรุก

RENOVATION OF DIGITAL KIT FOR LABORATORY BASED ON ACTIVE LEARNING

จารุต ธรรมกร่าง
เชษฐวีร์ เขื่อนแก้ว
ธนวัฒน์ ลัภยพร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงชุดทดลองดิจิตอล สำหรับห้องปฏิบัติการ บนพื้นฐานการเรียนรู้เชิงรุก

RENOVATION OF DIGITAL KIT FOR LABORATORY BASED ON ACTIVE LEARNING

T143859

จารุต ธรรมกร่าง
เชษฐวีร์ เขื่อนแก้ว
ธนวัฒน์ ลัภยพร

ลย.
จ322ก
2558
เลขหมู่
เลขทะเบียน 143859
วัน.เดือน.ปี 04 ต.ค. 2559
b00266817
.b.12810049
.i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RENOVATION OF DIGITAL KIT FOR LABORATORY BASED ON ACTIVE LEARNING

JARUT THUMMAKRANG
CHETTAWEE KUEANKAEO
TANAWAT LUPPAYAPORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การปรับปรุงชุดทดลองดิจิตอล สำหรับห้องปฏิบัติการบนพื้นฐานการเรียนรู้เชิงรุก

RENOVATION OF DIGITAL KIT FOR LABORATORY BASED ON ACTIVE LEARNING

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายจารุต	ธรรมกร่าง	**รหัสนักศึกษา** 55010154
	นายเชษฐวีร์	เขื่อนแก้ว	**รหัสนักศึกษา** 55010293
	นายธนวัฒน์	ลัภยพร	**รหัสนักศึกษา** 55010513
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2558		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การปรับปรุงชุดทดลองดิจิตอล สำหรับห้องปฏิบัติการบนพื้นฐานการเรียนรู้เชิงรุก
RENOVATION OF DIGITAL KIT FOR LABORATORY BASED ON ACTIVE LEARNING

นักศึกษาผู้จัดทำ นายจารุต ธรรมกร่าง **รหัสนักศึกษา** 55010154
นายเชษฐวีร์ เขื่อนแก้ว **รหัสนักศึกษา** 55010293
นายธนวัฒน์ ลัภยพร **รหัสนักศึกษา** 55010513

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้น ภายใต้แนวคิดการเรียนรู้เชิงรุก ที่มุ่งเน้นการเสริมทักษะ ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์พื้นฐานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ จากอุปกรณ์จริง รวมถึงการนำอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้น มาเชื่อมต่อร่วมกับวงจรดิจิตอล ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับนักศึกษาที่เข้ามาเรียนในหลักสูตร เนื่องจากนักศึกษาทั้งหมดเป็นนักเรียนในสายสามัญ และส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดจะไม่มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์เหล่านี้เลย รวมถึงอาจไม่เคยได้สัมผัสอุปกรณ์เหล่านี้อีกด้วย ดังนั้นการสอนทักษะและความรู้พื้นฐานและความเข้าใจในเรื่องเหล่านี้จึงมีความสำคัญมากต่อการพัฒนาต่อยอดความรู้ทางด้านวิศวกรรมของนักศึกษา ในขั้นที่สูงขึ้นไปต่อไปประกอบกับที่ผ่านมานั้น การทดลองเดิมนั้นจะใช้อุปกรณ์ที่เป็นชุดทดลองซึ่งมีอยู่จำนวนจำกัดทำให้มีอุปกรณ์ไม่เพียงพอกับจำนวนนักศึกษาต้องทำเป็นคู่ ด้วยเหตุนี้ จึงมีแนวคิดที่จะทำโครงการดังกล่าวขึ้นเพื่อให้มีอุปกรณ์เพียงพอกับนักศึกษา ซึ่งจะทำให้นักศึกษาทุกคนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ทั้งนี้เพื่อเป็นการเสริมสร้างความเข้าใจและจินตนาการของนักศึกษา รวมถึงได้มีการวางแผนที่จะให้นักศึกษาแต่ละคนจะต้องออกแบบวงจรของตนเองและต่อวงจรให้สามารถทำงานได้จริง เพื่อส่งเป็นชิ้นงานในสัปดาห์สุดท้ายของการเรียนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	RENOVATION OF DIGITAL KIT FOR LABORATORY BASED ON ACTIVE LEARNING	
Authors	Mr. Jarut	Thummakrang
	Mr. Chettawee	Kueankaeo
	Mr. Tanawat	Luppayaporn
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sutham	Satthamsakul
Year	2015	

ABSRACT

This project presents Digital Laboratory on the basic concept of proactive learning to improve skills and enhance knowledge of electronic and electronical devices including combination of components into a digital circuit. For engineering students, this experiment is very crucial since most of them neither have knowledge background nor understanding of the use of fundamental electronic devices. Therefore, from this project, students will acheive a lot of valuable experiences that will definitely be useful for thier future career. Their knowledge will also be applied more systematically and effectively.

Also, there was little laboratory equipment for students, so they unavoidably had to work in pair. Hence, this project was initiated to provide an appropriate number of equipment for them as well as to improve and develop their understanding of the new model. Students are also expected to design their own eletronic circuit which can be used practically. Their work is supposed to be submitted in the last week of class.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอุปถัมภ์จากบุคคลหลายฝ่ายที่ให้คำปรึกษาและชี้แนวทาง ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาข้อผิดพลาดและอุปสรรคต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จไปด้วยดี นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา และสุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว เป็นอย่างสูงสำหรับความรัก กำลังใจ เป็นที่ปรึกษา และการสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ที่มอบให้อย่างสม่ำเสมอจนเกิดเป็นแรงผลักดัน ที่ทำให้โครงงานนี้ประสบความสำเร็จและลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ VII

สารบัญตาราง X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า 4

2.1.1 แอมป์มิเตอร์ 4

2.1.2 โวลต์มิเตอร์ 5

2.1.3 โอห์มมิเตอร์ 6

2.1.4 ออสซิโลสโคป 6

2.2 สัญญาณในระบบสื่อสาร 7

2.2.1 สัญญาณแบบแอนะลอก 7

2.2.2 สัญญาณแบบดิจิตอล 9

2.3 ระบบจอสัมผัส 11

2.3.1 โปรแกรมสำหรับออกแบบหน้าจอระบบสัมผัส 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 บอร์ดอาร์ดูโนเมกา (Arduino Mega 2560)....12
2.4.1 การจ่ายพลังงาน....13
2.4.2 หน่อยความจำ....13
2.4.3 อินพุตและเอาต์พุต....14
2.4.4 การสื่อสาร....14
2.5 การสื่อสารด้วยพอร์ต UART....15

บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินงาน....17
3.1 กล่าวนำ....17
3.2 การออกแบบลายวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board)....18
3.2.1 ฮุกสวิตซ์ (Hook switch)....18
3.2.2 ไมโครสวิตซ์ (Micro switch)....19
3.2.3 สไลด์สวิตซ์ 3 ขา (Slide switch)....19
3.2.4 สไลด์สวิตซ์ 8 ขา (Slide switch)....20
3.2.5 ทอกเกิลสวิตซ์ 3 ขา (Toggle switch)....21
3.2.6 ทอกเกิลสวิตซ์ 6 ขา (Toggle switch)....22
3.3 การออกแบบอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ....24
3.4 การออกแบบโครงสร้าง....27
3.5 การสร้างอุปกรณ์ช่วยสอน....30
3.5.1 การออกแบบระบบ....30
3.5.2 การออกแบบหน้าจอสัมผัส....31
3.5.3 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอน....35

บทที่ 4 ผลการทดลอง....37
4.1 กล่าวนำ....37
4.2 ผลการทดลอง....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 ผลการทดลองพัลส์วิทมอดูเลชัน (PWM).....37
4.2.2 ผลการทดลองพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์.....40

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 43
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 43
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 43

บรรณานุกรม **44**
ภาคผนวก.....**45**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 แอมป์มิเตอร์....4
2.2 โวลต์มิเตอร์....5
2.3 เครื่องออสซิโลสโคป....7
2.4 กราฟคลื่นไซน์....8
2.5 กราฟแสดงคาบเวลา....8
2.6 กราฟแสดงความถี่....8
2.7 คลื่นสัญญาณในแบบต่าง ๆ....9
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Bite Rate และ Bit Interval....10
2.9 การปรับค่าดิวตี้ไซเคิล....11
2.10 ระบบจอสัมผัส....12
2.11 บอร์ดอาร์ดูโนเมกา....13
2.12 รูปแบบการสื่อสารของ TTL และ RS232....15
2.13 รูปแบบการสื่อสารของ UART....16
3.1 ฮุกสวิตช์ (Hook Switch)....18
3.2 ไมโครสวิตช์ (Micro Switch)....19
3.3 สไลด์สวิตช์ 3 ขา (Slide Switch)....20
3.4 สไลด์สวิตช์ 8 ขา (Slide Switch)....21
3.5 ทอกเกิลสวิตช์ 3 ขา (Toggle Switch)....22
3.6 ทอกเกิลสวิตช์ 6 ขา (Toggle Switch)....23
3.7 วงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม....24
3.8 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม....25
3.9 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์....26
3.10 แผนผังการทำงานของจอสัมผัส....31
3.11 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส....31
3.12 แผนภาพหน้าแรกของหน้าจอสัมผัส....31
3.13 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (เมนูหลัก)....31
3.14 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (เมนูทดสอบ)....32
3.15 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (เมนูลอจิกมอนิเตอร์)....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.16 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชันเปิด – ปิด).....32
3.17 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชันไฟติดสลับ).....32
3.18 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (เมนู 7-segment).....32
3.19 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชัน Control 7-Segment).....33
3.20 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (เมนู Keypad for 7-Segment).....33
3.21 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชัน Common Cathode).....33
3.22 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชัน Common Anode).....33
3.23 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชัน Keypad for BCD CODE).....33
3.24 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (เมนูวงจรนับ).....34
3.25 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชันวงจรนับ).....34
3.26 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชันวงจรนับแบบ Mod-10).....34
3.27 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชันวงจรบวก 2 บิต).....35
3.27 แผนภาพโปรแกรมออกแบบหน้าจอสัมผัส (ฟังก์ชันวงจรลบ 2 บิต).....35
3.29 แผนภาพโดยรวมของการต่อสายทั้งหมดของอาร์ดูโนเมกา.....35
4.1 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 0.....38
4.2 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 1/4.....38
4.3 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 1/2.....39
4.4 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 3/4.....39
4.5 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 1.....39
4.6 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 0.....40
4.7 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 1/4.....41
4.8 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 1/2.....41
4.9 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 3/4.....41
4.10 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 1.....42
5.1 อุปกรณ์ช่วยสอน.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 การคำนวณของพัลส์วิทมอดูเลชัน 27

3.2 การคำนวณของพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ 27

3.3 ข้อมูลในการเชื่อมต่อทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต 36

4.1 ผลการทดลองอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณที่ทำงานในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชัน 38

4.2 ผลการทดลองอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณที่ทำงานในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

โครงการปรับปรุงชุดทดลองดิจิตอลสำหรับห้องปฏิบัติการ บนพื้นฐานการเรียนรู้เชิงรุก มุ่งเน้นการออกแบบชุดทดลองที่มีความหลากหลายของตัวการทดลอง พร้อมทั้งอุปกรณ์ที่เป็นอินพุตและเอาต์พุต ศึกษาการใช้เครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัด รวมไปถึงศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของสวิตช์แต่ละแบบ ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของรีเลย์ รวมถึงความแตกต่างระหว่างหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (NO : Normally Open) และแบบปกติปิด (NC : Normally Closed) ความแตกต่างสัญญาณระหว่างสัญญาณแอนะลอกและสัญญาณดิจิตอล การทำงานของ LED, 7-segment และอุปกรณ์เอาต์พุตอื่น ๆ สำหรับนำไปใช้เชื่อมต่อกับวงจรดิจิตอลแบบต่าง ๆ นอกจากนั้นยังมีการสร้างเครื่องมือที่เป็นตัวช่วยสำหรับผู้สอน เพื่อเสริมความเข้าใจของนักศึกษาด้วย โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่เสมือนเป็นวงจรดิจิตอลแบบต่าง ๆ ที่ผู้สอนสามารถนำมาใช้สาธิตได้โดยไม่ต้องต่อวงจร จะใช้การเลือกหรือสั่งงานให้อุปกรณ์ทำงานเป็นวงจรดิจิตอลแบบใดนั้น สามารถทำได้ผ่านทางหน้าจอระบบสัมผัส

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1) สามารถออกแบบการทดลองที่ช่วยเสริมสร้างทักษะให้กับผู้เรียน ในด้านความรู้พื้นฐานความเข้าใจที่เกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์พื้นฐานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ จากอุปกรณ์จริง
2) สามารถออกแบบการทดลองที่ช่วยเสริมสร้างทักษะให้กับผู้เรียน ทางด้านการเรียนรู้ที่เกี่ยวกับการใช้วัดเครื่องมือชนิดต่าง ๆ
3) สามารถออกแบบการทดลองที่ช่วยเสริมสร้างทักษะให้กับผู้เรียน ในด้านการใช้งานเครื่องออสซิโลสโคป และมีความเข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างสัญญาณแอนะลอกและสัญญาณดิจิตอล
4) สามารถออกแบบการทดลองที่ช่วยเสริมสร้างทักษะให้กับผู้เรียน ในด้านการเรียนรู้ที่เกี่ยวกับหลักการทำงานของสวิตช์แต่ละแบบและรีเลย์ รวมไปถึงเสริมความเข้าใจในการทำงานและความแตกต่างระหว่างหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (NO : Normally Open) และแบบปกติปิด (NC : Normally Closed) รวมไปถึงการทำงานของ LED , 7-segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) สามารถออกแบบการทดลองที่ทำให้นักศึกษาสามารถนำความรู้ ความเข้าใจ รวมถึงจินตนาการในการนำไปใช้วางแผนและออกแบบชิ้นงานด้วยตนเองได้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1) สร้างชุดทดลองดิจิตอล สำหรับผู้เรียนในหลักสูตรได้
2) สามารถออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB : Print Circuit Board) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองได้
3) สามารถสร้างฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมความถี่ รวมถึงฟังก์ชันการปรับอัตราส่วนความกว้างของพัลส์ (PWM : Pulse width modulation) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองได้
4) สามารถสร้างเครื่องช่วยการทดลอง โดยมีการทำงานร่วมกันระหว่างหน้าจอระบบสัมผัสและบอร์ดอาร์ดูโน

1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน

1) ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลองดิจิตอลเดิม
2) ทำการทดลองเพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับชุดทดลองดิจิตอลชุดเดิม
3) ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ
4) วางแผนการปรับปรุงชุดทดลองดิจิตอลชุดใหม่
5) ทำการทดลองชุดทดลองดิจิตอลชุดใหม่ ที่ได้วางแผนไว้
6) ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์
7) จัดซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับใช้ในการทดลอง รวมถึงบัดกรีอุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์
8) เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้เป็น 2 ฟังก์ชันการทำงาน
9) ออกแบบหน้าจอระบบสัมผัสในเบื้องต้น
10) ศึกษาการใช้หน้าจอสัมผัส
11) เขียนโปรแกรมอาร์ดูโนเมกา 2560 โดยให้ทำงานร่วมกับระบบหน้าจอสัมผัส
12) ทดสอบการทำงานการเขียนโปรแกรม รวมถึงต่อวงจรทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้คิดและออกแบบชุดทดลองดิจิตอลใหม่ให้สอดคล้องกับการเรียนแบบเชิงรุก
2) ได้ความรู้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรม Mikro C
3) ได้รับความรู้ในการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้โปรแกรม Eagle
4) ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรม และควบคุมการทำงานหน้าจอแบบสัมผัสร่วมกับส่วนของอาร์ดูโนโดยใช้โปรแกรม Workshop 4D และ Arduino
5) ได้รับความรู้จากการเขียนโปรแกรม เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
6) ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการควบคุมอุปกรณ์ ให้ทำงานแทนวงจรดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญ และจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับช่างไฟฟ้าหรือวิศวกรและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานวัด เพื่อทดสอบ ตรวจซ่อมและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า ตลอดจนงานควบคุมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัย และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดต่าง ๆ อุปกรณ์ที่ใช้งานทั่วไปมีอยู่หลายชนิด และแต่ละชนิดก็มีการใช้งานที่แตกต่างกัน

2.1.1 แอมป์มิเตอร์

แอมมิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า โดยลักษณะของแอมมิเตอร์ดังรูปที่ 2.1 เมื่อมีการนำไปใช้งานในวงจรไฟฟ้าจะต้องต่อแบบอนุกรมกับวงจรหรืออนุกรมกับโหลดเสมอ ถ้าหากมีการนำไปต่อขนานจะทำให้เกิดความเสียหายกับเครื่องมือวัดได้ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างภายในของแอมมิเตอร์นั้นถูกออกแบบให้มีค่าความต้านทานที่ต่ำ เมื่อถูกต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าจะต้องไม่มีผลกระทบต่อวงจร แอมมิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดกระแสไฟตรงนั้น นิยมเรียกกันว่า ดีซีแอมมิเตอร์ (DC Ammeter) เครื่องวัดชนิดนี้จะอาศัยหลักการทำงานของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ (PMMC : Permanent Magnet Moving Coil) ดังนั้นการบ่ายเบนของเข็มที่ชี้ จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงหรือแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil) แต่เนื่องจากเป็นเครื่องวัดแบบ PMMC จึงมีข้อจำกัดคือสามารถที่จะทนกระแสได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในทางปฏิบัติจึงใช้วิธีการแบ่งกระแสให้ไหลผ่านความต้านทานชันท์ (Shunt Resistance) ที่นำมาต่อขนานกัน ซึ่งมีวิธีคำนวณได้โดยใช้กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

รูปที่ 2.1 แอมป์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 โวลต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์ หรือค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด โดยลักษณะของโวลต์มิเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์จะมีค่าสูง วิธีใช้จึงต้องต่อขนานกับวงจร ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น โวลต์ (V) โวลต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ดัดแปลงมาจากกัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) โดยต่อความต้านทานแบบอนุกรมกับกัลวานอมิเตอร์ และใช้วัดความต่างศักย์ในวงจรโดยต่อแบบขนานกับวงจรที่ต้องการวัด โวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้วัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดในวงจรซึ่งก็คือแอมมิเตอร์ เนื่องจากขณะวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร หรือแหล่งจ่ายแรงดันจะต้องมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์จึงทำให้เข็มมิเตอร์บ่ายเบนไป และการที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์ได้ก็ต้องมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามา กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน กระแสไฟฟ้าไหลได้น้อยถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ามาน้อย เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลน้อยเข็มชี้ก็จะบ่ายเบนไปน้อย ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ามามากกระแสไฟฟ้าไหลมากเข็มก็บ่ายเบนไปมาก โวลต์มิเตอร์สร้างขึ้นเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดัน หรือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างจุดสองจุดในวงจร การวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยโวลต์มิเตอร์จึงเปรียบเสมือนการวัดความดันของน้ำในท่อส่งน้ำด้วยเกจวัดความดัน โดยต้องต่อท่อเพิ่มจากท่อเดิมไปยังเกจวัดในทำนองเดียวกันกับการวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร ต้องใช้โวลต์มิเตอร์นำไปต่อขนานกับจุดวัดในตำแหน่งที่ต้องการวัด

รูปที่ 2.2 โวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 โอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดที่ใช้วัดค่าความต้านทาน สามารถทำได้โดยการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานซึ่งไม่ทราบค่า และวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ชนิดของโอห์มมิเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม จะประกอบด้วย เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานและตัวแบตเตอรี่ ในวงจรโอห์มมิเตอร์จะมีค่าความต้านทานสำหรับใช้ในการปรับค่าศูนย์ของโอห์มมิเตอร์ ก็คือการต่อสายตัวนำให้ลัดวงจร ผลของการปรับค่าศูนย์จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรมีค่าสูงสุด ซึ่งสามารถปรับค่าความต้านทาน จนกระทั่งเข็มมิเตอร์ชี้ค่ากระแสสูงสุดของสเกลก็คือตำแหน่ง “ศูนย์โอห์ม” บนสเกล การปรับค่าศูนย์จะต้องมีการกระทำทุกครั้ง เมื่อจะใช้วัดค่าความต้านทาน เพื่อค่าที่จะได้จากการวัดที่ถูกต้อง
2) โอห์มมิเตอร์แบบขนาน ซึ่งเป็นวงจรที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ต่ออนุกรมกับความต้านทานที่ปรับค่าได้ และขดลวดเคลื่อนที่ของมิเตอร์

2.1.4 ออสซิโลสโคป

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดที่สามารถแสดงรูปคลื่นของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยแสดงเป็นกราฟของแรงดันบนแกนเวลาที่จอภาพ เปรียบเสมือนเป็นโวลท์มิเตอร์ที่มีฟังก์ชันพิเศษแสดงค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปตามเวลา และด้วยช่องขนาด 1 ตารางซม. ทำให้สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเวลาจากจอภาพได้ แต่เดิมกราฟนี้ ปกติเรียกว่ารอยเส้น (trace) ถูกเขียนโดยลำอิเล็กตรอนที่ยิงมากระทบหน้าจอซึ่งฉาบด้วยฟอสเฟอร์ทำให้เกิดการเปล่งแสง ปกติจะเป็นสีเขียวหรือน้ำเงิน ทำนองเดียวกันกับการเกิดภาพของจอโทรทัศน์แบบจอแก้ว แต่ในปัจจุบันออสซิลโลสโคปได้มีการปรับเปลี่ยนไปเป็นแบบดิจิตอล และได้นำจอ LCD มาใช้เป็นตัวแสดงผลแทนมีลักษณะรูปที่ 2.3 สำหรับงานที่สามารถนำออสซิสโลสโคปไปใช้งานได้มีดังนี้

1) ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)
2) ใช้วัดค่า คาบเวลา และความถี่ของสัญญาณ
3) ใช้วัดผลต่างเฟสของสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ 2 สัญญาณ
4) ใช้เพื่อตรวจวัดสัญญาณภายในของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณและความถี่ เช่น การปรับจูนเครื่องรับส่งวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์วีดีโอ และ เครื่องเสียง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 เครื่องออสซิโลสโคป

2.2 สัญญาณในระบบสื่อสาร

สัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือสัญญาณแอนะลอกและสัญญาณดิจิตอล สัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องของสัญญาณแปรผันตามเวลา ส่วนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องแทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดงสถานะเพียง 2 สถานะคือ 0 และ 1 เท่านั้น ซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

2.2.1 สัญญาณแบบแอนะลอก

เป็นรูปคลื่นที่มีลักษณะของสัญญาณต่อเนื่อง อาจจะแกว่งขึ้นลงหรือราบเรียบ แต่การเปลี่ยนแปลงจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปแปรผันตามเวลา ค่าระดับสัญญาณจะอยู่ในช่วงระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของคลื่น โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดจะแทนด้วยหน่วยแรงดันไฟฟ้า (voltage) แต่สัญญาณแอนะลอกสามารถถูกรบกวนได้ง่ายจากสัญญาณรบกวน (Noise) หากมีสัญญาณรบกวนปะปนมากับสัญญาณแอนะลอก จะส่งผลให้สัญญาณข้อมูลต้นฉบับเปลี่ยนแปลงไป และการจำแนกหรือตัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณข้อมูลต้นฉบับสามารถทำได้ยาก สำหรับการพิจารณาสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1) แอมพลิจูด (Amplitude) คือระดับหรือขนาดของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การแกว่งของคลื่นซายน์ (Sine Wave) ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะลอกที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณเป็นรูปคลื่นขึ้นลงสลับกันเป็นไปตามเวลา และเป็นสัญญาณแบบสมบูรณ์ แอมพลิจูดจะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดจากจุดสูงสุดของคลื่น (High Amplitude) หรือจุดต่ำสุด (Low Amplitude) มีหน่วยวัดเป็นโวลต์ (Volt) แสดงตามหมายเลข 1 ในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

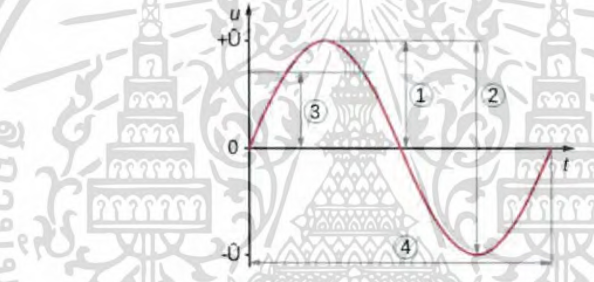
2) คาบเวลา (Period) คือระยะเวลาที่คลื่นมีการขึ้นลงครบหนึ่งรอบ แสดงตามรูปที่ 2.5 โดยคาบเวลามีหน่วยเป็น วินาที และใช้ตัว T เป็นสัญลักษณ์

3) ความถี่ (Frequency) คือจำนวนคาบเวลาใน 1 วินาที แสดงตามรูปที่ 2.6 โดยจะใช้หน่วยวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hertz : Hz)

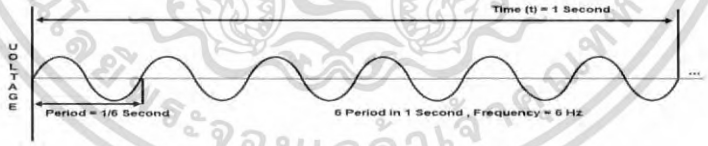
ความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ (Frequency : f) และคาบเวลา (period : T) แสดงตามสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

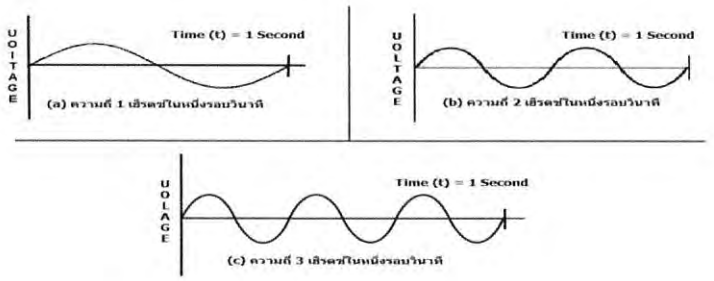
$$T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.4 กราฟคลื่นซายน์



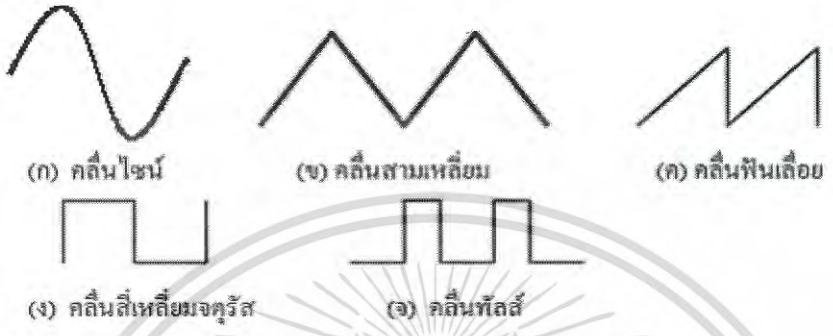
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงคาบเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความถี่

ลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณนั้นมีหลายรูปแบบ เช่น รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular wave) รูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw tooth Wave) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และรูปคลื่นพัลส์ (Pulse Wave) เป็นต้น แสดงตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 คลื่นสัญญาณในแบบต่าง ๆ

2.2.2 สัญญาณแบบดิจิตอล

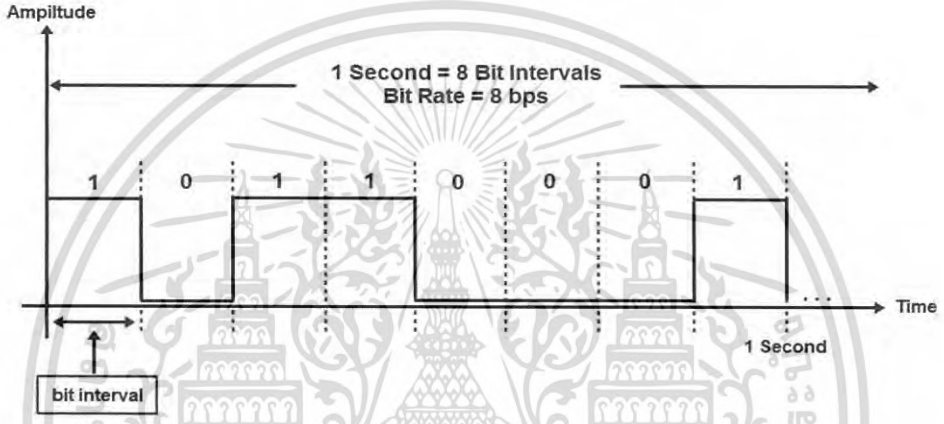
สัญญาณแบบดิจิตอลเป็นสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง และมีระดับสัญญาณอ้างอิงเพียงแค่ 2 ระดับคือ 0 กับ 1 ซึ่ง 0 แทนแรงดันไฟฟ้าศูนย์และ 1 แทนแรงดันไฟฟ้าบวก แสดงตามรูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแบบทันทีทันใด มีคุณสมบัติเด่น คือทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี และยังสามารถจำแนกข้อมูลออกจากสัญญาณรบกวนได้ง่ายกว่าหากระดับของสัญญาณรบกวนนั้นไม่มากนัก แต่สัญญาณแบบดิจิตอลจะถูกลดทอนหรือมีระดับลดลง เมื่อถูกส่งไปในระยะทางไกล ดังนั้นหากต้องการส่งข้อมูลไปในระยะไกลมาก สัญญาณแอนะลอกจะทำได้ดีกว่า สัญญาณดิจิตอลส่วนใหญ่เป็นสัญญาณชนิดไม่มีคาบ ดังนั้นคาบเวลาและความถี่จึงไม่ถูกนำมาใช้งาน โดยมีค่าที่เกี่ยวข้อง 2 ค่าคือ

1) Bit Interval มีความหมายเช่นเดียวกับคาบเวลาโดย Bit Interval คือเวลาที่ส่งข้อมูล 1 บิต
2) Bit Rate คือ จำนวนของ Bit Interval ต่อวินาที โดยมีหน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที (Bit per second : bps)

นอกจากสัญญาณดิจิตอลที่นำไปใช้ทางด้านการสื่อสารแล้ว สัญญาณดิจิตอลยังสามารถนำไปใช้กับการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ เช่น การควบคุมความสว่างของหลอด LED ซึ่งโดยปกติจะใช้เกี่ยวกับการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โดยการนำสัญญาณดิจิตอลไปสั่งให้ทำงานเป็นสถานะเปิดและปิดสลับกันอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้แสงที่ตอนมองเห็นเสมือนว่ามีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สว่างลดลงและเพิ่มขึ้นได้ โดยการควบคุมระดับความสว่างนี้จะใช้อัตราส่วนระหว่างสถานะเปิดเทียบกับคาบเวลาทั้งหมด ซึ่งเรียกว่าค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ดังนั้นค่าดิวตี้ไซเคิลก็คืออัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ต่อคาบเวลา โดยคิดเป็นเปอร์เซนต์ (%) ดังสมการที่ 2.3 โดย PW ย่อมาจาก Pulse width คือ ความกว้างของช่วงพัลส์ และ T คือหน่วยความกว้างของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม 1 ลูก โดยค่าทั้งสองมีหน่วยเป็นวินาที (Second) ซึ่งในการปรับความกว้างของพัลส์ตามค่าดิวตี้ไซเคิล นั้นจะเรียกว่า พัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ ดังแสดงตามรูปที่ 2.9



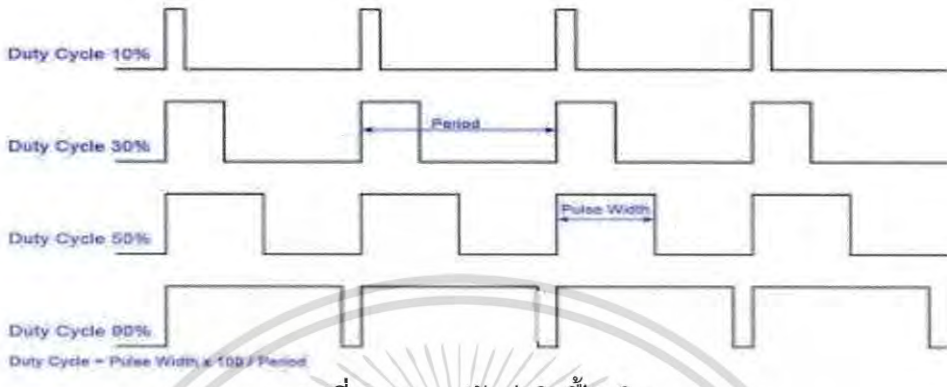
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ Bit Rate และ Bit Interval

$$\text{Duty cyle (\%)} = \frac{\text{PW}}{\text{T}} \text{x } 100\ \% \qquad (2.3)$$

สำหรับการนำสัญญาณดิจิตอลไปควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำที่พันอยู่ ขดลวดจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำและทำปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ภายในมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นมาบนตัวนำทำให้แกนหมุนไปได้ การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไป เช่น การควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาศัยกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation)



รูปที่ 2.9 การปรับค่าดิวตี้ไซเคิล

2.3 ระบบจอสัมผัส

หน้าจอระบบสัมผัสที่ใช้นั้นเป็นของบริษัท 4D systems ซึ่งเป็นผู้นำในการวิจัยพัฒนาและผลิตเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีกราฟฟิก โดยมีความเป็นเอกลักษณ์และประสิทธิภาพที่สมราคาให้แก่ลูกค้าโดยเป็นผู้นำด้านประสิทธิภาพต่อราคาของโมดูลต่าง ๆ และส่วนประมวลผลซึ่งมีการใช้งานที่หลากหลายรวมถึงทางด้านอุตสาหกรรม ได้ออกแบบพัฒนา และผลิตอุปกรณ์ที่ใช้งานเกี่ยวกับกราฟฟิกโดยใช้เทคโนโลยีล่าสุดของ OLED (organic light-emitting diode) และ LCD (liquid-crystal display) ซึ่งทำงานร่วมกับส่วนประมวลผลกราฟฟิกแบบเฉพาะที่ทำให้ทั้งสองแบบนั้นสามารถทำงานด้วยตนเอง

2.3.1 โปรแกรมสำหรับออกแบบหน้าจอระบบสัมผัส

Workshop4 นั้นเป็นซอฟท์แวร์ IDE (Integrated Development Environment) ที่ครอบคลุมสำหรับ Microsoft Windows สามารถที่จะเลือกใช้รูปแบบของการพัฒนาหลากหลายรูปแบบสำหรับโมดูลและส่วนประมวลผลตระกูล 4D ทั้งหลาย รวมกันมาไว้ที่เดียว โดยจะประกอบไปด้วย Editor, Compiler, linker และ Downloader เพื่อเขียนโปรแกรมแอปพลิเคชั่น 4DGL ที่สมบูรณ์ ในการเขียนโปรแกรมทั้งหมดนั้นถูกพัฒนาจาก Workshop4 IDE จะประกอบไปด้วย Designer , Visi , ViSi – Genie , Serial โดยตัวที่ใช้ในโครงงานนี้คือ ViSi – Genie นั้นเป็นของกราฟฟิก 4D system ที่มีกระบวนการการออกแบบที่เข้าใจง่าย โดยในการออกแบบนั้นต้องเลือกวัตถุที่ต้องการมาวางลงบนจอเหมือนกับระบบ ViSi ซึ่งในแต่ละวัตถุนั้นต้องกำหนดตัวแปร , โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเหตุการณ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่อยู่ (address) ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งในการออกแบบนั้นแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1) วัตถุรับค่า (Input object) นั้นคือปุ่มหรือคีย์บอร์ด
2) วัตถุแสดงค่า (output object) เช่น เกจวัดหรือมิเตอร์ต่าง ๆ
3) วัตถุทั้งรับและแสดงค่า (combined object, input/output object) นั้นเป็นวัตถุที่จะเป็นทั้งส่วนอินพุตและเอาต์พุต

รูปที่ 2.10 ระบบจอสัมผัส

2.4 บอร์ดอาร์ดูโนเมกา 2560 (Arduino Mega 2560)

อาร์ดูโนเมกา 2560 มีลักษณะดังรูปที่ 2.11 อาร์ดูโนเมกา 2560 นั้นเป็นบอร์ดที่มีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 2560 เป็นตัวควบคุม โดยจะมีขาอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมด 54 ขา ซึ่ง 15 ขานั้นสามารถที่จะใช้เป็นขา PWM เอาต์พุตได้, ขาแอนะลอกอินพุตมีทั้งหมด 16 ขา, 4 ขาเป็น UARTs (serial port), ใช้คริสตัลความถี่ 16 เมกกะเฮิรตซ์ (MHz), มี USB คอนเน็คเตอร์แบบ B, มีที่เสียบแหล่งจ่ายไฟแบบแจ็ค เพื่อรับไฟกระแสตรงมาจากอแดปเตอร์ โดยที่แรงดันป้อนเข้าอยู่ระหว่าง 7 ถึง 12 โวลต์, มีพอร์ตสำหรับโปรแกรมแบบ ICSP (In-Circuit Serial Programming) และสวิตช์สำหรับรีเซท เริ่มทำงานได้เพียงเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB หรือจ่ายพลังงานด้วยไฟฟ้ากระแสตรง รวมถึงการใช้แบตเตอรี่ บอร์ดอาร์ดูโนเมกา 2560 นั้นจะไม่ได้ใช้ชิพไดรเวอร์ของ FTDI เหมือนบอร์ดชนิดอื่น แต่จะใช้ชิพ Atmega16U2 เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 2560 ในรูปแบบของพอร์ตอนุกรมเสมือน (Visual Com Port) โดยโปรแกรมอาร์ดูโนจะมองเห็นพอร์ต USB ที่เชื่อมต่อกับบอร์ดอาร์ดูโนเมกา 2560 เป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรม (Com Port) ช่องหนึ่งเท่านั้น และ เนื่องจากมีบูตโหลดเดอร์ในตัว จึงสามารถโปรแกรมหน่วยความจำผ่านพอร์ต USB ได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมภายนอก และทำให้การดาวน์โหลดโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB กระทำได้อย่างสะดวกขึ้น การออกแบบฮาร์ดแวร์ที่ง่ายขึ้น ทำให้ใช้จำนวนอุปกรณ์ต่อร่วมลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 บอร์ดอาร์ดูโนเมกา

2.4.1 การจ่ายพลังงาน

บอร์ดอาร์ดูโมเมกานั้นสามารถรับพลังงานได้โดยการต่อสาย USB หรือการจ่ายพลังงานโดยตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก ทั้งจากอแดปเตอร์แปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงหรือแบตเตอรี่ โดยจะเชื่อมต่อผ่านขั้วเสียบแบบแจ็คขนาด 2.1 มิลลิเมตร บอร์ดอาร์ดูโนเมกานั้นสามารถทำงานได้ที่แรงดัน 6 ถึง 20 โวลต์ หากแหล่งจ่ายมีแรงดันต่ำกว่า 7 โวลต์ จะทำให้ขาจ่ายไฟ 5 โวลต์จ่ายไฟออกได้ไม่ถึง 5 โวลต์ และจะทำให้บอร์ดไม่เสถียร แต่หากแรงดันมากกว่า 12 โวลต์ จะทำให้โวลต์เตจเรกูเลเตอร์ร้อนมากเกินไป และทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับบอร์ดได้ โดยช่วงแรงดันที่แนะนำคือ 7 ถึง 12 โวลต์ ขาที่เกี่ยวกับการจ่ายไฟมีดังต่อไปนี้

1) ขา V_{IN} เป็นขาแรงดันขาเข้าไปยังบอร์ดอาร์ดูโนเมกา เมื่อใช้แหล่งจ่ายภายนอก จะสามารถป้อนแรงดันเข้าที่ขานี้
2) ขา 5 โวลต์ เป็นขาแรงดันขาออก 5 โวลต์จากบอร์ด และสามารถจ่ายกระแสได้สูงที่สุด 40 มิลลิแอมป์ (mA)
3) ขา 3.3 โวลต์นั้นจ่ายมาจากเรกูเลเตอร์ของบอร์ด สามารถจ่ายกระแสได้สูงที่สุด 50 มิลลิแอมป์ (mA)
4) ขากราวด์ (GND)
5) ขา IOREFขานี้จะให้แรงดันอ้างอิงเท่ากับแรงดันที่ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเลือกค่าแรงดันให้กับชิลด์ที่มาเชื่อมต่อกับบอร์ด

2.4.2 หน่วยความจำ

ATmega2560 มีหน่วยความจำ 256 กิโลไบต์ (KB) ซึ่ง 8 กิโลไบต์ (KB) นั้นจะใช้ไปกับบูตโหลดเดอร์ (bootloader) และมีสแตติกแรม (Static Random Access Memory : SRAM) ขนาด 8 กิโลไบต์ (KB) รวมถึงอีอีพรอม (EEPROM) ขนาด 4 กิโลไบต์ (KB) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้ตัวถังแบบ DIP ทำให้ง่ายต่อการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 อินพุตและเอาต์พุต

แต่ละขาของขาดิจิทัล 54 ขานั้น จะใช้เพื่อเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต โดยทำงานได้ที่แรงดัน 5 โวลต์ ในแต่ละขาสามารถจ่ายหรือรับกระแสได้สูงที่สุด 40 มิลลิแอมป์ (mA) และจะมีการความต้านทานพูลอัพภายใน 20 ถึง 50 กิโลโอห์ม โดยขาบางขาจะมีหน้าที่พิเศษ คือ

1) Serial: ขา 0 (RX) และ ขา 1 (TX), Serial1: ขา 19 (RX) และ ขา 18 (TX), Serial2: ขา 17 (RX) และ ขา 16 (TX), Serial3: ขา 15 (RX) และ ขา 14 (TX) ซึ่งขา RX นั้นเป็นขาสำหรับรับข้อมูล และขา TX เป็นขาสำหรับส่งข้อมูล ใช้การสื่อสารข้อมูลแบบ TTL (Transistor-Transistor Logic)
2) ขา PWM ขา 2 ถึง 13 และ ขา 44 ถึง 46 ให้ค่าเอาต์พุต PWM แบบ 8 บิต
3) ขา LED ขา 13 เป็นขาที่ไว้ใช้สำหรับต่อ LED จะติดเมื่อค่าที่ขานี้มีสถานะเป็นค่าศักย์ไฟสูง และจะดับเมื่อมีค่าศักย์ไฟต่ำ
4) ขา TWI (Two Wire Interface) ขา 20 เป็นขาสัญญาณ SDA (Serial Line Data) และขา 21 เป็นขาสัญญาณ SCL (Serial Clock) โดยขาเหล่านี้จะมีการใช้คำสั่งจากไลบรารีที่ชื่อว่า Wire ของอาร์ดูโน
5) ขา AREF เป็นสัญญาณอ้างอิงแบบแอนะลอกจากภายนอกที่ต้องการป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตามปกติแล้ว ATmega 2560 สามารถเขียนโปรแกรมให้เลือกใช้แรงดันอ้างอิงจากภายในได้อยู่แล้วโดยสามารถเลือกเป็น 1.1 โวลต์ หรือ 2.56 โวลต์ หรือ AVCC (+5 โวลต์) โดยไม่จำเป็นต้องป้อนแรงดันอ้างอิงจากภายนอกให้กับบอร์ด แต่ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้ว ก็สามารถป้อนแรงดันอ้างอิงจากภายนอกผ่านทางขา AREF นี้ได้ โดยแรงดันที่ป้อนต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์

2.4.4 การสื่อสาร

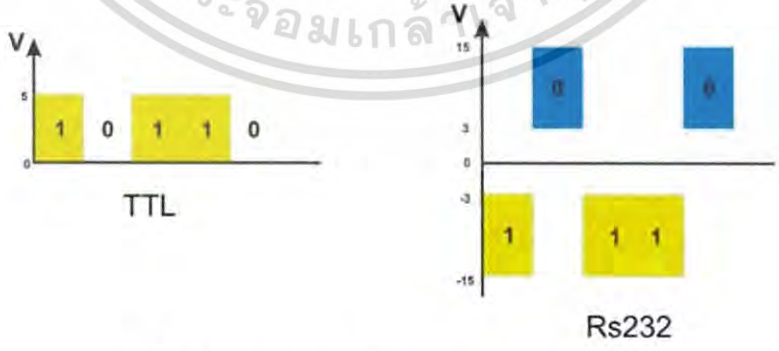
บอร์ดอาร์ดูโนเมกานั้นสามารถที่จะสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ บอร์ดอาร์ดูโนอื่น และไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ ได้โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด คือ ATmega 2560 จะใช้การสื่อสารแบบ UART TTL (5 โวลต์) ซึ่งมีอยู่ในขา 0 (RX) และ ขา 1 (TX) นอกจากนี้ ATmega 2560 ยังรองรับการสื่อสารแบบ I^2C และ การสื่อสารแบบ SPI ส่วนชิพ ATmega16U2 จะใช้การสื่อสารแบบอนุกรมผ่านพอร์ต USB และปรากฏเป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรมเสมือนไปยังซอฟท์แวร์บนคอมพิวเตอร์ โดยที่ 16U2 จะใช้เฟิร์มแวร์ไดรเวอร์ที่เป็นมาตรฐาน โดยไม่ต้องติดตั้งไดรเวอร์จากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสื่อสารด้วยพอร์ต UART

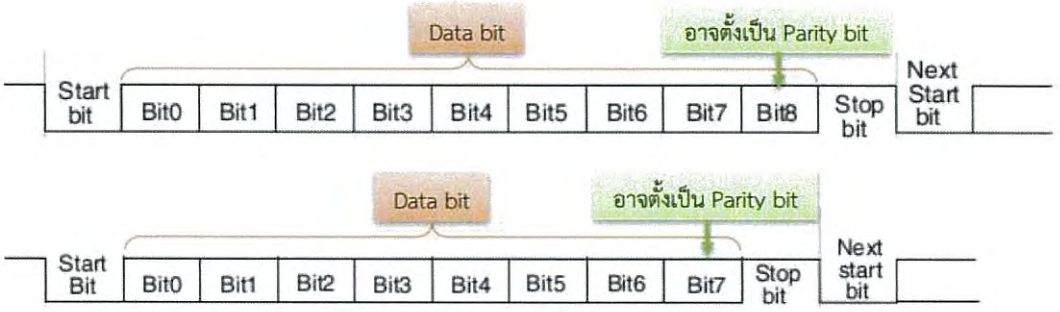
UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter เป็นการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์, RFID, GPS, GSM Module, Wifi Module เป็นต้น โดยข้อดีของการใช้การสื่อสารแบบอะซิงโคนัส (Asynchronous) คือสามารถสื่อสารแบบสองทิศทาง (Full duplex) กล่าวคือสามารถรับ และส่งข้อมูลระหว่างรีซีฟเวอร์ และ ทรานสมิตเตอร์ได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ยังไม่จำเป็นต้องใช้สายสัญญาณนาฬิกา เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล แต่มีการกำหนดรูปแบบ หรือโปรโตคอลการรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับส่งข้อมูลให้เท่ากัน การสื่อสารแบบ UART สามารถแบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณได้ 2 แบบคือ การสื่อสารแบบ TTL (Transistor-Transistor Logic) และ การสื่อสารแบบ RS232 (Recommended Standard 232) ซึ่งการสื่อสารแบบ TTL เป็นการสื่อสารแบบดิจิทัลทั่วไปที่ใช้ภายในวงจรเดียวกัน โดยสถานะลอจิก “0” จะมีแรงดันเท่ากับ 0 โวลต์ สถานะลอจิก “1” จะมีแรงดันเท่ากับ 3.3 ถึง 5 โวลต์ แต่การสื่อสารแบบ RS232 เป็นการสื่อสารที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกโดยสถานะลอจิก “1” จะมีแรงดันตั้งแต่ -15 ถึง -5 โวลต์ สถานะลอจิก “0” จะมีแรงดันตั้งแต่ +5 ถึง +15 โวลต์ รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองรูปแบบ โดยรูปแบบการสื่อสารของ UART ตามดังรูปที่ 2.13 โดยมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดคุณสมบัติเหล่านี้ให้เหมือนกันทั้งรีซีฟเวอร์ และ ทรานสมิตเตอร์ประกอบด้วย

1) เริ่มต้นบิตเป็นสถานะต่ำ
2) สามารถกำหนดจำนวนข้อมูลของบิตข้อมูลให้เป็น 8 และ 9 บิต
3) สามารถกำหนดชนิดของบิตแสดงสภาวะเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity Bit)
4) บิตหยุดมีจำนวน 0.5, 1, 1.5 และ 2 บิต



รูปที่ 2.12 รูปแบบการสื่อสารของ TTL และ RS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รูปแบบการสื่อสารของ UART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ และการดำเนินงานในการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้สำหรับการทดลอง โดยอุปกรณ์ที่เป็นอินพุตซึ่งประกอบไปด้วย สวิตซ์แบบต่าง ๆ จะทำการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อมารองรับการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถต่อใช้งานได้อย่างสะดวก ส่วนอุปกรณ์ที่เป็นเอาต์พุตจะประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดสัญญาณที่เป็นทั้งสัญญาณความถี่และสัญญาณแบบพัลส์วิทมอดูเลชันที่สามารถปรับค่าได้ โดยในส่วนนี้จะสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการเขียนโปรแกรมควบคุมสัญญาณเอาต์พุต อีกส่วนหนึ่งคือการออกแบบการทดลองในแต่ละสัปดาห์ และส่วนสุดท้ายคือการออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอน เพื่อเสริมความเข้าใจของนักศึกษา โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่เสมือนเป็นวงจรดิจิตอลแบบต่าง ๆ ที่ผู้สอนสามารถนำมาใช้สาธิตได้ โดยไม่จำเป็นต้องต่อวงจร ซึ่งจะใช้การเลือกหรือสั่งงานให้อุปกรณ์ทำงานเป็นวงจรดิจิตอลแบบใดนั้นสามารถทำได้ผ่านทางหน้าจอระบบสัมผัส

การเรียนการสอนในปัจจุบันมี 15 สัปดาห์ต่อภาคการศึกษา แบ่งเป็นภาคทฤษฎี 3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ รวมเป็น 45 ชั่วโมงและภาคปฏิบัติ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวมเป็น 12 ชั่วโมง ดังนั้นเพื่อให้เกิดการเรียนรู้แบบเชิงรุก และให้ตัวนักศึกษาเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้จากการลงภาคปฏิบัติ จึงได้ออกแบบการเรียนการสอนใหม่ โดยยึดหลัก “ลดเวลาเรียนเพิ่มเวลารู้” ด้วยการลดจำนวนการเรียนในภาคทฤษฎีลงเหลือเพียง 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และเพิ่มเวลาในการลงภาคปฏิบัติจาก 4 สัปดาห์เป็น 15 สัปดาห์ต่อภาคการศึกษา ซึ่งจะทำให้เวลาเรียนภาคทฤษฎีลดลงเหลือ 30 ชั่วโมง และเพิ่มเวลาในการลงภาคปฏิบัติเป็น 45 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 33 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

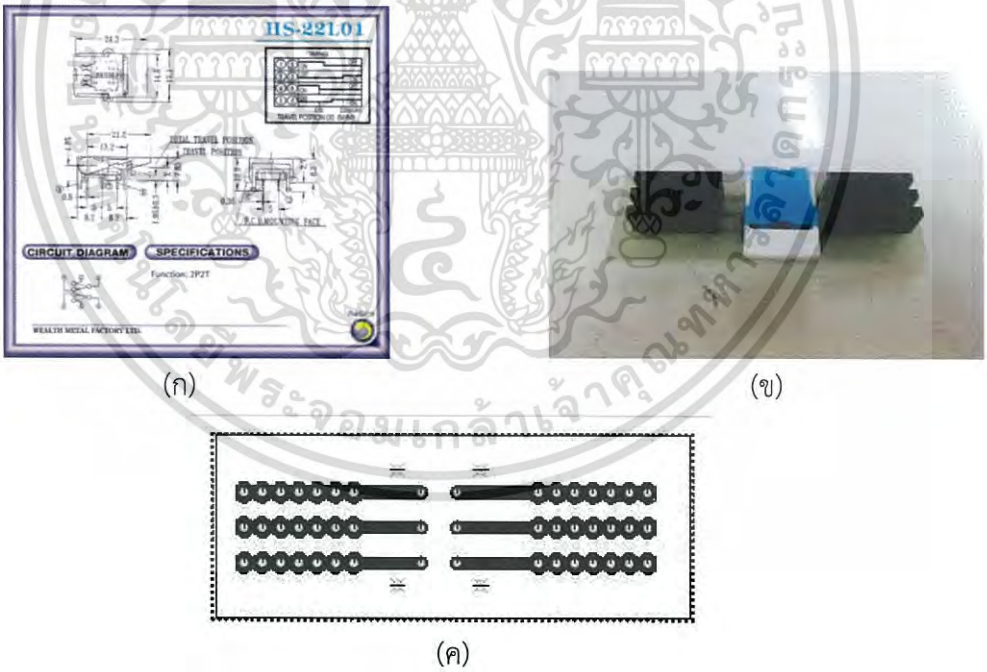
143859

3.2 การออกแบบลายวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board)

การออกแบบเพื่อสร้างลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้โปรแกรม Eagle 7.1 เพื่อนำมาใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับนำไปใช้งานในการทดลองภาคปฏิบัติในวิชาดิจิตอล ซึ่งอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการออกแบบลายวงจรพิมพ์นั้นมีหลายชนิด ประกอบด้วย

3.2.1 ฮุกสวิตซ์ (Hook switch)

จากโครงสร้างและการเชื่อมต่อของขาแต่ละขาของฮุกสวิตซ์ ตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.1 (ก) จะเห็นว่า ประกอบด้วยหน้าสัมผัส 2 ชุด โดยหน้าสัมผัสชุดแรกจะมีขา 3 เป็นขาร่วม (common) ส่วนขา 1 และ 2 เป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally open : NO) และปกติปิด (Normally close : NC) ตามลำดับ ส่วนหน้าสัมผัสชุดที่สองจะมีขาที่ 6 เป็นขาร่วมและขา 4 และ 5 เป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิดและปกติปิดตามลำดับ โดยแผ่นวงจรพิมพ์ออกแบบมีลายวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ค) สำหรับรูปที่ 3.1 (ข) จะแสดงให้เห็นถึงฮุกสวิตซ์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว



(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ 3.1 ฮุกสวิตซ์ (Hook switch)

(ก) เอกสารอ้างอิงของฮุกสวิตซ์

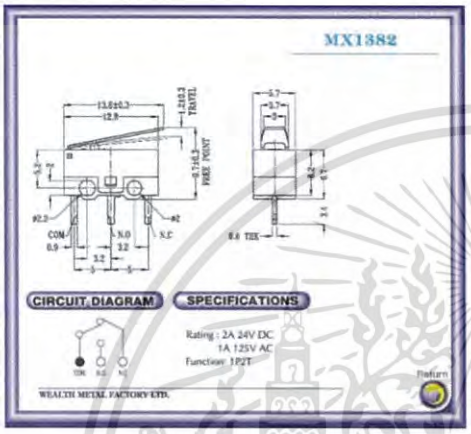
(ข) ฮุกสวิตซ์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างสมบูรณ์

(ค) ลายวงจรพิมพ์ของฮุกสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

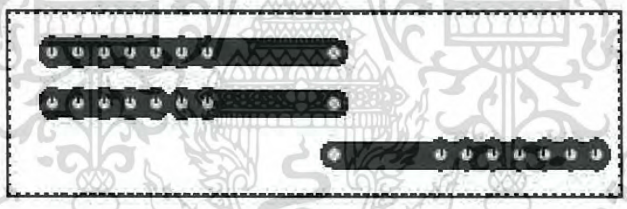
3.2.2 ไมโครสวิตซ์ (Micro Switch)

จากโครงสร้างและการเชื่อมต่อของขาแต่ละขาของไมโครสวิตซ์ ตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.2 (ก) จะเห็นได้ว่า ประกอบด้วย 3 ขา โดยจุดสีดำจะเป็นขาร่วม ส่วนขาปกติปิด และขาปกติเปิด เป็นหน้าสัมผัสแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบมีลายวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ค) สำหรับรูปที่ 3.2 (ข) แสดงให้เห็นถึงไมโครสวิตซ์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว



(ก)

(ข)



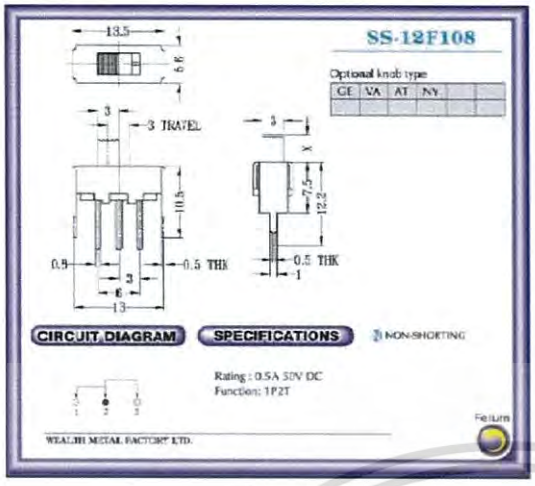
(ค)

รูปที่ 3.2 ไมโครสวิตซ์ (Micro Switch)
(ก) เอกสารอ้างอิงของไมโครสวิตซ์
(ข) ไมโครสวิตซ์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างสมบูรณ์
(ค) ลายวงจรพิมพ์ของไมโครสวิตซ์

3.2.3 สไลด์สวิตซ์ 3 ขา (Slide switch)

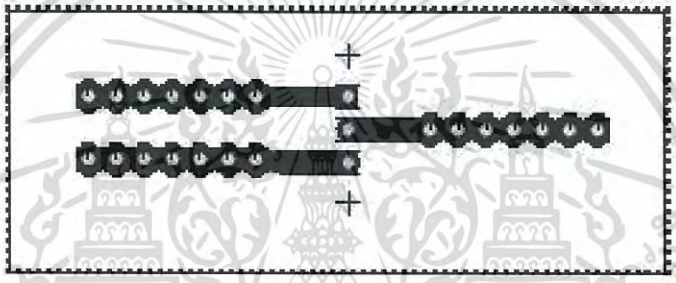
จากโครงสร้างและการเชื่อมต่อของขาแต่ละขาของสไลด์สวิตซ์ ตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.3 (ก) จะเห็นได้ว่า ประกอบด้วย 3 ขา โดยมี 2 หน้าสัมผัส 1 ชุด จะมีขากลางที่แสดงด้วยจุดดำเป็นขาร่วม ส่วนขาด้านซ้ายและขวา เป็นขาปกติปิด และ ขาปกติเปิด เป็นหน้าสัมผัสตามลำดับ สำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบมีลายวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ค) และรูปที่ 3.3 (ข) แสดงให้เห็นถึงสไลด์สวิตซ์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



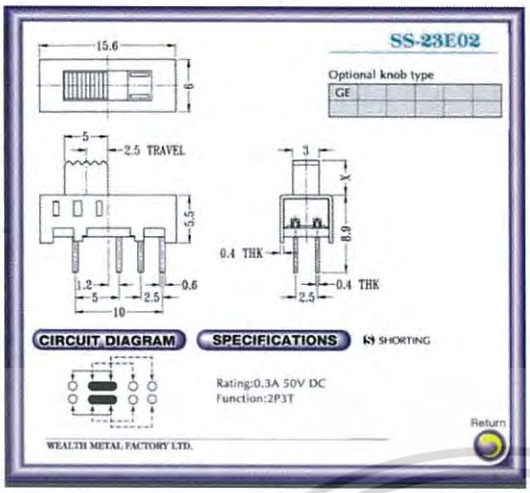
(ค)

รูปที่ 3.3 สไลด์สวิตช์ 3 ขา (Slide switch)
(ก) เอกสารอ้างอิงของสไลด์สวิตช์ 3 ขา
(ข) สไลด์สวิตช์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างสมบูรณ์
(ค) ลายวงจรพิมพ์ของสไลด์สวิตช์ 3 ขา

3.2.4 สไลด์สวิตช์ 8 ขา (Slide switch)

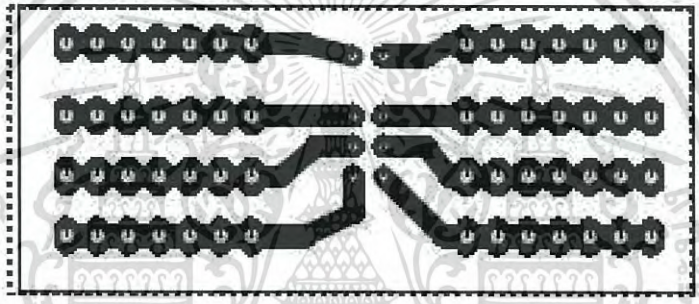
จากโครงสร้างและการเชื่อมต่อของขาแต่ละขาของสไลด์สวิตช์ ตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.4 (ก) จะเห็นได้ว่า ประกอบไปด้วย 8 ขา ซึ่งสามารถสลับหน้าสัมผัสได้ 3 หน้าสัมผัส 2 ชุด โดยตำแหน่งที่สวิตช์เลือกนั้นจะมี 3 ตำแหน่ง ทำให้หน้าสัมผัส 1 ใน 3 เชื่อมต่อกับขาร่วม พร้อมกันทั้ง 2 ชุด สำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบมีลายวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ค) และรูปที่ 3.4 (ข) แสดงให้เห็นถึงสไลด์สวิตช์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



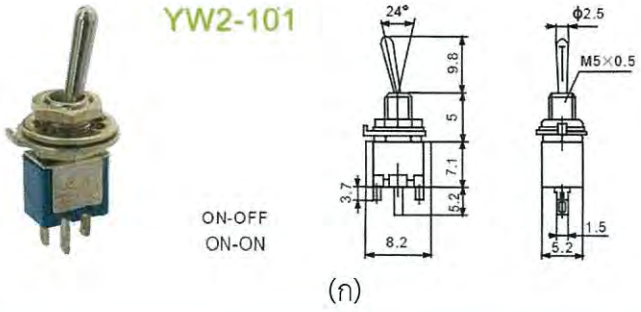
(ค)

รูปที่ 3.4 สไลด์สวิตช์ 8 ขา (Slide switch)
(ก) เอกสารอ้างอิงของสไลด์สวิตช์ 8 ขา
(ข) สไลด์สวิตช์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างสมบูรณ์
(ค) ลายวงจรพิมพ์ของสไลด์สวิตช์ 8 ขา

3.2.5 ทอกเกิลสวิตช์ 3 ขา (Toggle Switch)

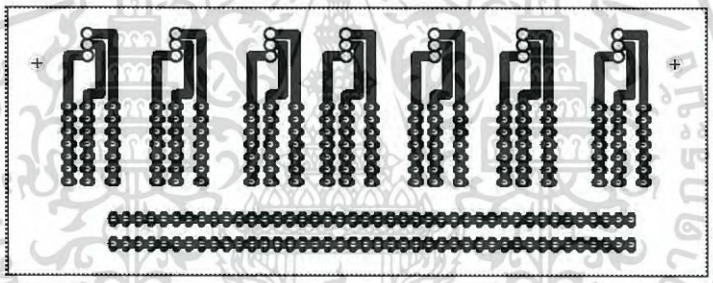
จากโครงสร้างและการเชื่อมต่อของขาแต่ละขาของทอกเกิลสวิตช์ ตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.5 (ก) ประกอบไปด้วย 3 ขา มี 2 หน้าสัมผัส 1 ชุด โดยขาร่วมเป็นขาที่อยู่ตรงกลาง ส่วนหน้าสัมผัสทั้งสองจะอยู่ที่ขาด้านซ้ายและขวา และแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบมีลายวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ค) สำหรับรูปที่ 3.5 (ข) แสดงให้เห็นถึงไมโครสวิตช์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



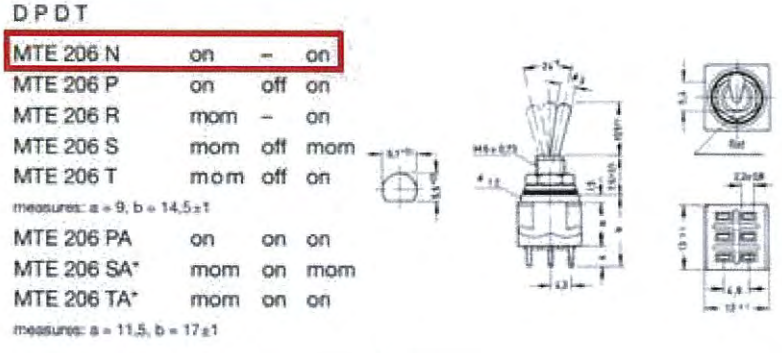
(ค)

รูปที่ 3.5 ทอกเกิลสวิตช์ 3 ขา (Toggle Switch)
(ก) เอกสารอ้างอิงของทอกเกิลสวิตช์ 3 ขา
(ข) ทอกเกิลสวิตช์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างสมบูรณ์
(ค) ลายวงจรพิมพ์ของทอกเกิลสวิตช์ 3 ขา

3.2.6 ทอกเกิลสวิตช์ 6 ขา (Toggle Switch)

จากโครงสร้างและการเชื่อมต่อของขาแต่ละขาของทอกเกิลสวิตช์ ตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.6 (ก) ซึ่งในโครงงานนี้ใช้สวิตช์รุ่น MTE206 N จะเห็นได้ว่า ประกอบไปด้วย 6 ขา ซึ่งสามารถสลับหน้าสัมผัสได้ 2 หน้าสัมผัส 2 ชุด โดยตำแหน่งที่สวิตช์เลือกนั้นจะทำให้หน้าสัมผัสใดหน้าสัมผัสหนึ่งเชื่อมต่อกับขาร่วมพร้อมกันทั้ง 2 ชุด สำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบมีลายวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.6 (ค) และรูปที่ 3.6 (ข) แสดงให้เห็นถึงสไลด์สวิตช์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DPDT

MTE 206 N	on	–	on
MTE 206 P	on	off	on
MTE 206 R	mom	–	on
MTE 206 S	mom	off	mom
MTE 206 T	mom	off	on

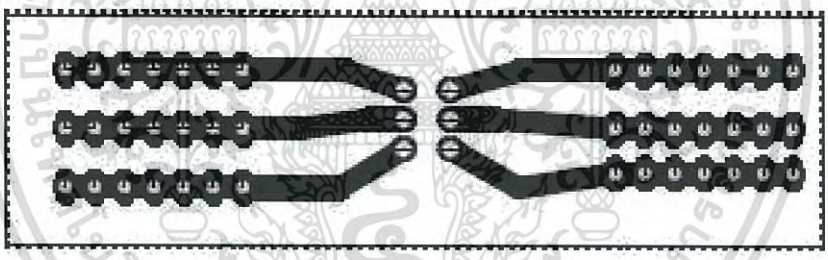
measures: a = 9, b = 14,5±1

MTE 206 PA	on	on	on
MTE 206 SA*	mom	on	mom
MTE 206 TA*	mom	on	on

measures: a = 11,5, b = 17±1

(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 3.6 ทอกเกิลสวิตช์ 6 ขา (Toggle Switch)

(ก) เอกสารอ้างอิงของทอกเกิลสวิตช์ 6 ขา

(ข) ทอกเกิลสวิตช์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างสมบูรณ์

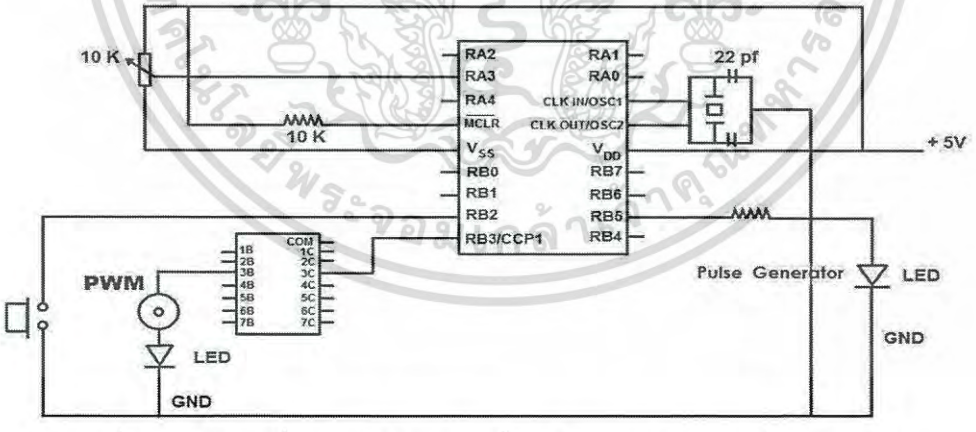
(ค) ลายวงจรพิมพ์ของทอกเกิลสวิตช์ 6 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ

อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอันหนึ่งในโครงงานนี้ เนื่องจากในการทำการทดลองจะต้องมีแหล่งกำเนิดสัญญาณเพื่อนำมาใช้ในการควบคุมต่าง ๆ โดยในโครงงานนี้จะออกแบบให้อุปกรณ์นี้เป็นตัวกำเนิดสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ชิปไอซีพิเศษชนิดหนึ่ง สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานตามที่ต้องการได้ ซึ่งในโครงงานนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยได้ทำการออกแบบเป็น 2 โหมด คือ พัลส์วิทมอดูเลชัน (PWM) และพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ โดยจะทำการต่ออุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตามวงจรในรูปที่ 3.7 ซึ่งจะประกอบไปด้วย

1) ความต้านปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม (ต่อที่ขา RA3)
2) ความต้านทานคงที่ 10 กิโลโอห์ม (ต่อที่ขา $\overline{MCLR}$)
3) ไฟ 5 โวลต์ (ต่อขา V_{DD})
4) คริสตัล 4 MHz (ต่อขา CLK in,CLK out)
5) ขนาดความจุ 22 pF (ต่อขา CLK in, CLK out)
6) สวิตช์ (ต่อขา RB2)
7) ฟังก์ชันพัลส์วิทมอดูเลชัน (ต่อขา RB3/CCP1)
8) ฟังก์ชันพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ (ต่อขา RB5)

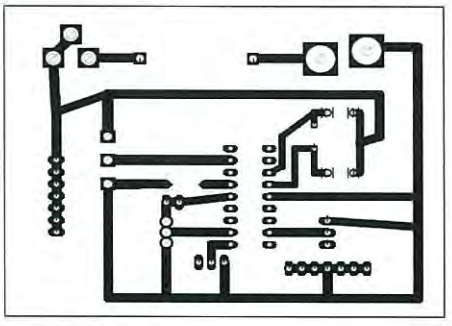


รูปที่ 3.7 วงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในแผ่นวงจรพิมพ์นี้ ประกอบไปด้วย ไฟ 5 โวลต์ , กราวด์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.8 (ข) และรูปที่ 3.8 (ก) เป็นรูปเครื่องกำเนิดสัญญาณที่สมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

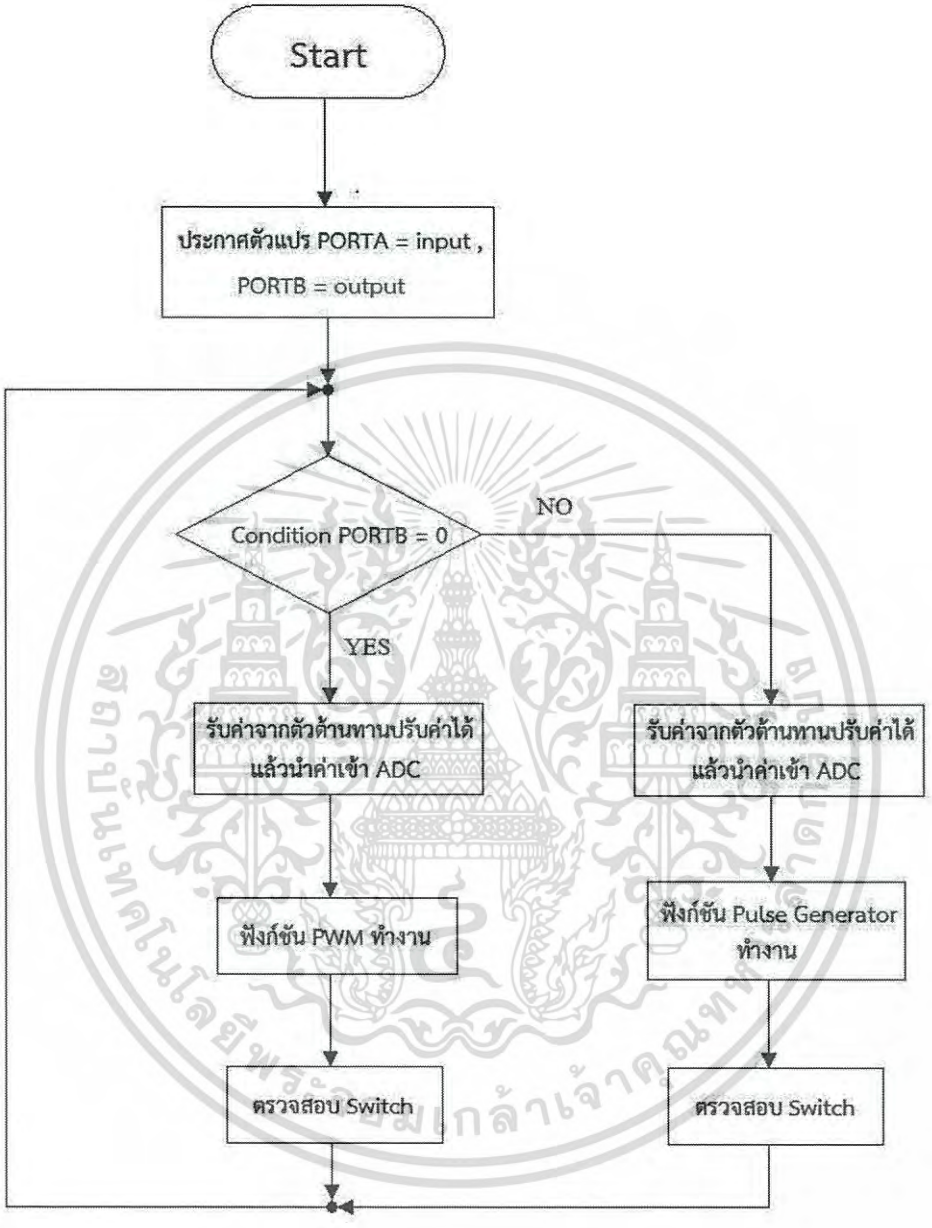
รูปที่ 3.8 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม
(ก) ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างสมบูรณ์
(ข) ลายวงจรพิมพ์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทำงานของพัลส์วิทมอดูเลชันและพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์นั้น เอาต์พุตที่ออกมาจะเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งในการเลือกว่าจะเป็นสัญญาณใดนั้นจะใช้สวิตช์ในการปรับเลือกค่า โดยไม่มีหน้าจอสำหรับตรวจสอบสถานะการทำงาน เนื่องจากจะทำให้ต้นทุนสูงเกินไป ด้วยเหตุนี้จึงนำตัวต้านทานปรับค่ามาใช้ในการปรับค่าแทน ทำให้ต้องมีการเพิ่มวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล (ADC) เพื่อแปลงแรงดันที่ได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ไปเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อใช้ในการควบคุมความกว้างของพัลส์หรือความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต สำหรับหลักการทำงานของระบบแสดงตามผังการทำงานในรูปที่ 3.9 โดยขั้นแรกต้องทำการกำหนดพอร์ตก่อน ซึ่งจะให้พอร์ตเอเป็นอินพุต และพอร์ตบีเป็นเอาต์พุต สัญญาณแอนะลอกที่รับเข้ามาจากตัวต้านทานจะมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เมื่อระบบทำการอ่านค่าและแปลงสัญญาณเรียบร้อย ระบบจะทำการตรวจสอบค่าของสวิตช์ว่ามีการเลือกค่า 1 หรือ 0 ถ้าค่าของสวิตช์เป็น 0 ในกระบวนการนี้จะนำค่าจากการแปลงสัญญาณที่ได้เข้าสู่โหมดพัลส์วิทมอดูเลชัน เพื่อเป็นตัวกำหนดความกว้างของพัลส์ โดยกำหนดให้ความถี่มีค่าคงที่ที่ 5 kHz และในการคำนวณหาความกว้างของพัลส์จะคำนวณได้จาก สมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังแสดงค่าในตารางที่ 3.1 แต่ถ้าค่าของสวิตช์เป็น 1 ในกระบวนการนี้ นำค่าจากแปลงสัญญาณเข้าสู่สมการที่ (3.1) เมื่อทำการประมวลผลเสร็จแล้วจึงนำไปใช้หาความถี่ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ต่อไป

$$period = (ADC \times 10) + 1 \qquad (3.1)$$

เมื่อ Period(T) = คาบเวลาของพัลส์
ADC = ค่าที่ทำการแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การคำนวณของพัลส์วิทมอดูเลชัน

สัดส่วนของการปรับค่าตัวต้านทาน	Duty cycle (%)	ความถี่ (kHz)	คาบเวลา (µs)	ความกว้างของช่วงพัลส์ (µs)
0 (Min)	0	5	200	0
1/4	25			50
1/2	50			100
3/4	75			150
1(Max)	100			200

ตารางที่ 3.2 การคำนวณของพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์

สัดส่วนของการปรับค่าตัวต้านทาน	ค่าที่ได้จาก ADC	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (mHz)
0 (Min)	0	0.022	45455
1/4	64	1282	780
1/2	128	2562	390
3/4	191	3822	262
1 (Max)	255	5102	196

3.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองดิจิตอลนี้มีทั้งหมด 15 การทดลอง ตลอด 15 สัปดาห์ โดยมีจุดประสงค์ของการทดลองแต่ละการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 การใช้เครื่องมือ โวลต์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ แอมมิเตอร์

1.1 เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานโวลต์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ และแอมมิเตอร์

1.2 เพื่อให้มีทักษะการใช้เครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง และปลอดภัย

1.3 สามารถอ่านค่าความต้านทานจากแถบสีได้

1.4 สามารถเข้าใจการต่อวงจรทั้งแบบอนุกรมและขนาน

1.5 สามารถคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของสวิตช์ในรูปแบบต่าง ๆ

2.1 เข้าใจการทำงานการเลือกของหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด และแบบปกติปิด รวมไปถึง หลักการทำงานของรีเลย์

2.2 เพื่อให้มีทักษะในการเลือกใช้สวิตช์ในรูปแบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับงาน

การทดลองที่ 3 การใช้เครื่องออสซิโลสโคปและการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้า

3.1 เพื่อให้มีทักษะในการใช้เครื่องออสซิโลสโคปและเครื่องกำเนิดสัญญาณ

3.2 เพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะของสัญญาณแบบพัลส์วิทมอดูเลชัน ด้วยเครื่องออสซิโลสโคปได้

3.3 เพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะของสัญญาณแบบพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่มีความถี่แตกต่างกันด้วยเครื่องออสซิโลสโคป

การทดลองที่ 4 การทำลอจิกมอนิเตอร์และการนำไปใช้ปฏิบัติการทดลอง

4.1 เข้าใจหลักการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED)

4.2 เข้าใจหลักการทำงานของลอจิกมอนิเตอร์และสามารถสร้างเป็นส่วนแสดงผลในระดับลอจิกได้

การทดลองที่ 5 ลอจิกเกตและวงจรคอมบิเนชัน

5.1 สามารถเขียนสัญลักษณ์สมการตารางค่าความจริง และ Timing Diagram ของลอจิกเกตแบบต่าง ๆ ได้

5.2 สามารถอธิบายคุณสมบัติของลอจิกเกตแบบต่าง ๆ ได้

5.3 สามารถวิเคราะห์จากผลการทดสอบได้ว่าเป็นลอจิกเกตชนิดใด

การทดลองที่ 6 วงจรเข้ารหัสและวงจรถอดรหัส

6.1 สามารถตรวจสอบการทำงานของตัวแสดงผล (Display) แบบ 7-Segment ได้

6.2 สามารถแยกความแตกต่างระหว่างวงจรเข้ารหัสกับถอดรหัสได้

6.3 สามารถนำวงจรเข้ารหัสและถอดรหัสไปประยุกต์ใช้งานได้

การทดลองที่ 7 วงจรบวกและวงจรลบ

7.1 สามารถออกแบบวงจรบวกได้ทั้งแบบคิดตัวทดและแบบไม่คิดตัวทด

7.2 สามารถออกแบบวงจรลบได้ทั้งแบบคิดตัวยืมและแบบไม่คิดตัวยืม

7.3 สามารถสร้างและทดสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรบวกทั้งแบบคิดตัวทดและแบบไม่คิดตัวทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 สามารถสร้าง และ ทดสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรลบทั้งแบบคิดตัวยืมและแบบไม่คิดตัวยืม

การทดลองที่ 8 วงจรบวกและลบแบบขนาน

8.1 สามารถนำวงจรบวกแบบพื้นฐานไปสร้างเป็นวงจรแบบขนานที่มากกว่า 1 บิต

8.2 สามารถนำวงจรลบแบบพื้นฐานไปสร้างเป็นวงจรแบบขนานที่มากกว่า 1 บิต

การทดลองที่ 9 วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และวงจรดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

9.1 สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์กับดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ได้

9.2 สามารถนำวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ไปประยุกต์ใช้งานได้

การทดลองที่ 10 ฟลิปฟลอป

10.1 สามารถแยกความแตกต่างของฟลิปฟลอปแต่ละแบบได้

10.2 สามารถสร้างฟลิปฟลอปแบบต่าง ๆ จากลอจิกเกตได้

การทดลองที่ 11 วงจรนับ

11.1 สามารถแยกความแตกต่างของวงจร ระหว่างนับแบบเข้าจังหวะกับแบบไม่เข้าจังหวะได้

11.2 สามารถออกแบบวงจรนับแบบกำหนดค่าที่ต้องการนับได้

การทดลองที่ 12 แอพพลิเคชั่น

12.1 เพื่อเรียนรู้วงจรไฟกระพริบแบบติดสลับโดยใช้แนนเกต

12.2 เพื่อเรียนรู้การใช้พัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ในการควบคุมความถี่ในการกระพริบไฟ

การทดลองที่ 13 แอพพลิเคชัน

13.1 เพื่อเรียนรู้วงจรควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์

13.2 เพื่อเรียนรู้การใช้งานสัญญาณพัลส์วิทมอดูเลชัน ในการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์

การทดลองที่ 14 โครงงาน

14.1 เพื่อให้นักศึกษาได้ฝึกทักษะ และกระบวนการในการคิดและฝึกออกแบบวงจรด้วยตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 15 โครงงาน

15.1 เพื่อให้นักศึกษาได้ฝึกทักษะ และกระบวนการในการคิดและฝึกออกแบบวงจรด้วยตนเอง

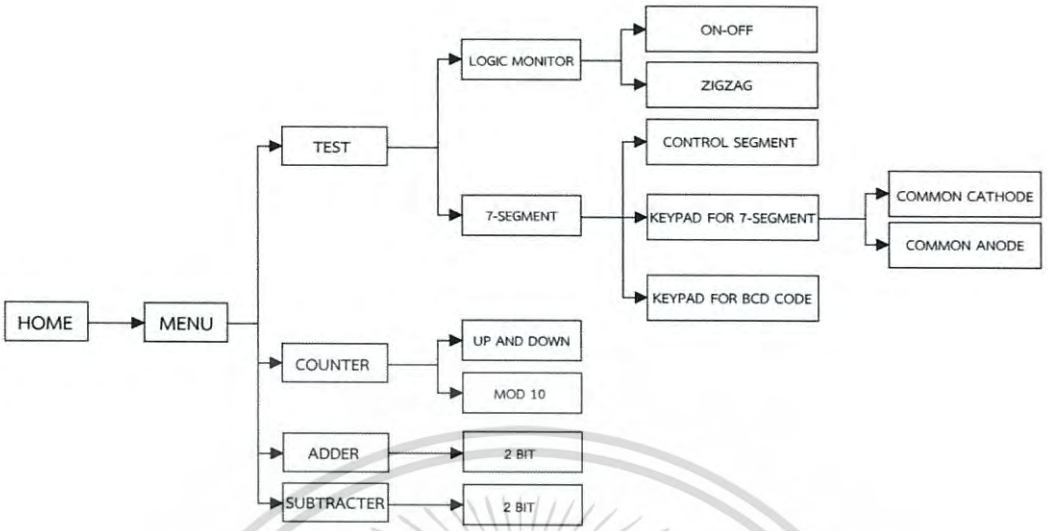
3.5 การสร้างอุปกรณ์ช่วยสอน

การดำเนินงานออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอนนั้นมีองค์ประกอบหลักในการสร้างอยู่ 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบระบบ, การออกแบบหน้าจอสัมผัส และออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอน

3.5.1 การออกแบบระบบ ทำการออกแบบให้มีหน้าจอหลักในการทำงานอยู่ 4 หัวข้อหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ประกอบไปด้วย

1) **การทดสอบ** ซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบลอจิกมอนิเตอร์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการเปิด-ปิดหลอดไฟ LED โดยผ่านการสั่งงานจากหน้าจอสัมผัส และการทดสอบ 7-segment ที่สามารถควบคุมได้ทั้งการติดทีละตำแหน่ง รวมถึงการควบคุมการติดเป็นตัวเลขตามที่ต้องการ โดยการกดผ่านแป้นพิมพ์แบบตัวเลขบนหน้าจอสัมผัส
2) **วงจรนับ** ออกแบบให้เป็นวงจรนับขึ้นและนับลง รวมไปถึงวงจรนับแบบ MOD-10 โดยสั่งการผ่านหน้าจอสัมผัสและแสดงผลออกทาง 7-Segment
3) **วงจรบวก** ออกแบบให้ทำงานแทนวงจรบวกแบบ 2 บิต โดยสามารถเชื่อมต่ออินพุตและสามารถนำเอาต์พุตไปแสดงผลออกทางหลอดไฟ LED ได้
4) **วงจรลบ** ออกแบบให้ทำงานแทนวงจรลบแบบ 2 บิต โดยสามารถเชื่อมต่ออินพุตและสามารถนำเอาต์พุตแสดงผลออกทางหลอดไฟ LED ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

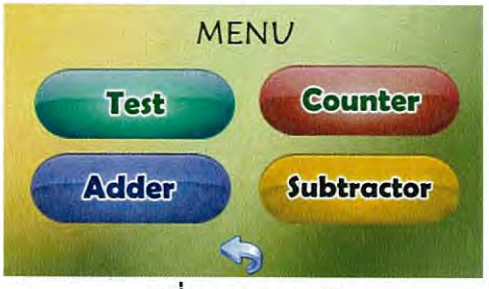


รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของจอสัมผัส

3.5.2 การออกแบบหน้าจอสัมผัส การออกแบบส่วนแสดงผลบนหน้าจอระบบสัมผัส ใช้การออกแบบด้วยโปรแกรม Workshop4 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งการออกแบบในส่วนแรก คือ การออกแบบหน้าจอเริ่มต้น ดังรูปที่ 3.12 เมื่อเริ่มการทำงานของหน้าจอสัมผัส จากนั้นจะเข้าสู่หน้าจอหลักที่ได้ทำการออกแบบไว้สำหรับเป็นตัวเชื่อมต่อไปยังเมนูต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักคือ การทดสอบ (Test), วงจรนับ (Counter), วงจรบวก (Adder) และวงจรลบ (Subtractor) โดยมีรายละเอียดแต่ละฟังก์ชันการทำงานดังนี้

รูปที่ 3.11 โปรแกรมออกแบบหน้าจอ

รูปที่ 3.12 หน้าแรกของหน้าจอ



รูปที่ 3.13 เมนูหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ (Test) จะประกอบด้วย ลอจิกมอนิเตอร์ (Logic Monitor) และ 7-segment ดังรูปที่ 3.14 เมื่อทำงานเลือกลอจิกมอนิเตอร์ จะเข้าสู่หน้าที่มีฟังก์ชันให้เลือกระหว่าง การทดสอบการทำงานเปิด-ปิดหลอดไฟ LED และการทดสอบการทำงานหลอดไฟให้มีการสลับไปสลับมา ดังรูปที่ 3.15 หากเลือกการทำงานแบบทดสอบการเปิด-ปิด (on - off) จะสามารถทำการควบคุมหลอดไฟทั้ง 8 ดวง ให้เปิด-ปิดได้อย่างอิสระ โดยสั่งการผ่านหน้าจอสัมผัส ดังรูปที่ 3.16 แต่ถ้าหากเลือกการทำงานให้หลอดไฟสามารถเปิดได้สลับกันไปมาได้ ก็จะเข้าสู่หน้าควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.14 เมนูทดสอบ

รูปที่ 3.15 เมนูลอจิกมอนิเตอร์

รูปที่ 3.16 ฟังก์ชันเปิด – ปิด

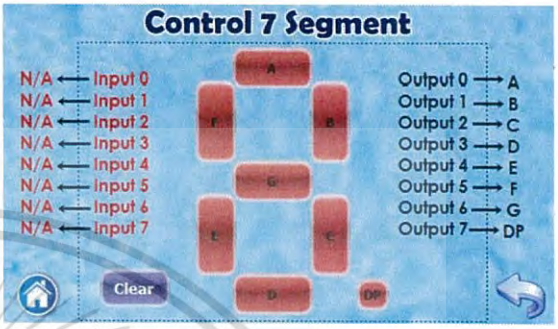
รูปที่ 3.17 ฟังก์ชันไฟติดสลับ

ในส่วนของ 7-Segment ดังแสดงในรูปที่ 3.18 จะมี 3 ฟังก์ชันให้เลือกคือ Control 7-Segment, Keypad for 7-Segment และ Keypad for BCD Code หากเลือกการทำงานแบบ Control 7-Segment หน้าจอจะเปลี่ยนไปดังรูปที่ 3.19 ประกอบด้วย ปุ่มของ Segment A, B, C, D, E, F, G และ DP เมื่อทำการเลือกตำแหน่ง Segment ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนหน้าจอสัมผัส ก็จะทำให้ไฟติดขึ้นตามตำแหน่งที่เลือก หากเลือก Keypad for 7-Segment ดังรูปที่ 3.20 จะประกอบไปด้วย 2 ฟังก์ชันให้เลือก คือ Common Cathode , Common Anode เนื่องจากการต่อ 7 - Segment มี 2 ชนิดด้วยกัน คือ Common Cathode และ Common Anode ดังรูปที่ 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างอยู่ที่การเชื่อมสายเอาต์พุตที่ต่อเข้ากับ 7–Segment โดยได้ออกแบบให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

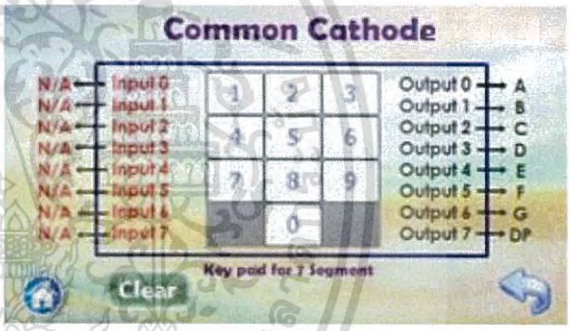
แป้นพิมพ์สามารถกดเลข 0 ถึง 9 เมื่อทำการเลือกเลขบนแป้นพิมพ์ก็ส่งค่าให้ไฟติดขึ้นตามตัวเลขที่เลือก โดยสั่งการผ่านหน้าจอสัมผัส และหากเลือก Keypad for BCD CODE ดังรูปที่ 3.23 และเมื่อกดตัวเลข ก็จะส่งค่าให้แสดงเป็นรหัสบีซีดี (BCD)

รูปที่ 3.18 เมนู 7-segment

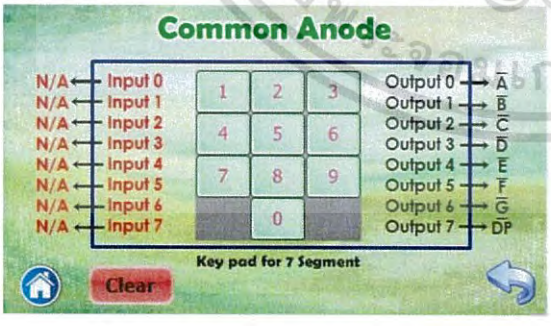


รูปที่ 3.19 ฟังก์ชัน Control 7-Segment

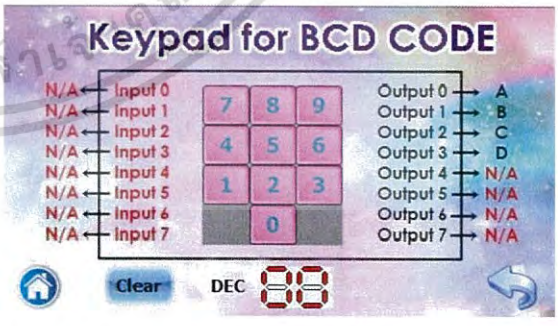
รูปที่ 3.20 เมนู Keypad for 7-Segment



รูปที่ 3.21 ฟังก์ชัน Common Cathode



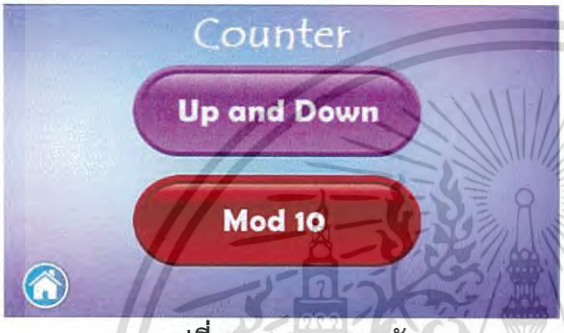
รูปที่ 3.22 ฟังก์ชัน Common Anode



รูปที่ 3.23 ฟังก์ชัน Keypad for BCD CODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของวงจรนับ (Counter) ซึ่งออกแบบให้มี 2 ฟังก์ชัน คือ วงจรนับขึ้น-ลง และวงจรนับแบบ Mod-10 ดังรูปที่ 3.24 หากเลือกการทำงานเป็นวงจรนับขึ้นและลง ดังรูปที่ 3.25 ได้ออกแบบให้มีปุ่มขึ้น (Up) และมีปุ่มลง (Down) ไว้สำหรับเลือกว่าต้องการให้ค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งค่าต่ำสุดจะเป็นเลข 0 (0000_2) และค่ามากสุดจะเป็นเลข F (1111_2) และหากเลือกการทำงานแบบ Mod-10 ดังรูปที่ 3.26 ซึ่งออกแบบให้มีการนับเลขตั้งแต่ 0 ถึง 9 (1001_2) วนไปเรื่อย ๆ หากสั่งให้หยุดการทำงาน โปรแกรมจะสั่งให้นับจนครบถึง 9 แต่จะไม่ทำการกลับมานับใหม่



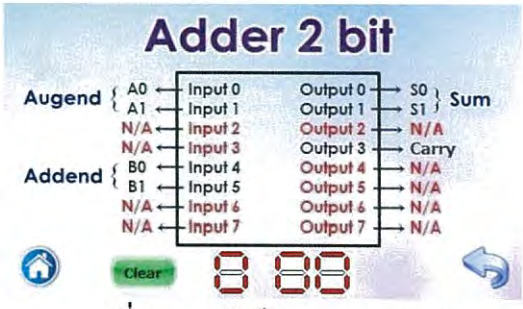
รูปที่ 3.24 เมนูวงจรนับ

รูปที่ 3.25 ฟังก์ชันวงจรนับ

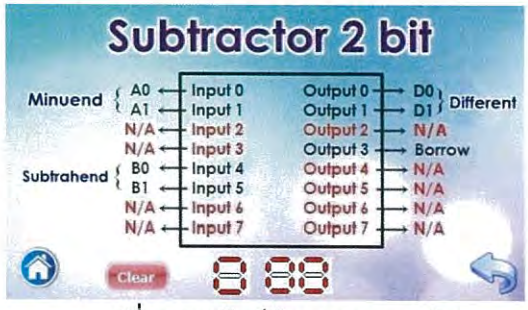
รูปที่ 3.26 ฟังก์ชันวงจรนับแบบ Mod-10

ในส่วนของวงจรบวกและวงจรลบ แบบ 2 บิต ดังรูปที่ 3.27 และ 3.28 ตามลำดับ ได้ออกแบบให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กันทั้งอินพุตและเอาต์พุต โดยหากมีการปรับเปลี่ยนค่าทางด้านอินพุต ก็จะส่งผลให้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนไปตามวงจรที่ได้เลือกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



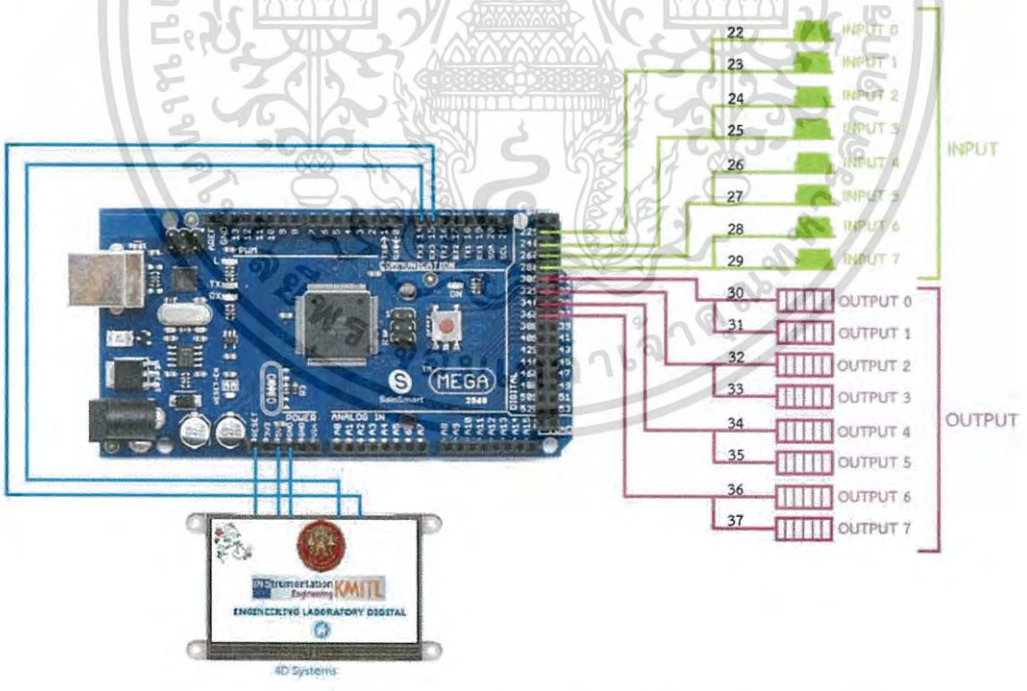
รูปที่ 3.27 ฟังก์ชันวงจรบวก 2 บิต



รูปที่ 3.28 ฟังก์ชันวงจรลบ 2 บิต

3.5.3 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอน

ในการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ช่วยสอน ตามรูปที่ 3.29 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อช่องรับสัญญาณทางด้านอินพุตและเอาต์พุตอย่างละ 8 ช่อง สัญญาณเข้ากับบอร์ดอาร์ดูโนและการเชื่อมต่อระหว่างอาร์ดูโนกับหน้าจอสัมผัส โดยสายในการเชื่อมต่อ ประกอบไปด้วยขาแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์, กราวด์(Ground), Reset, Tx และ Rx เพื่อใช้สำหรับควบคุมการเลือกฟังก์ชันที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งการต่อใช้งานช่องรับสัญญาณทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุตของฟังก์ชันใดต้องต่ออย่างไรนั้น ได้มีการสรุปไว้ตามตารางที่ 3.3



รูป 3.29 แผนภาพโดยรวมของการต่อสายทั้งหมดของอาร์ดูโนเมกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการเชื่อมต่อทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต

ฟังก์ชันการทำงาน				Input								Output							
				0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
Test	Logic Monitor		On-off									/	/	/	/	/	/	/	/
			Zigzag									/	/	/	/	/	/	/	/
	7 Segment		Control 7 Segment									A	B	C	D	E	F	G	DP
		Keypad for 7 Segment	Common Cathode									A	B	C	D	E	F	G	DP
			Common Anode									$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\bar{D}$	$\bar{E}$	$\bar{F}$	$\bar{G}$	$\overline{DP}$
			Keypad for BCD code									A	B	C	D				
Counter			Up and Down	CLK		$\overline{CLR}$						A	B	C	D				
			Mod-10	CLK		$\overline{CLR}$						A	B	C	D				
Adder 2 bits				A_0	A_1			B_1	B_2			S_0	S_1		C_0				
Subtractor 2 bits				A_0	A_1			B_1	B_2			D_0	D_1		B_0				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ สำหรับการสร้างสัญญาณความถี่และสัญญาณพัลส์วิทมอดูเลชัน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงงานนี้ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณที่ออกแบบไว้กับค่าที่ได้จากการทดลอง และคำนวณหาค่าความผิดพลาดที่ความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้มีการออกแบบไว้

4.2 ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลองในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ประกอบด้วย ผลการทดลองของพัลส์วิทมอดูเลชัน และพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ ซึ่งในแต่ละหัวข้อนั้นจะทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน คือวัดสัญญาณเอาต์พุตทั้งหมด 5 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะมีการปรับตั้งค่าความต้านทานปรับค่าได้ในตำแหน่ง 0 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่าน้อยที่สุด (Minimum) ตำแหน่ง 1/4, 1/2, 3/4 และ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่ามากที่สุด (Maximum) ตามลำดับ

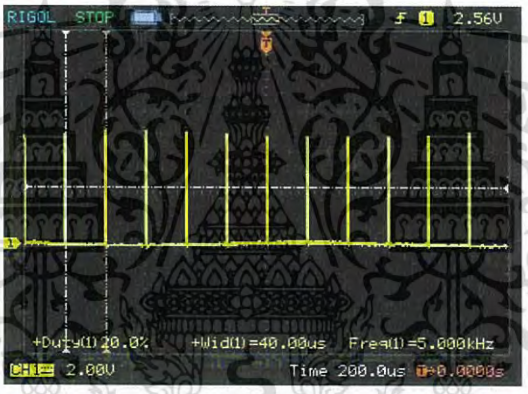
4.2.1 ผลการทดลองพัลส์วิทมอดูเลชัน (PWM)

เนื่องจากสัญญาณแบบพัลส์วิทมอดูเลชัน มีการทำงานในความถี่คงที่เสมอที่ 5 kHz การปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะค่าความกว้างของพัลส์ (Pulse width) เท่านั้น สำหรับค่าจากการทดลองที่มีการปรับค่าตัวต้านทานทั้ง 5 ตำแหน่ง แสดงตามตารางที่ 4.1 โดยจากรูปที่ 4.1 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 0 % จะได้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 40 µs สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนนั้นไม่สามารถหาได้ เนื่องจากค่าจากการคำนวณเป็น 0 จากรูปที่ 4.2 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 25 % จะได้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 48 µs มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 4.0 % จากรูปที่ 4.3 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 50 % จะได้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 100 µs ไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย จากรูปที่ 4.4 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 75 % จะได้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 152 µs มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 1.30 % และจากรูปที่ 4.5 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 100 % จะได้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 192 µs มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 4.00 %

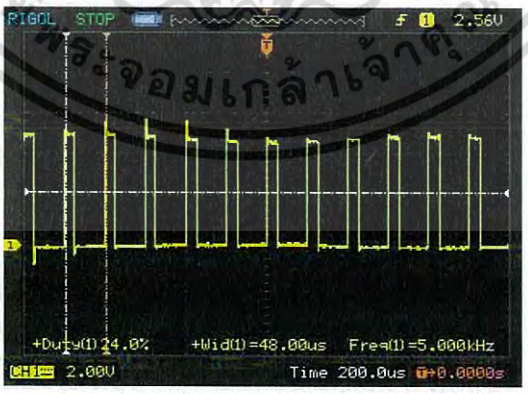
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณที่ทำงานในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชัน

ตำแหน่งการปรับตัวต้านทาน	ค่าความกว้างของพัลส์จากการคำนวณ (µs)	ค่าจากการทดลอง	
		ค่าความกว้างของพัลส์ (µs)	ค่าคลาดเคลื่อน (%)
0	0	40	-
1/4	50	48	4.00
1/2	100	100	0.00
3/4	150	152	1.30
1	200	192	4.00

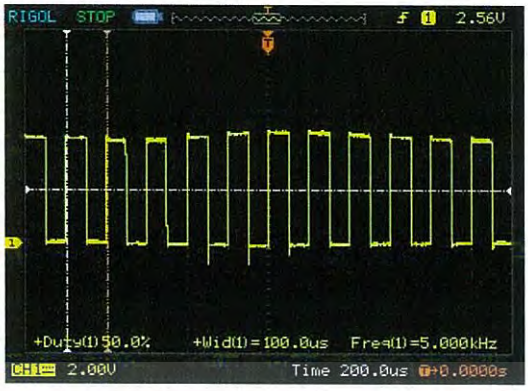


รูปที่ 4.1 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 0

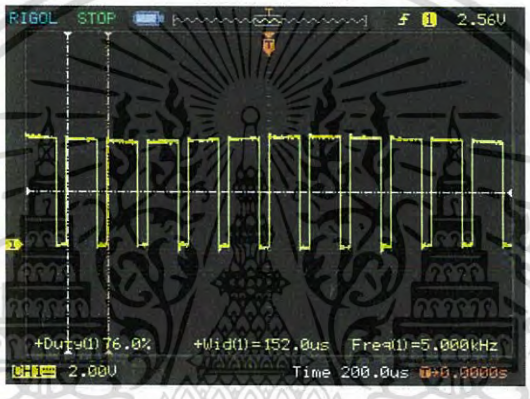


รูปที่ 4.2 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 1/4

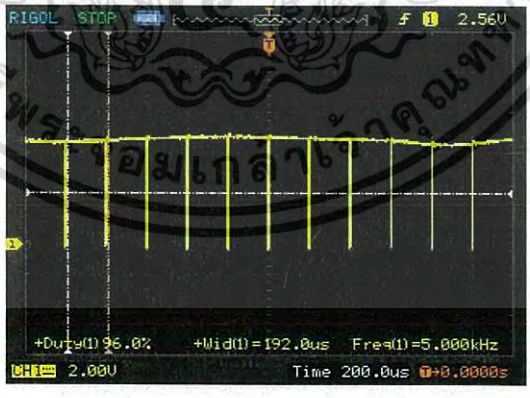
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 1/2



รูปที่ 4.4 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 3/4



รูปที่ 4.5 ผลการวัดในโหมดพัลส์วิทมอดูเลชันที่ตำแหน่ง 1

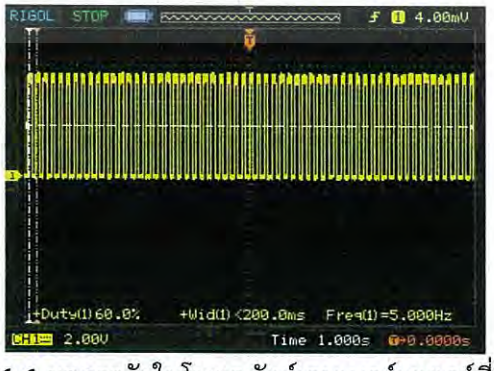
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์

เนื่องจากสัญญาณความถี่แบบพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ มีการทำงานในค่าดิวตี้ไซเคิลคงที่เสมอที่ 50 % การปรับเปลี่ยนค่าตัวต้านทานจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่เท่านั้น สำหรับค่าจากการทดลองที่มีการปรับค่าตัวต้านทานทั้ง 5 ตำแหน่ง แสดงตามตารางที่ 4.2 โดยจากรูปที่ 4.6 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 0 % จะได้ความถี่เท่ากับ 5000 mHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากถึง 89.00 % เมื่อลองวัดแรงดันที่เข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแล้วมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งนั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน จากรูปที่ 4.7 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 25 % จะได้ความถี่เท่ากับ 758 mHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 2.82 % จากรูปที่ 4.8 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 50 % จะได้ความถี่เท่ากับ 424 mHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 8.72 % จากรูปที่ 4.9 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 75 % จะได้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 270 mHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.05 % และจากรูปที่ 4.10 เมื่อปรับตัวต้านทานไปที่ตำแหน่งค่าดิวตี้ไซเคิลที่ 100 % จะได้ความถี่เท่ากับ 200 μs มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 2.04 %

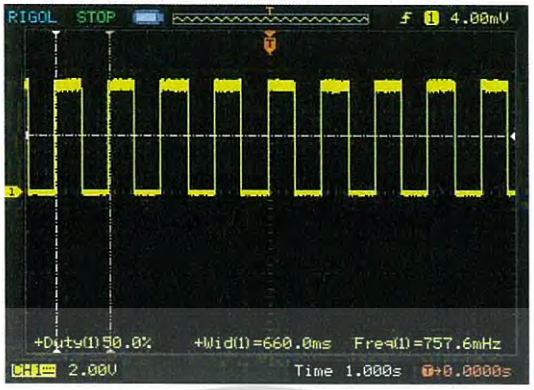
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณที่ทำงานในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์

ตำแหน่งการปรับตัวต้านทาน	ค่าความถี่จากการคำนวณ (mHz)	ค่าจากการทดลอง	
		ค่าความถี่ (mHz)	ค่าคลาดเคลื่อน(%)
0	45455	5000	89.00
1/4	780	758	2.82
1/2	390	424	8.72
3/4	262	270	3.05
1	196	200	2.04

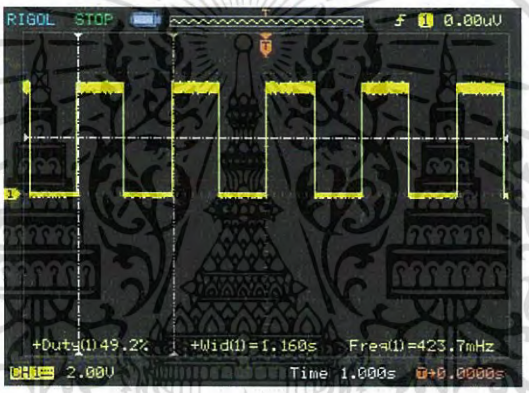


รูปที่ 4.6 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 0

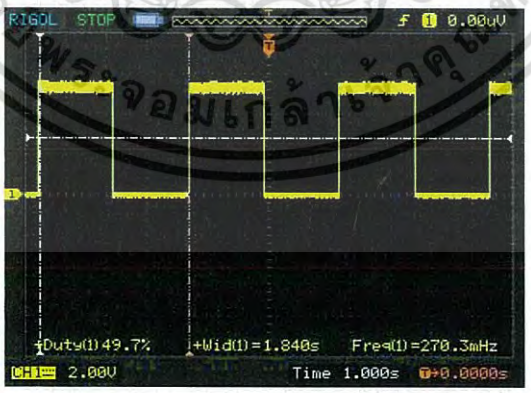
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 1/4

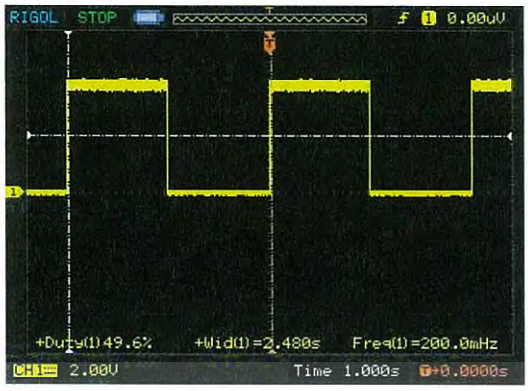


รูปที่ 4.8 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 1/2



รูปที่ 4.9 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 3/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลการวัดในโหมดพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่ตำแหน่ง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากที่ได้ศึกษาและออกแบบวงจรชุดปฏิบัติการทางด้านดิจิตอล ซึ่งมีวงจรที่สำคัญประกอบด้วยลอจิกสวิตช์, ลอจิกมอนิเตอร์, วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์, แผงวงจรพิมพ์, บอร์ดทดลอง, LED, 7-segment และอุปกรณ์เอาต์พุตอื่น ๆ สำหรับนำไปใช้เชื่อมต่อกับวงจรดิจิตอลแบบ ต่าง ๆ รวมถึงเครื่องมือที่เป็นอุปกรณ์ช่วยสอนแบบใช้หน้าจอสัมผัสดังแสดงตามรูปที่ 5.1 ทำให้สามารถดำเนินการทดลองได้สะดวกและง่ายต่อการทดลอง หลังจากที่ได้ออกแบบสร้างวงจรชุดปฏิบัติการทางด้านดิจิตอลทดสอบการทำงานในแต่ละส่วน แล้วพบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

รูปที่ 5.1 อุปกรณ์ช่วยสอน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอน สามารถเพิ่มเติมฟังก์ชันการทำงานอื่นอีก เพื่อให้การทดลองมีความสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Arduino. "**Arduino MEGA 2560.**"[Online].
Available: https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560.2016.

[2] Touchscreens."**4d system.**"[Online].
Available: http://www.4dsystems.com.au/

[3] คณะอาจารย์ผู้สอนวิศวกรรมวัดคุม. 2555. **หนังสือปฏิบัติการทดสอบวิชาดิจิตอล.**
กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีคุณทหารพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกก.
โปรแกรม PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned int duty ;
unsigned int period ;
void main() {
    TRISB=0x00 ; //set port b as an output
    PORTA = 255;
    TRISA = 255;                    // configure PORTA pins as input
    PORTB = 0;                      // set PORTB to 0
    TRISB = 0x00;                     // designate PORTB pins as output
    ADCON1 =0x0 ;                   // Changes PORTA to digital
    while(1)
    { //loop while
    if(PORTB.F2==0)
      {// loop if sw select
         PWM1_Init(5000);               // Initialize PWM1 module at 5KHz
         PWM1_Start();
          do {
  duty=Adc_Read(3);
            PWM1_SET_DUTY(duty);
            Delay_ms(100);
            } while(PORTB.F2==0);
        PWM1_STOP();
      }// loop if sw select
   //if(portb.f2==0)
      else
      { // else loop if sw select
          //functiongen();
         do{
                duty=Adc_Read(3);
                if (duty == 0) period = 1 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            else period = (duty * 10) + 1 ;
            portb.f5 = 1 ;
            Vdelay_ms(period);
            portb.f5 = 0 ;
            Vdelay_ms(period);
        } while(PORTB.F2==1);
       }// else loop if sw select
    }//loop while
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกข.

โปรแกรม arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับ Arduino

```
// version 1.0.1 12/May/2016
#define OUTPUT_0 30
#define OUTPUT_1 31
#define OUTPUT_2 32
#define OUTPUT_3 33
#define OUTPUT_4 34
#define OUTPUT_5 35
#define OUTPUT_6 36
#define OUTPUT_7 37
#define INPUT_0 22
#define INPUT_1 23
#define INPUT_2 24
#define INPUT_3 25
#define INPUT_4 26
#define INPUT_5 27
#define INPUT_6 28
#define INPUT_7 29
//----------------
//#define OUTPUT_0     30
//#define OUTPUT_1     31
//#define OUTPUT_3   32
int Show_WinButton003;
int WinButton003;
int dot;
int Xa;
int Show_WinButton088;  int WinButton088;
int Show_WinButton077; int WinButton077;
int Show_WinButton066; int WinButton066;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int  Show_WinButton000; int WinButton000;
int WinButton18;
int Show_WinButton18;
int Counter;
char inter[31];
int Show_WinButton002;
int WinButton002;
int Show_WinButton055;
int WinButton055;
int starttime;
int V;
int Aa;
int Bb;
int Cc;
int Dd;
int g1;
int g2;
int g3;
int g4;
int Show_WinButton001;
int WinButton001;
int Show_WinButton15;
int WinButton15;
int Show_WinButton16;
int WinButton16;
int Show_WinButton004;
int WinButton004;
int WinButton23;
int Show_WinButton23;
int WinButton13;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int Show_WinButton13;
int WinButton24;
int Show_WinButton24;
int WinButton20;
int Show_WinButton20;
int WinButton22;
int Show_WinButton22;
int WinButton21;
int Show_WinButton21;
int WinButton19;
int Show_WinButton19;
int WinButtonOUTPUT_1;
int Show_WinButtonOUTPUT_1;
int Show_KeyBoard0;
int KeyBoard0;
int Show_KeyBoard1;
int KeyBoard1;
int Show_WinButton10;
int WinButton10;
int Show_WinButton14;
int WinButton14;
int starttemp = 0;
int Show_BUTTON_66;
//int Show_BUTTON_66;
int Show_BUTTON_77;
int Show_BUTTON_88;
int BUTTON_66;
int BUTTON_77;
int BUTTON_88;
int start = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <genieArduino.h>
int Add1;
int Ca;
int slider_val0 = 0;
int keep0 = 0;
int BUTTON_0;
int Show_BUTTON_0;
int BUTTON_1;
int BUTTON_2;
int Show_BUTTON_1;
int Show_BUTTON_2;
int Show_BUTTON_3;
int Jump;
int WinButton0;
int WinButton1;
int WinButton2;
int WinButton3;
int Asd;
int Cal = 0;
int Ba;
int Show_WinButton0;
int Show_WinButton1;
int Show_WinButton2;
int Show_WinButton3;
int slider_val1 = 0;
int keep1 = 0;
int AddSetpointLight;
int  AddSetpointLight2;
int slider_val2;
int AddSetpointLight3;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int Da;
int WinButton4;
int Show_WinButton4;
int BUTTON_4;
int Show_BUTTON_4;
int BUTTON_5;
int Show_BUTTON_5;
int BUTTON_6;
int Show_BUTTON_6;
int test;
float test1;
Genie genie;
#define RESETLINE 4  // Change this if you are not using an Arduino Adaptor Shield
Version 2 (see code below)
//================================================================
void setup() {
  pinMode(OUTPUT_0, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_1, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_2, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_3, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_4, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_5, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_6, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_7, OUTPUT);
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
  //-----------------------------
  pinMode(OUTPUT_3, OUTPUT);
  pinMode(OUTPUT_0, OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pinMode(OUTPUT_1 , OUTPUT);
pinMode(INPUT_0, INPUT);
pinMode(INPUT_1, INPUT);
pinMode(INPUT_4, INPUT);
pinMode(INPUT_5, INPUT);
//------------------------------
digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
//------------------------------
pinMode(INPUT_0, INPUT);
pinMode(INPUT_1, INPUT);
pinMode(INPUT_4, INPUT);
pinMode(INPUT_5, INPUT);
pinMode(OUTPUT_0, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_1, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_3, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_0, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_1, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_2, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_3, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_4, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_5, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_6, OUTPUT);
pinMode(OUTPUT_7, OUTPUT);
digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_2, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
  Serial.begin(200000);  // Serial0 @ 200000 (200K) Baud
  //Serial.begin(9600);
  pinMode(RESETLINE, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(RESETLINE, LOW);
  delay(3500);//
  digitalWrite(RESETLINE, HIGH);
  genie.Begin(Serial);   // Use Serial0 for talking to the Genie Library, and to the 4D
Systems display
  genie.AttachEventHandler(loop); // Attach the user function Event Handler for
processing events
  genie.WriteStr(0, GENIE_VERSION);
}
void loop() {
  genie.ReadObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0); // Do a manual read from the
UserOUTPUT_0 object
  genieFrame Event;
  genie.DequeueEvent(&Event); // Remove the next queued event from the buffer,
and process it below
  digitalWrite(13, HIGH);
  if (Event.reportObject.cmd == GENIE_REPORT_EVENT) {
   //=============================================================
    if (Event.reportObject.object == GENIE_OBJ_4DBUTTON)              //  4D Button
    {
      //-------------------------------------------------------------------------------------------------------if
(Event.reportObject.index == 0) {                          //  OUTPUT_0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  BUTTON_0 = genie.GetEventData(&Event);                    //
  Show_BUTTON_0 = BUTTON_0;
  // //Serial.println(Show_BUTTON_0);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  //digitalWrite(13,HIGH); // สังเกตุ
  if (Show_BUTTON_0 == 1) {
    //  //Serial.println("OUTPUT_0 on");
    digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  }
  else if ( Show_BUTTON_0 == 0 ) {
    // //Serial.println("OUTPUT_0 off");
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 3) {                    // LED 3
  BUTTON_1 = genie.GetEventData(&Event);                    //
  Show_BUTTON_1 = BUTTON_1;
  //  //Serial.println(Show_BUTTON_1);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  if (Show_BUTTON_1 == 1) {
    //   //Serial.println("OUTPUT_3 On");
    digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
  }
  else if ( Show_BUTTON_1 == 0) {
    // //Serial.println("OUTPUT_3 Off");
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 5) {                    // LED 5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  BUTTON_2 = genie.GetEventData(&Event);                // Receive the event
  Show_BUTTON_2 = BUTTON_2;
  // //Serial.println(Show_BUTTON_2);  //
  if (Show_BUTTON_2 == 1) {
    //  //Serial.println("OUTPUT_5 On");
    digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  }
  else {
    if (Show_BUTTON_2 == 0) {
      //  //Serial.println("OUTPUT_5 Off");
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
    }
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 1)                      // LED 1
{
  BUTTON_4 = genie.GetEventData(&Event);                //
  Show_BUTTON_4 = BUTTON_4;
  // //Serial.println(Show_BUTTON_4);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  if (Show_BUTTON_4 == 1) {
    digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
    //  //Serial.println("OUTPUT_1 On");
  }
  if (Show_BUTTON_4 == 0) {
    // //Serial.println("OUTPUT_1 Off");
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (Event.reportObject.index == 2) {                    // LED 2
  BUTTON_5 = genie.GetEventData(&Event);                  //
  Show_BUTTON_5 = BUTTON_5;
  //Serial.println(Show_BUTTON_5);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  if (Show_BUTTON_5 == 1) {
    digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH);
    //Serial.println("OUTPUT_2 ON");
  }
  if (Show_BUTTON_5 == 0) {
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW);
    //Serial.println("OUTPUT_2 Off");
    // ให้ i =0
  }
}
//----------------------c-----------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 4)                      // LED 4
{
  BUTTON_6 = genie.GetEventData(&Event);                  //
  Show_BUTTON_6 = BUTTON_6;
  //Serial.println(Show_BUTTON_6);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  if (Show_BUTTON_6 == 1) {
    digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH);
    //Serial.println("OUTPUT_4 On");
  }
  if (Show_BUTTON_6 == 0) {
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
    //Serial.println("OUTPUT_4 Off");
    //i=0;
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 6)                    // LED 6
{
  BUTTON_66 = genie.GetEventData(&Event);                    //
  Show_BUTTON_66 = BUTTON_66;
  //Serial.println(Show_BUTTON_6);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  if (Show_BUTTON_66 == 1)
  {
    digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH);
    //Serial.println("OUTPUT_6 On");
  }
  if (Show_BUTTON_66 == 0) {
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
    //Serial.println("OUTPUT_6 Off");
    //i=0;
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 7)                    // LED 7
{
  BUTTON_77 = genie.GetEventData(&Event);                    //
  Show_BUTTON_77 = BUTTON_77;
  //Serial.println(Show_BUTTON_77);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  if (Show_BUTTON_77 == 1) {
    digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
    //Serial.println("OUTPUT_7 On");
  }
  if (Show_BUTTON_77 == 0) {
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    //Serial.println("OUTPUT_7 Off");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    //i=0;
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 8)                    // LED 8
{
  BUTTON_88 = genie.GetEventData(&Event);                    //
  Show_BUTTON_88 = BUTTON_88;
  //Serial.println(Show_BUTTON_88);  // มาเป็น 0 เอาไปสั่ง on
  if (Show_BUTTON_88 == 1) {
    digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x08, 1);  // OUTPUT_0=1
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x09, 0); //  OUTPUT_1=0
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0A, 1); //  OUTPUT_2=1
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0B, 0);//   OUTPUT_3=0
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0C, 1);//   OUTPUT_4=1
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0D, 0);//   OUTPUT_5=0
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0E, 1);//   OUTPUT_6=1
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0F, 0);//   OUTPUT_7=0
  }
  if (Show_BUTTON_88 == 0) {
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      digitalWrite(OUTPUT_2, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x08, 0);  // OUTPUT_0=0
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x09, 1); //  OUTPUT_1=1
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0A, 0); //  OUTPUT_2=0
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0B, 1);//   OUTPUT_3=1
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0C, 0);//   OUTPUT_4=0
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0D, 1);//   OUTPUT_5=1
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0E, 0);//   OUTPUT_6=0
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0F, 1);//   OUTPUT_7=1
    }
  }
  //---------------------------------------------------------------------------------------------
  //---------------------------------------------------------------------------------------------
 } // Event 4D Button
//=============================================================
 if (Event.reportObject.object == GENIE_OBJ_WINBUTTON) {
  if (Event.reportObject.index == 2)  // clear All Segment
  {
    WinButton002 = genie.GetEventData(&Event);
    Show_WinButton002 = WinButton002;
    if (Show_WinButton002 == 0 ) {
      //Serial.println("Start");
      starttime = 1;
      if (starttime == 1) {
        digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 0);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 1);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 2);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 3);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 4);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 5);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 6);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 7);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 8);
delay(1000);
digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0d
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
      digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
      genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x05, 9);
      //starttime=1;
    } else if ( starttime == 0) {
      ////////////////////////////////////////
    }
  }
  else if (Show_WinButton002 == 1) {
    //Serial.println("Clear1111");
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 5)   // clear All Segment
{
  WinButton055 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton055 = WinButton055;
  if (Show_WinButton055 == 0 ) {
    //Serial.println("Stop");
    starttime = 0;
  }
  else if (Show_WinButton055 == 1) {
    //Serial.println("Clear1111");
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 8)   // clear All Segment
{
  WinButton088 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton088 = WinButton088;
  // Show_WinButton077 = WinButton077;
  // Show_WinButton066 = WinButton066;
  //cShow_WinButton000 = WinButton000;
  if (Show_WinButton088 == 0 ) {
    //Serial.println("Set Adder");
    dot = 1;
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 7)   // clear All Segment
{
  WinButton077 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton077 = WinButton077;
  //  Show_WinButton066 = WinButton066;
  //  Show_WinButton000 = WinButton000;
  if (Show_WinButton077 == 0 ) {
    //Serial.println("Set Adder");
    //dot=1;
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 6)   // clear All Segment
{
  WinButton066 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton066 = WinButton066;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  //Show_WinButton000 = WinButton000;
  if (Show_WinButton066 == 0 ) {
    //Serial.println("Set Sub");
    dot = 2;
  }
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 0)   // clear All Segment
{
  WinButton000 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton000 = WinButton000;
  if (Show_WinButton000 == 0 ) {
    //Serial.println("Set Sub");
    // dot=1;
  }
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 18)   // Segment A
{
  WinButton18 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton18 = WinButton18;
  ////Serial.println(Show_WinButton18);
  if (Show_WinButton18 == 1 ) {
    //Serial.println("A On");
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  }
  else if (Show_WinButton18 == 0) {
    //Serial.println("A Off");
    digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 23)   // Segment B
{
  WinButton23 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton23 = WinButton23;
  ////Serial.println(Show_WinButton23);
  if (Show_WinButton23 == 1 ) {
    //Serial.println("B On");
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
  }
  else if (Show_WinButton23 == 0) {
    //Serial.println("B Off");
    digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 24)   // Segment C
{
  WinButton24 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton24 = WinButton24;
  ////Serial.println(Show_WinButton24);
  if (Show_WinButton24 == 1 ) {
    //Serial.println("C On");
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW);
  }
  else if (Show_WinButton24 == 0) {
    //Serial.println("C Off");
    digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 20)   // Segment D
{
  WinButton20 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton20 = WinButton20;
  ////Serial.println(Show_WinButton20);
  if (Show_WinButton20 == 1 ) {
    //Serial.println("D On");
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  }
  else if (Show_WinButton20 == 0) {
    //Serial.println("D Off");
    digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 22)   // Segment E
{
  WinButton22 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton22 = WinButton22;
  ////Serial.println(Show_WinButton22);
  if (Show_WinButton22 == 1 ) {
    //Serial.println("E On");
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  }
  else if (Show_WinButton22 == 0) {
    //Serial.println("E Off");
    digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 21)   // Segment F
{
  WinButton21 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton21 = WinButton21;
  ////Serial.println(Show_WinButton21);
  if (Show_WinButton21 == 1 ) {
    //Serial.println("F On");
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  }
  else if (Show_WinButton21 == 0) {
    //Serial.println("F Off");
    digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  }
}
//--------c-----------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 19)   // Segment G
{
  WinButton19 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton19 = WinButton19;
  ////Serial.println(Show_WinButton19);
  if (Show_WinButton19 == 1 ) {
    //Serial.println("G On");
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  }
  else if (Show_WinButton19 == 0) {
    //Serial.println("G Off");
    digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == OUTPUT_1)   // DP
{
  WinButtonOUTPUT_1 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButtonOUTPUT_1 = WinButtonOUTPUT_1;
  ////Serial.println(Show_WinButtonOUTPUT_1);
  if (Show_WinButtonOUTPUT_1 == 1 ) {
    //Serial.println("DP On");
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
  }
  else if (Show_WinButtonOUTPUT_1 == 0) {
    //Serial.println("DP Off");
    digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 1) {
  WinButton001 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton001 = WinButton001;
  if (Show_WinButton001 == 0 ) {
    //Serial.println("Clear");
    //digitalWrite(OUTPUT_7,LOW);
    inter[0] = '\0';
    inter[1] = '\0';
    inter[2] = '\0';
    inter[3] = '\0';
    V = 0;
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    Xa = 0;
    Aa = 0;
    Bb = 0;
    // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x00, 0  ); // Show Current
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, 0);
  }
  else if (Show_WinButton001 == 1) {
    //Serial.println("Clear");
  }
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 15)   // clear All LED
{
  WinButton15 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton15 = WinButton15;
  if (Show_WinButton15 == 0 ) {
    //Serial.println("Clear");
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    //genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x00, 0  ); // Show Current
    // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, 0);
  }
  else if (Show_WinButton15 == 1) {
    //Serial.println("Clear1111");
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 16)   // clear All LED
{
  WinButton16 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton16 = WinButton16;
  if (Show_WinButton16 == 0 ) {
    //Serial.println("Clear");
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    //genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x00, 0  ); // Show Current
    // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, 0);
  }
  else if (Show_WinButton16 == 1) {
    //Serial.println("Clear1111");
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 13)   // clear All Segment
{
  WinButton13 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton13 = WinButton13;
  if (Show_WinButton13 == 0 ) {
    //Serial.println("Clear");
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    //genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x00, 0   ); // Show Current
    // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, 0);
  }
  else if (Show_WinButton13 == 1) {
    //Serial.println("Clear1111");
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 14)   // clear All Segment
{
  WinButton14 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton14 = WinButton14;
  if (Show_WinButton14 == 0 ) {
    //Serial.println("Clear");
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    //genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x00, 0  ); // Show Current
    // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, 0);
  }
  else if (Show_WinButton14 == 1) {
    //Serial.println("Clear1111");
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 3)   // clear All Segment
{
  WinButton003 = genie.GetEventData(&Event);
  Show_WinButton003 = WinButton003;
  if (Show_WinButton003 == 0 ) {
    //Serial.println("Up");
    Counter++;
    genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x04, Counter);
    if ( Counter == 1) {
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 2) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 3) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 4) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 5) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 6) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 7) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 8) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 9) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 0) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
  }
  /*
    digitalWrite(OUTPUT_0c,LOW);//1
    digitalWrite(OUTPUT_1,LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2,LOW);//0
    digitalWrite(OUTPUT_3,LOW);//1
    digitalWrite(OUTPUT_4,LOW);//1
    digitalWrite(OUTPUT_5,LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6,LOW);//1
    digitalWrite(OUTPUT_7,LOW);
  */
  // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x04, 9); // Show Current
  // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, 0);
 }
 else if (Show_WinButton3 == 1) {
  //Serial.println("Clear1111");
 }
}
//------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 4)  // clear All Segment
{
 WinButton004 = genie.GetEventData(&Event);
 Show_WinButton004 = WinButton004;
 if (Show_WinButton004 == 0 )
 {
  //Serial.println("Down");
  Counter--;
  genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x04, Counter);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if ( Counter == 1) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 2) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 3) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if ( Counter == 4) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 5) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 6) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if ( Counter == 7) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 8) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Counter == 9) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if ( Counter == 0) {
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
      digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
    }
    /*
      digitalWrite(OUTPUT_0c,LOW);//1
      digitalWrite(OUTPUT_1,LOW); //1
      digitalWrite(OUTPUT_2,LOW);//0
      digitalWrite(OUTPUT_3,LOW);//1
      digitalWrite(OUTPUT_4,LOW);//1
      digitalWrite(OUTPUT_5,LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_6,LOW);//1
      digitalWrite(OUTPUT_7,LOW);
    */
    // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x04, 9); // Show Current
    // genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, 0);
  }
  else if (Show_WinButton3 == 1) {
    //Serial.println("Clear1111");
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
/*
  if (Event.reportObject.index == 12)   // On Common Cathode
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {
    WinButton10 = genie.GetEventData(&Event);
    Show_WinButton10 = WinButton10;
     //Serial.println(Show_WidnButton10);
    cif (Show_WinButton10 == 1 )
    {
     //Serial.println("0");
     genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED, 0x0, 1);
    }
      //genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x07, );
    }
   */
   //-----------------------------------------------------------------------------------------
  }// Event WinButton

//=============================================================
  if (Event.reportObject.object == GENIE_OBJ_KEYBOARD)          // KeyBoard
Form 19
  {
   //-----------------------------------------------------------------------------------------
   if (Event.reportObject.index == 0)   // Commond Cathode
   {
    char data = genie.GetEventData(&Event);
    Show_KeyBoard0 = data - 48 ;
    ////Serial.println(Show_KeyBoard0);
    if (Show_KeyBoard0 == 1) {
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if (Show_KeyBoard0 == 2) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if (Show_KeyBoard0 == 3) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Show_KeyBoard0 == 4) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Show_KeyBoard0 == 5) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Show_KeyBoard0 == 6) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Show_KeyBoard0 == 7) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Show_KeyBoard0 == 8)
{
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Show_KeyBoard0 == 9) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Show_KeyBoard0 == 0) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 1)   //Commond Anode
{
  char mana = genie.GetEventData(&Event);
  Show_KeyBoard1 = mana - 48 ;
  //Serial.println(Show_KeyBoard1);
  //รอของสลับ HIGH LOW
  if (Show_KeyBoard1 == 1) {
    digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
  }
  if (Show_KeyBoard1 == 2) {
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
}
if (Show_KeyBoard1 == 3) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
}
if ( Show_KeyBoard1 == 4) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
}
if ( Show_KeyBoard1 == 5) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
}
if ( Show_KeyBoard1 == 6) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
}
if ( Show_KeyBoard1 == 7) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_5, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
}
if ( Show_KeyBoard1 == 8) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
  }
  if ( Show_KeyBoard1 == 9) {
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, HIGH); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
  }
  if ( Show_KeyBoard1 == 0) {
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //0
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_4, LOW); //1
    digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_6, HIGH); //1
    digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
  }
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
if (Event.reportObject.index == 2)   //Commond Anode
{
  inter[V++] = genie.GetEventData(&Event);
  ////Serial.println(inter1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// //Serial.print(inter[3]);
// //Serial.print(inter[2]);
// //Serial.print(inter[1]);
////Serial.println(inter[0]);
if (inter[0] == '0') {
  Aa = 0;
  g1 = 0;
}
if (inter[0] == '1') {
  Aa = 1;
  g1 = 1;
}
else if (inter[0] == '2') {
  Aa = 2;
  g1 = 0;
}
else if (inter[0] == '3') {
  Aa = 3;
  g1 = 0;
}
else if (inter[0] == '4') {
  Aa = 4;
  g1 = 0;
}
else if (inter[0] == '5') {
  Aa = 5;
  g1 = 0;
}
else if (inter[0] == '6') {
  Aa = 6;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  g1 = 0;
}
else if (inter[0] == '7') {
  Aa = 7;
  g1 = 0;
}
else if (inter[0] == '8') {
  Aa = 8;
  g1 = 0;
}
else if (inter[0] == '9') {
  Aa = 9;
  g1 = 0;
}
if (inter[1] == '0') {
  Bb = 0;
  g2 = 1;
}
else if (inter[1] == '1') {
  Bb = 1;
  g2 = 0;
}
else if (inter[1] == '2') {
  Bb = 2;
  g2 = 0;
}
else if (inter[1] == '3') {
  Bb = 3;
  g2 = 0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else if (inter[1] == '4') {
  Bb = 4;
  g2 = 0;
}
else if (inter[1] == '5') {
  Bb = 5;
  g2 = 0;
}
else if (inter[1] == '6') {
  Bb = 6;
  g2 = 0;
}
else if (inter[1] == '7') {
  Bb = 7;
  g2 = 0;
}
else if (inter[1] == '8') {
  Bb = 8;
  g2 = 0;
}
else if (inter[1] == '9') {
  Bb = 9;
  g2 = 0;
}
if (Bb == 0) {
  Xa = Aa * 1;
}
if ( Bb >= 1) {
  Xa = Aa * 10 + Bb * 1;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//Serial.println(Xa);
// int Za= g4*8+g3*4+g2*2+g1*1;
////Serial.println(Za,HEX);
// genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x00, Xa  ); // Show Current
genie.WriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01, Xa);
if ( Xa == 1) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 2) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 3) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 4) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 5) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 6) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 7) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 8) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, HIGH);
}
if ( Xa == 9) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 10) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 11) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, LOW); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 12) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 13) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_1, LOW); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 14) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
  digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
}
if ( Xa == 15) {
  digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
  digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH); //1
  digitalWrite(OUTPUT_2, HIGH); //1c
  digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        digitalWrite(OUTPUT_4, LOW);
        digitalWrite(OUTPUT_5, LOW);
        digitalWrite(OUTPUT_6, LOW);
        digitalWrite(OUTPUT_7, LOW);
      }
    }
    //-----------------------------------------------------------------------------------------------------
  } // Event Keyboard

//============================================================== }
// Event  All

//==============================================================
if (dot == 1) {
  if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
  } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
    digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
  } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
    digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
    digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1, LOW);
    } else {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1, HIGH);
    }
  }
  else if ( dot == 2) {
    //-----------------------------------
    if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0))
    {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 0) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 0) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, HIGH);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 1) && (digitalRead(INPUT_5) == 0)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else if ((digitalRead(INPUT_0) == 1) && (digitalRead(INPUT_1) == 1) &&
(digitalRead(INPUT_4) == 0) && (digitalRead(INPUT_5) == 1)) {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , HIGH);
    } else {
      digitalWrite(OUTPUT_3, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_0, LOW);
      digitalWrite(OUTPUT_1 , LOW);
    }
  }
  //=============================================================
  // }
} // loop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
รายละเอียดในแต่ละการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงชุดทดลองดิจิตอลสำหรับห้องปฏิบัติการบนพื้นฐานการเรียนรู้เชิงรุก

สัปดาห์	รายละเอียด
1	การใช้เครื่องมือ โวลต์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ แอมมิเตอร์
2	เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของสวิตช์ต่าง ๆ
3	การใช้เครื่องออสซิโลสโคปและการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้า
4	การทำโลจิกโมนิเตอร์และการนำไปใช้ในปฏิบัติการทดลอง
5	ลอจิกเกตและวงจรคอมบิเนชั่น
6	วงจรเข้ารหัสและวงจรถอดรหัส
7	วงจรบวกและวงจรลบ
8	วงจรบวกและวงจรลบแบบขนาน
9	วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และวงจรดีมัลติเพล็กซ์เซอร์
10	ฟลิปฟลอป
11	วงจรนับ
12	แอพพลิเคชั่น
13	แอพพลิเคชั่น
14	โครงงาน
15	โครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 การใช้เครื่องมือโวลต์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ แอมมิเตอร์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1.1 เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานโวลต์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ และแอมมิเตอร์

1.2 เพื่อให้มีทักษะการใช้เครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง และปลอดภัย

1.3 สามารถอ่านค่าความต้านทานจากแถบสีได้

1.4 สามารถเข้าใจการต่อวงจรทั้งแบบอนุกรมและขนาน

1.5 สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้

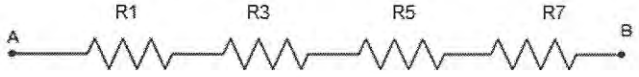
การทดลองที่ 1 อ่านค่าแทบสีความต้านทานและวัดค่าความต้านทานพร้อมบันทึกผลลงตาราง

ตารางที่ 1 การอ่านค่าแถบสีตัวต้าน

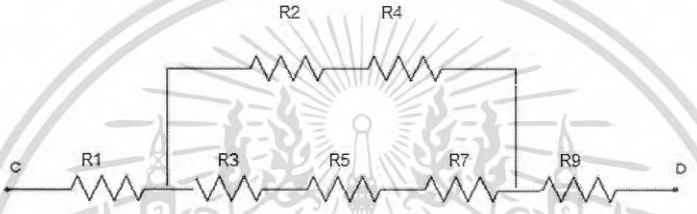
ค่าที่	แถบสี	ค่าที่อ่าน	ค่าที่วัด	% ค่าความผิดพลาด
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 นำค่าความต้านทานจากการทดลองที่ 1 มาใช้งาน เพื่อวัดหาแรงดัน



วงจรที่ 1

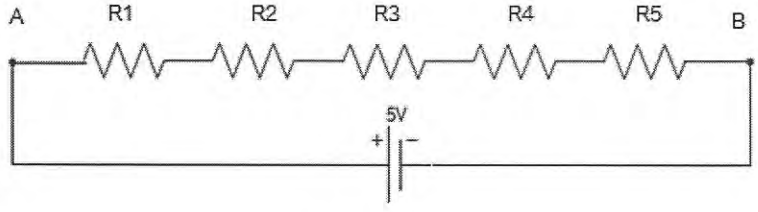


วงจรที่ 2

วงจรที่	ความต้านทานที่วัดได้										Rรวมคำนวณ	R รวมการวัด	E(%)
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10			
1		-		-		-		-	-	-			
2						-		-		-			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

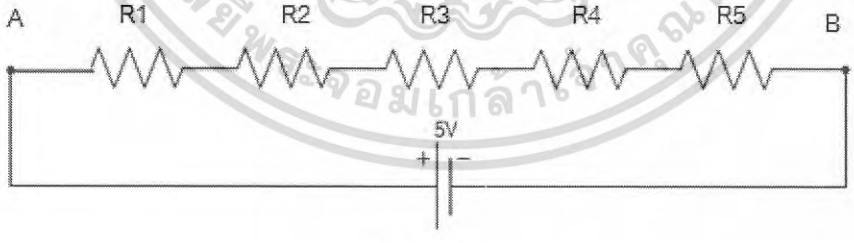
การทดลองที่ 3 วัดหาแรงดัน



วงจรที่ 3

แรงดัน	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	วัดครั้งที่ 4	วัดครั้งที่ 5	$E_{max}(\%)$	$E_{min}(\%)$
	R1	R2	R3	R4	R5		
ค่าคำนวณ							
ค่าวัด							

การทดลองที่ 4 วัด – Ampmeter



วงจรที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของสวิตช์ต่าง ๆ

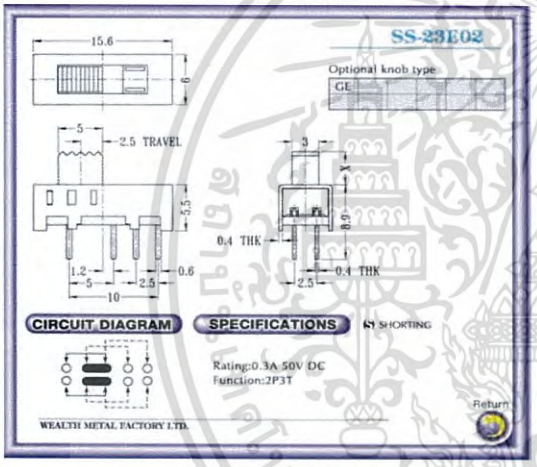
วัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.1 เข้าใจการทำงานเลือกของหน้าสัมผัสแบบปกติเปิดและแบบปกติปิด รวมไปถึงหลักการทำงานรีเลย์

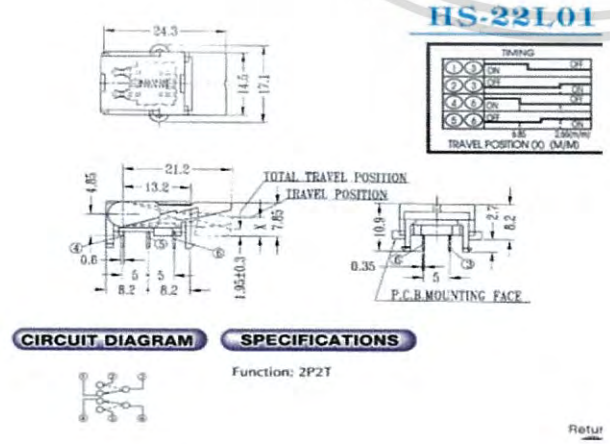
2.2 เพื่อให้มีทักษะในการใช้สวิตช์ในรูปแบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับงาน

TEST CONTACT

- สวิตช์แบบเลื่อน (Slide switch)

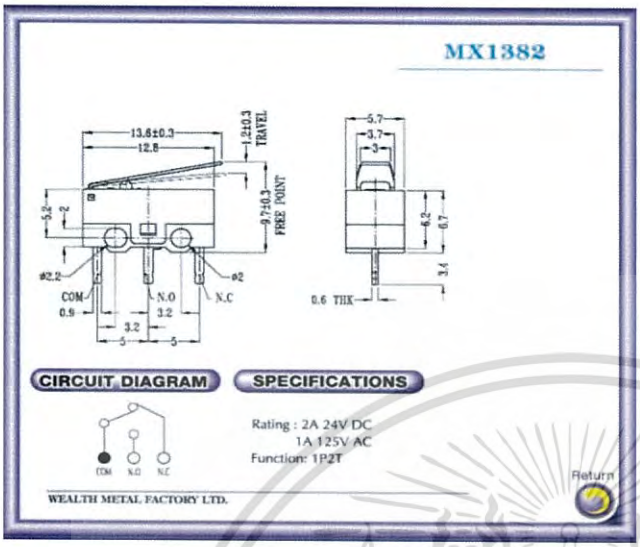


- ฮุคสวิตช์ (Hook switch)

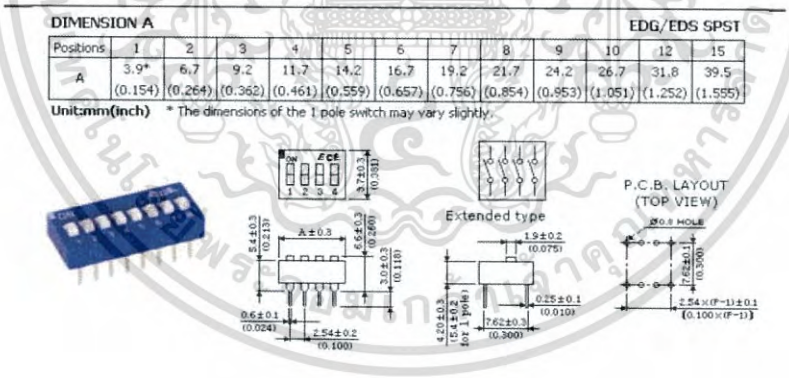


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไมโครสวิตช์ (Micro switch)



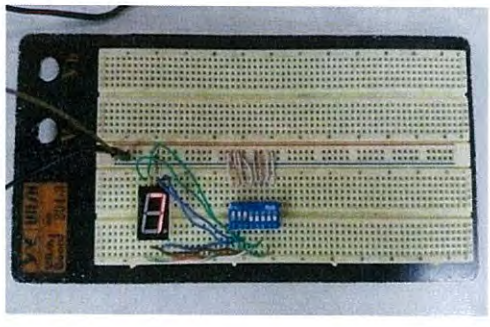
-ดี ไอ พี สวิตช์ (DIP SWITCH)



DIMENSION A — EDG/EDS SPST

Positions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
A	3.9* (0.154)	6.7 (0.264)	9.2 (0.362)	11.7 (0.461)	14.2 (0.559)	16.7 (0.657)	19.2 (0.756)	21.7 (0.854)	24.2 (0.953)	26.7 (1.051)	31.8 (1.252)	39.5 (1.555)

Unit:mm(inch) * The dimensions of the 1 pole switch may vary slightly.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

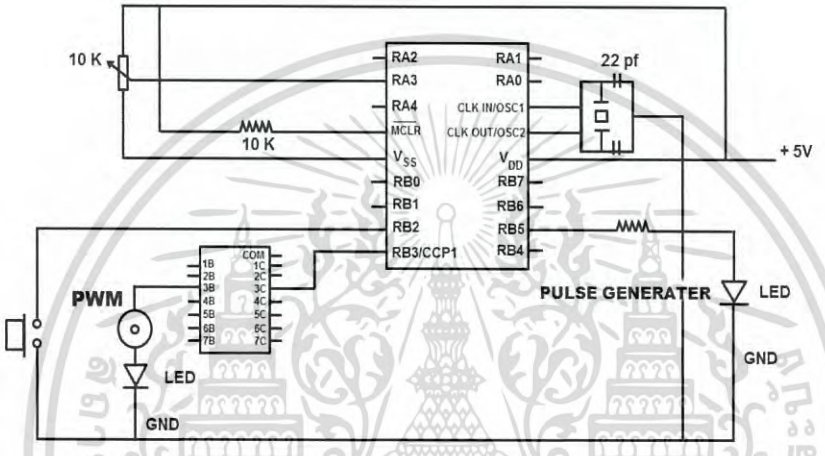
การทดลองที่ 3 การใช้เครื่องออสซิโลสโคปและการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

3.1 เพื่อให้มีทักษะในการใช้เครื่องออสซิโลสโคปและเครื่องกำเนิดสัญญาณ

3.2 เพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะของสัญญาณแบบพัลส์วิทมอดูเลชัน ด้วยเครื่องออสซิโลสโคปได้

3.3 เพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะของสัญญาณจากพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ที่มีความถี่แตกต่างกันด้วยเครื่องออสซิโลสโคป

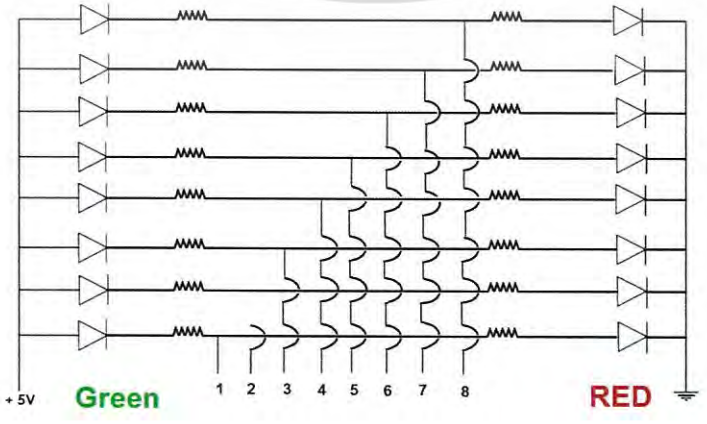


การทดลองที่ 4 การทำโลจิกมอนิเตอร์และการนำไปใช้ในปฏิบัติการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

4.1 เข้าใจหลักการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED)

4.2 เข้าใจหลักการทำงานของลอจิกมอนิเตอร์และสามารถสร้างเป็นส่วนแสดงผลในระดับลอจิกได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5 ลอจิกเกตและวงจรคอมบิเนชัน

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

5.1 สามารถเขียนสัญลักษณ์สมการตารางค่าความจริง และ Timing Diagram ของลอจิกเกตแบบต่าง ๆ ได้

5.2 สามารถอธิบายคุณสมบัติของลอจิกเกตแบบต่าง ๆ ได้

5.3 สามารถวิเคราะห์จากผลการทดสอบได้ว่าเป็นลอจิกเกตชนิดใด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองวิเคราะห์ผลจากการทดสอบเพื่อระบุชนิดของลอจิกเกต

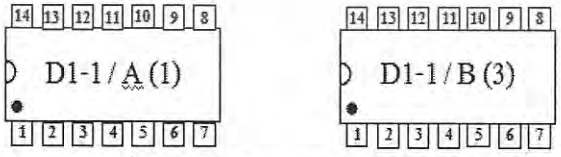
ไอซี จำนวน ช 1ด ประกอบด้วยไอซีทั้งหมด ตัว 7และที่มีรหัสกำกับบนตัวไอซีแต่ละตัว แสดงตามรูปที่ 1 โดยรหัสจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบไปด้วย

ก) รหัสบอกการทดลอง เช่น D1-1 หมายถึง การทดลองที่ 1.1

ข) รหัสบอกชุดของไอซี เช่น A,B,C และ D เป็นต้นรหัสบอกชุดจะหมายถึง ไอซีชุดนั้นเป็นชุดใดในการทดลองนั้น ๆ ซึ่งแต่ละชุดเบอร์ไอซีในหรือลำดับจะแตกต่างกัน

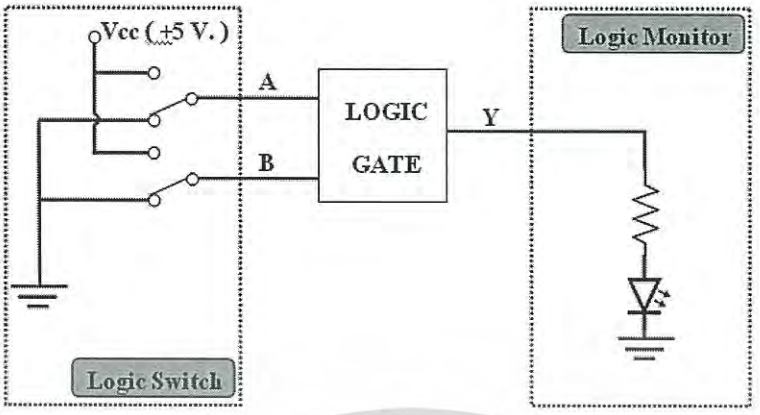
ค) รหัสบอกลำดับของไอซี เช่น (1) , (2) , (3) เป็นต้น ซึ่งหมายถึงลำดับที่นำไปใช้ในการทดลองย่อยของการทดลองนั้น ๆ

โดยในการทดลองให้นำไอซีไปต่อวงจรตามรูปที่ 2 แล้วทำการทดลองป้อนค่าตามตารางเพื่อ หาเอาต์พุตที่ได้ แล้วพิจารณาว่าไอซีดังกล่าวเป็นไอซีลอจิกเกตแบบใด โดยรูปแบบการจัดวางขาของไอซีลอจิกเกตอาจไม่เหมือนกันแต่อยู่ภายใน ลักษณะ ตามรูป 3ที่ 3

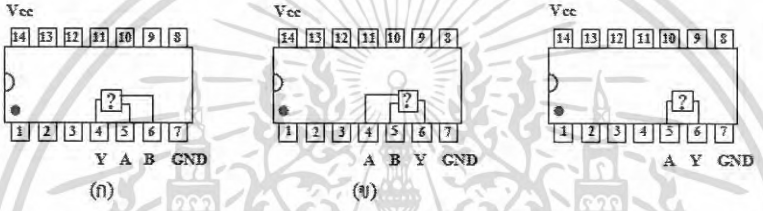


รูปที่ 1. ตัวอย่างไอซีและรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. วงจรสำหรับต่อเพื่อทดสอบไอซีลอจิกเกต



รูปที่ 3. ลักษณะการจัดวางของลอจิกเกตภายในไอซีลอจิกเกตใน 3 ลักษณะ

1.1 ให้นำไอซีรหัส D1-1 / ชุดที่ (1) ต่อไฟเลี้ยงและกราวนด์ให้กับไอซีจากนั้นต่อขาอินพุต (A และ B) เข้าที่ ลอจิกสวิตช์ที่อยู่ด้านซ้ายมือบนบอร์ดทดลอง DT1 และต่อขาเอาต์พุต (Y) เข้าที่ลอจิกมอนิเตอร์ที่อยู่ด้านบนซ้ายจากนั้นโยกสวิตช์ที่ ลอจิกสวิตช์ตามอินพุตที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 และสังเกตเอาต์พุตที่เกิดขึ้นแล้วบันทึกลงในตารางเมื่อบันทึกค่าในตารางจนครบแล้วให้พิจารณาว่าจากตารางค่าความจริงว่าเอาต์พุต Y มีสมการบูลีนอะไรแล้วบันทึกลงในที่ว่าง และสรุป ด้วยว่าไอซีดังกล่าวเป็นไอซีเกตชนิดใด

ตารางที่ 1

อินพุต		เอาต์พุต
B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

รหัสบนตัวไอซีที่ใช้คือ .....

สมการบูลีน คือ Y =..... ....

ไอซีนี้เป็นไอซีเกตชนิด .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ทำเหมือนกับข้อ 1.1 แต่เปลี่ยนไอซีเป็นไอซีที่มีรหัสบอกลำดับเป็น D1-1 / ชุดที่ (2)

ตารางที่ 2

อินพุต		เอาต์พุต
B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

รหัสบนตัวไอซีที่ใช้คือ .....

สมการบูลีน คือ Y =..... ....

ไอซีนี้เป็นไอซีเกตชนิด .....

1.3 ทำเหมือนกับข้อ 1.1 แต่เปลี่ยนไอซีเป็นไอซีที่มีรหัสบอกลำดับเป็น D1-1 / ชุดที่ (3)

ตารางที่ 3

อินพุต		เอาต์พุต
B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

รหัสบนตัวไอซีที่ใช้คือ .....

สมการบูลีน คือ Y =..... ....

ไอซีนี้เป็นไอซีเกตชนิด .....

1.4 ทำเหมือนกับข้อ 1.1 แต่เปลี่ยนไอซีเป็นไอซีที่มีรหัสบอกลำดับเป็น D1-1 / ชุดที่ (4)

ตารางที่ 4

อินพุต		เอาต์พุต
B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

รหัสบนตัวไอซีที่ใช้คือ .....

สมการบูลีน คือ Y =..... ....

ไอซีนี้เป็นไอซีเกตชนิด .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ทำเหมือนกับข้อ 1.1 แต่เปลี่ยนไอซีเป็นไอซีที่มีรหัสบอกลำดับเป็น D1-1 / ชุดที่ (5)

ตารางที่ 5

อินพุต		เอาต์พุต
B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

รหัสบนตัวไอซีที่ใช้คือ .....

สมการบูลีน คือ Y =..... ....

ไอซีนี้เป็นไอซีเกตชนิด .....

1.6 ทำเหมือนกับข้อ 4.1.1 แต่เปลี่ยนไอซีเป็นไอซีที่มีรหัสบอกลำดับเป็น D1-1 / ชุดที่ (6)

ตารางที่ 6

อินพุต		เอาต์พุต
B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

รหัสบนตัวไอซีที่ใช้คือ .....

สมการบูลีน คือ Y =..... ....

ไอซีนี้เป็นไอซีเกตชนิด .....

1.7 ทำเหมือนกับข้อ 1.1 แต่เปลี่ยนไอซีเป็นไอซีที่มีรหัสบอกลำดับเป็น D1-1 / ชุดที่ (7)

ตารางที่ 7

อินพุต		เอาต์พุต
B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

รหัสบนตัวไอซีที่ใช้คือ .....

สมการบูลีน คือ Y =..... ....

ไอซีนี้เป็นไอซีเกตชนิด .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ให้นำชนิดของไอซีที่ได้จากการทดลองที่ 1.1 ถึง 1.7 มาบันทึกลงในตารางที่ 8 โดยให้บันทึกเป็นภาษาอังกฤษอย่างย่อ เช่น AND , EX-OR หรือ EX-NOR เป็นต้น

ตารางที่ 8

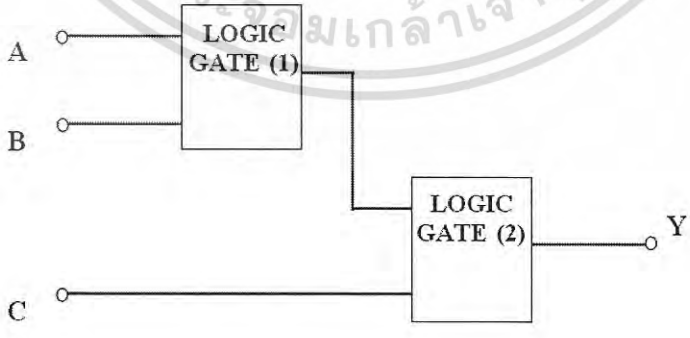
ไอซีที่ใช้ทำการทดลองเป็นไอซีรหัส D1-1 ชุด _____						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

การทดลองวงจรคอมบิเนชั่นและการลดรูปสมการ

ลำดับขั้นการทดลอง

การทดลองวิเคราะห์วงจรคอมบิเนชั่น

1.2 ให้นำไอซีรหัส D-12/ ชุดที่ (1)และ(2) มาต่อวงจรตามรูปที่ 2 โดยไอซีที่ใช้ภายในชุดการทดลองนี้จะมีลักษณะการวางของขาไอซีตามรูปที่ 3 (ข) (ในใบงานการทดลองที่ 1.1) การต่ออินพุต (A และ B) ให้ใช้สัญญาณจาก ลอจิกสวิตช์และเอาต์พุตให้ต่อที่ ลอจิกมอนิเตอร์เหมือนการทดลองที่ก่อนหน้านี้จากนั้นโยกสวิตช์ที่ลอจิกสวิตช์ ตามอินพุตที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 สังเกตเอาต์พุตที่เกิดขึ้นแล้วบันทึกผลลงในตารางเมื่อบันทึกค่าในตารางจนครบแล้วให้นำค่าจากตารางค่าความจริงใส่ในแผนผังคาร์นอห์ แล้วทำการ Map เพื่อหาสมการเอาต์พุต Y โดยจะอยู่ในรูปแบบของ Min เทอมหรือ Max เทอมก็ได้จากนั้นให้พิจารณาต่อไปว่าไอซีทั้งสองตัวเป็นไอซีชนิดใดแล้วบันทึกลงในช่องว่างที่เว้นไว

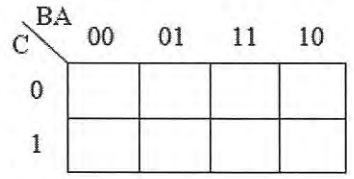


รูปที่ 2. วงจรคอมบิเนชั่นที่มีการต่อลอจิกเกตแบบ 2 ระดับชั้น (Level 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2

อินพุต			เอาต์พุต
C	B	A	Y
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	



Y = ...

= .....

= .....

ไอซีเกต (1) เป็นไอซีเกตชนิด .....

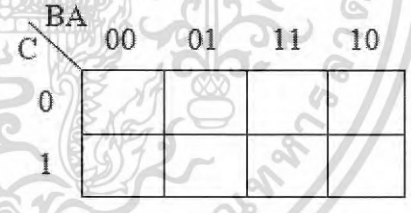
ไอซีเกต (2) เป็นไอซีเกตชนิด .....

1.2 ทำเหมือนกับข้อ 1.1 แต่เปลี่ยนไอซีเป็ไอซี (3) และ (4) แทน (1) และ (2) ตามลำดับ

ตารางที่ 3

อินพุต			เอาต์พุต
C	B	A	Y
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Y =



.....

= .....

= .....

ไอซีเกต (3)เป็นไอซีเกตชนิด .....

ไอซีเกต (4) เป็นไอซีเกตชนิด .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

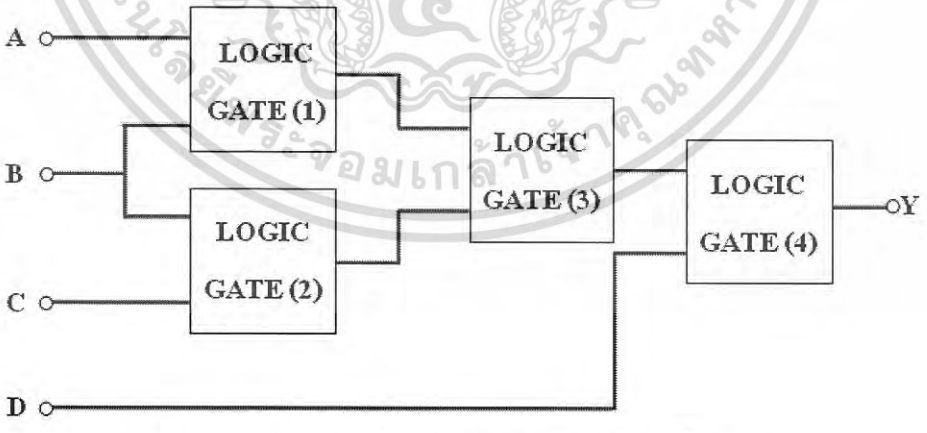
1.3 ให้นำชนิดของไอซีที่ได้จากการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 มาบันทึกลงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4

ไอซีที่ใช้ทำการทดลองเป็นไอซีรหัส D1-2 ชุด _____			
(1)	(2)	(3)	(4)

2. การทดลองเปรียบเทียบการลดรูปสมการด้วยแผนผังคาร์นอห์กับการใช้พีชคณิตบูลีน

2.1 ให้นำไอซีรหัส D-12/ ชุดที่ (1) , (2) , (3) และ (4) มาต่อวงจรตามรูปที่ 3 จากนั้นโยก สวิตช์ที่ ลอจิก สวิตช์ ตามอินพุตที่กำหนดไว้ในตารางที่ 13 สังเกตเอาต์พุตที่เกิดขึ้นแล้วบันทึกผลลงในตารางเมื่อบันทึกค่าในตารางจนครบแล้วให้นำค่าจากตารางค่าความจริงใส่ในแผนผังคาร์นอห์แล้วทำการ Map เพื่อหาสมการเอาต์พุต Y โดยจะอยู่ในรูปแบบของ Min เทอมหรือ Max เทอมก็ได้ แล้วบันทึกลงในช่องว่างที่เว้นไว้จากนั้นให้เขียนสมการจากวงจรในรูปที่ 3 แล้วบันทึกลงในตารางที่ 6 ช่องด้านซ้ายแล้วทำการลดรูปโดยใช้คุณสมบัติหรือทฤษฎีเข้ามาช่วยในการลดรูปทำไปจนกว่าจะได้สมการในรูปแบบเดียวกับที่ได้จากแผนผังคาร์นอห์โดยแต่ละขั้นที่ทำการลดรูปให้ระบุที่ช่องด้านขวาของตารางที่ 6 ด้วยว่าใช้คุณสมบัติใด หรือทฤษฎีใดในการลดรูปในขั้นตอนนั้น ๆ



รูปที่ 3. วงจรคอมบิเนชั่นที่มีการต่อลอจิกเกตแบบ 3 ระดับชั้น (Level 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5

อินพุต				เอาต์พุต
D	C	B	A	Y
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

DC \ BA	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

Y= .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6

สมการ Y=	คุณสมบัติหรือทฤษฎีที่ใช้
Y=	-

การทดลองที่ 6 วงจรเข้ารหัสและวงจรถอดรหัส

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

6.1 สามารถตรวจสอบการทำงานของตัวแสดงผล (Display) แบบ 7-Segment ได้

6.2 สามารถแยกความแตกต่างระหว่างวงจรเข้ารหัสกับถอดรหัสได้

6.3 สามารถนำวงจรเข้ารหัสและถอดรหัสไปประยุกต์ใช้งานได้

ลำดับขั้นการทดลอง

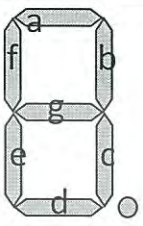
1. การทดลองอุปกรณ์แสดงผล 7-Segment

ให้ทำการต่อสายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างส่วน ลอจิก สวิตช์ กับส่วนของ 7-Segment MPX Display ตามตารางที่ 1 จากนั้นเชื่อมต่อขาสัญญาณร่วม (Common Cathode) ของ 7-Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D2 ถึง D5 หลักใดก็ได้ เข้ากับกราวนด์ จากนั้นให้ทำการโยก ลอจิกสวิตช์ 0 ถึง 7 เพื่อให้ตัวแสดงผลแสดงผล 7-Segment แสดงผลตามตารางที่ 2 โดยให้บันทึกค่าของ ลอจิก สวิตช์ นั้นลงในตาราง

ตารางที่ 1

การเชื่อมต่อสัญญาณ ลอจิก สวิตช์ กับ 7-Segment MPX Display								
a	b	c	d	e	f	g	dp	
7	6	5	4	3	2	1	0	

ตารางที่ 2

7-Segment Display	Logic Switch							
	7	6	5	4	3	2	1	0
2.								
4								
7								
H								
5.								
1.								
8.								
A								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

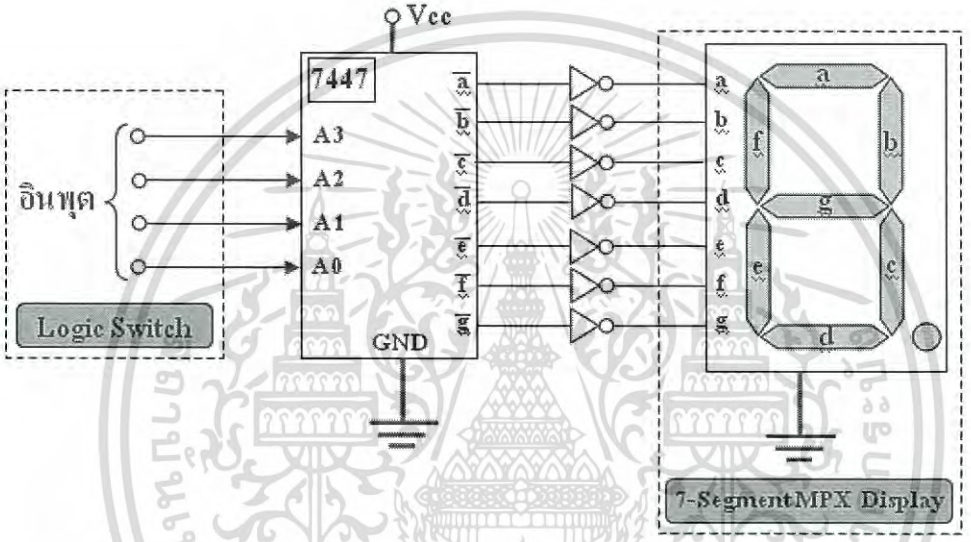
2. การทดลองวงจรถอดรหัส

ตารางที่ 3

Logic Switch				การแสดงผลที่ 7-Segment
3	2	1	0	
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ทำการต่อวงจรถอดรหัสตามรูปที่ 1 เพื่อแปลงสัญญาณจากรหัส BCD ซึ่งเป็นชุดข้อมูลด้านอินพุต โดยใช้ ลอจิก สวิตช์เป็นตัวเปลี่ยนค่าอินพุตของรหัส BCD ที่ป้อนเข้าไปที่ โดยมีไอซี 7447 ทำหน้าที่เป็น Decoder ในการเปลี่ยนรหัส BCD ไปเป็นชุดข้อมูล สำหรับแสดงผลบน 7-Segment จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าอินพุตตามค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 สังเกตการแสดงผลของ 7-Segment ที่เกิดขึ้นแล้วบันทึกการแสดงผลนั้นลงในตารางที่ 3



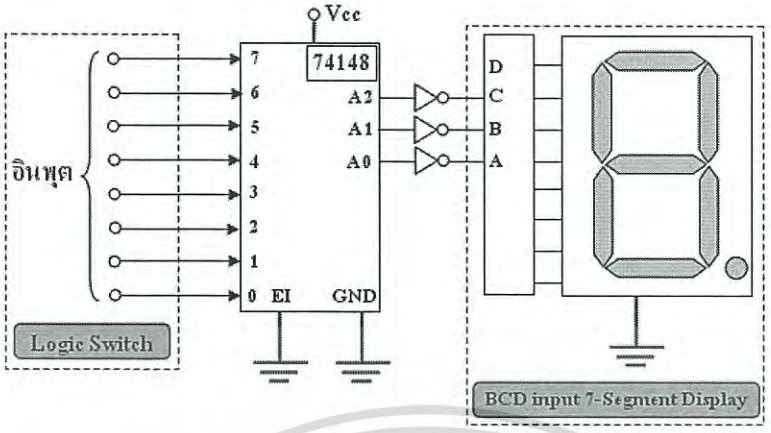
รูปที่ 1. วงจรถอดรหัสจาก BCD ไปแสดงผลที่ 7-Segment

จากนั้นทดลองเปลี่ยนอินพุต จากลอจิกสวิตช์ เป็น BCD เอาต์พุตพรีเซ็ตสวิตช์แทน โดยให้ต่อจุดเชื่อม D, C, B และ A เข้ากับ A3, A2, A1 และ A0 ตามลำดับจากนั้นทดลองกดปุ่ม บวก และ ลบ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวเลขของ BCD พรีเซ็ตสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ตัวแสดงผล 7-Segment ว่าเป็นอย่างไร

3. การทดลองวงจรเข้ารหัส

ในการทดลองวงจรเข้ารหัสจะใช้ไอซีแบบ เข้า 8 ออก 3 ในการเข้ารหัสโดยให้ใช้อินพุตจากลอจิก สวิตช์และต่อเอาต์พุตไปยัง BCD อินพุต 7-Segment Display เพื่อแสดงผลจากนั้นให้ทำการโยกสวิตช์ให้ได้การแสดงผลตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 แล้วทำการบันทึกค่าอินพุตจากลอจิกสวิตช์ทั้ง 8 สวิตช์ลงในตารางที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. วงจรเข้ารหัสจาก Switch ไปเป็นรหัส BCD และส่งไปแสดงผลที่ BCD Input 7-Segment

ตารางที่ 4

7-Segment Display	Logic Switch							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 7 วงจรบวกและวงจรลบ

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

7.1 สามารถออกแบบวงจรบวกได้ทั้งแบบคิดตัวทดและแบบไม่คิดตัวทด

7.2 สามารถออกแบบวงจรลบได้ทั้งแบบคิดตัวยืมและแบบไม่คิดตัวยืม

7.3 สามารถสร้างและทดสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรบวกทั้งแบบคิดตัวทดและแบบไม่คิดตัวทด

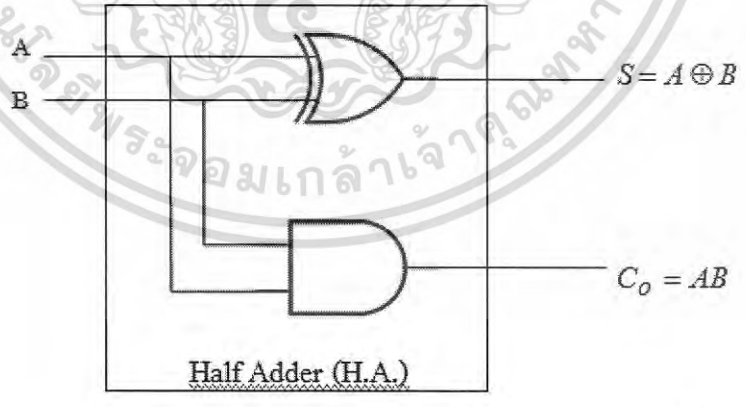
7.4 สามารถสร้าง และ ทดสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรลบทั้งแบบคิดตัวยืมและแบบไม่คิดตัวยืม

วงจรบวก

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองวงจรบวกแบบไม่คิดตัวทด

ให้ต่อวงจรบวกแบบไม่คิดตัวทดตามรูปที่ 3 โดยต่อสัญญาณอินพุตจากลอจิกสวิตช์และต่อสัญญาณเอาต์พุตไปแสดงผลที่ลอจิกมอนิเตอร์จากนั้นโยกสวิชท์ที่ลอจิกสวิตช์ตามอินพุตที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3 สังเกตเอาต์พุตที่เกิดขึ้นแล้วบันทึกลงในตารางและทำการเปรียบเทียบผลจากการทดลองว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่



รูปที่ 3. ลักษณะการต่อวงจรบวกแบบไม่คิดตัวทด หรือ Half Adder (H.A.) ด้วยลอจิกเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

อินพุต		เอาต์พุต	
B	A	S	C_O
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

2. การทดลองวงจรบวกแบบคิดตัวทด

ให้วาดวงจรบวกแบบคิดตัวทดลงในช่องว่างด้านล่าง ในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 3 จาก จากนั้นทำการต่อวงจร และทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับการทดลองก่อนหน้า

Full Adder (F.A.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4

อินพุต			เอาต์พุต	
C_i	B	A	S	C_O
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

วงจรลบ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองวงจรลบแบบไม่คิดตัวทด

ให้วาดวงจรลบแบบไม่คิดตัวทดลงในช่องว่างจากนั้นทำการต่อวงจรและทำการทดลอง

Half Subtractor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

อินพุต		เอาต์พุต	
A	B	D	B_O
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

2. การทดลองวงจรลบแบบคิดตัวทด

ให้วาดวงจรลบแบบคิดตัวทดลงลงในช่องว่างจากนั้นทำการต่อวงจรและทำการทดลอง

Full Subtractor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4

อินพุต			เอาต์พุต	
B_i	B	A	D	B_O
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

การทดลองที่ 8 วงจรบวกและลบแบบขนาน

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

8.1 สามารถนำวงจรบวกแบบพื้นฐานไปสร้างเป็นวงจรแบบขนานที่มากกว่า 1 บิต

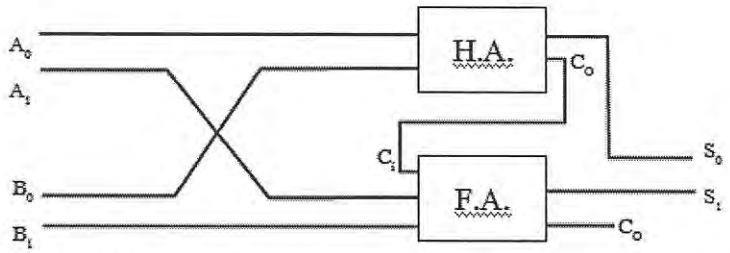
8.2 สามารถนำวงจรลบแบบพื้นฐานไปสร้างเป็นวงจรแบบขนานที่มากกว่า 1 บิต

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองวงจรบวกและลบแบบขนาน 2 บิต

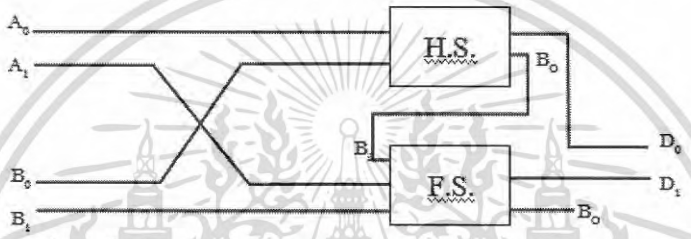
ให้ต่อวงจรบวกแบบขนาน 2 บิตตามรูปที่ 3 โดยวาดวงจรการต่อของลอจิกเกตของวงจรบวกแบบขนาน 2 บิตอย่างละเอียดลงในที่ว่างที่เตรียมไว้ให้ จากนั้นให้นำสัญญาณจาก BCD เอาต์พุตพรีเซ็ต สวิตช์จุด B และ A ทั้งสองชุดมาต่อเป็นสัญญาณของตัวตั้งและตัวบวก ส่วนผลบวกให้ต่อไปแสดงผลที่ BCD อินพุต 7-Segment Display สำหรับตัวทดให้ต่อสัญญาณไปแสดงผลที่ ลอจิกมอนิเตอร์ จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าตัวตั้งและตัวบวกตามตารางที่ 1 และสังเกตค่าผลบวกที่ได้แล้วบันทึกลงในตาราง พร้อมทั้งสังเกตด้วยว่าเกิดตัวทดขึ้นด้วยหรือไม่แล้วบันทึกค่าลงในตารางเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. บล็อกไดอะแกรมของวงจรบวกเลข Binary จำนวน 2 บิต แบบขนาน

2) ให้ต่อวงจรลบแบบขนาน 2 บิตตามรูปที่ 4 แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 2



รูปที่ 8. บล็อกไดอะแกรมของวงจรลบเลข Binary จำนวน 2 บิต แบบขนาน

การทดลองที่ 9 วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และวงจรดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

9.1 สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์กับดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ได้

9.2 สามารถนำวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ไปประยุกต์ใช้งานได้

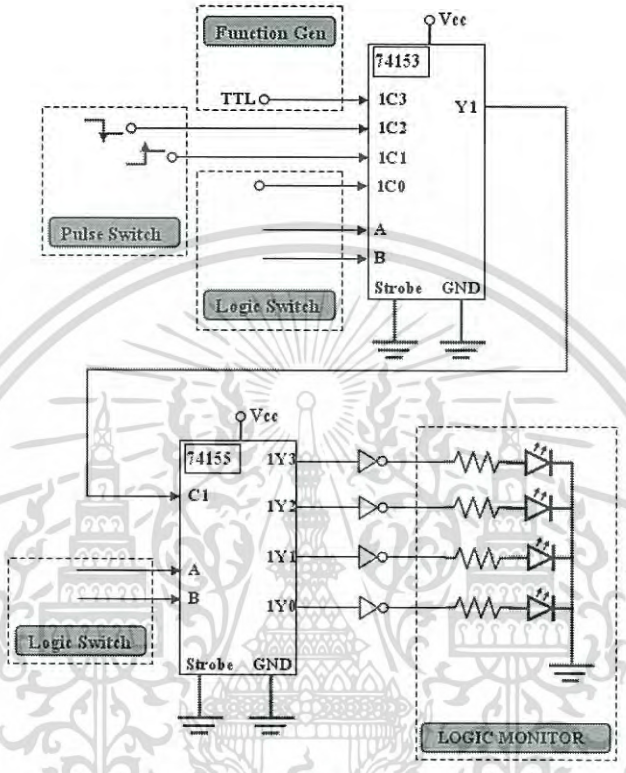
ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองวงจรสื่อสารแบบ 4 ช่องสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณเพียงเส้นเดียวด้วยวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

ให้ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4 โดยป้อนอินพุตจาก 4 แหล่ง ประกอบไปด้วย สัญญาณจาก ลอจิก สวิตช์, สัญญาณขอบขาขึ้น และขอบขาลง จาก พัลส์ สวิตช์และสัญญาณความถี่แบบ TTL จาก ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ซึ่งต้องปรับให้อยู่ที่ความถี่ที่ต่ำที่สุด ส่วนสัญญาณสำหรับเลือก (Data Selector) ของทั้งมัลติเพล็กซ์เซอร์และดีมัลติเพล็กซ์เซอร์นั้น ให้ป้อนจาก ลอจิก สวิตช์โดยในการทดลองให้เปลี่ยนค่าของ Data Selector ตามตารางที่ 5 แล้วบันทึกผลว่าเมื่อทำการป้อนค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Selector ค่านั้น ๆ แล้วอินพุตจากแหล่งใดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นที่เอาต์พุต แล้วเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใด พร้อมทั้งอธิบายถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นด้วยว่าเป็นอย่างไร สัมพันธ์กับอินพุตที่ป้อนอย่างไร



รูปที่ 4. วงจรจำลองการสื่อสารแบบ 4 ช่องสัญญาณ ผ่านสายนำสัญญาณเพียงเส้นเดียว ด้วยวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ และดีมัลติพล็กซ์เซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5

Data Selector				ชนิดของอินพุตที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง	เอาต์พุตที่ ลอจิกมอนิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง				
MUX		DEMUX			ตำแหน่ง				อธิบายลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตที่เกิดขึ้น
B	A	B	A		3	2	1	0	
0	0	0	0						
0	1	0	1						
1	0	1	0						
1	1	1	1						
0	0	0	1						
0	0	1	0						
0	0	1	1						
0	1	0	0						
0	1	1	0						
0	1	1	1						
1	0	0	0						
1	0	0	1						
1	0	1	1						
1	1	0	0						
1	1	0	1						
1	1	1	0						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 10 ฟลิปฟลอป

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

10.1 สามารถแยกความแตกต่างของฟลิปฟลอปแต่ละแบบได้

10.2 สามารถสร้างฟลิปฟลอปแบบต่าง ๆ จากลอจิตเกตได้

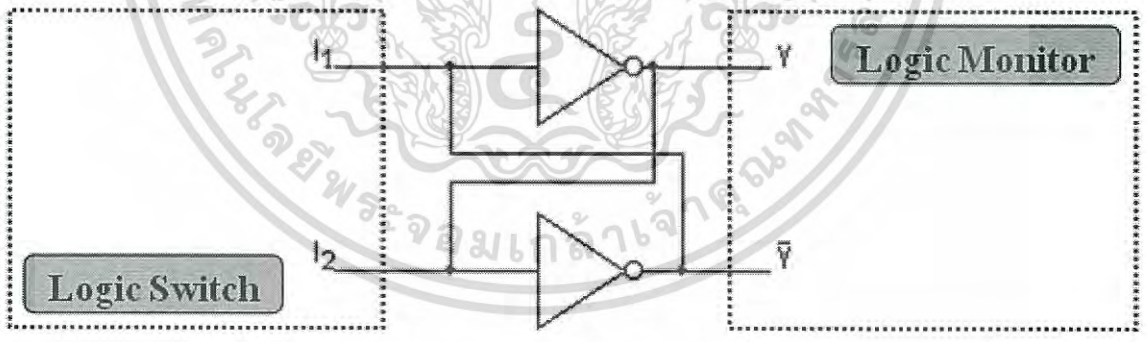
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บอร์ดทดลอง แลปดิจิตอล DT1-Plus จำนวน 1 เครื่อง
2. ไอซีสำหรับการทดลอง จำนวน 1 ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองสร้างฟลิปฟลอปอย่างง่าย

ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 3 จากนั้นทดลองป้อนอินพุต I_1 และ I_2 ตามตารางที่ 6 โดยในการทดลองป้อนอินพุตแต่ละค่าให้ปิดสวิตช์ POWER ก่อน จากนั้นป้อนค่าอินพุตตามค่าในตารางจากนั้นจึงเปิดสวิตช์ POWER แล้วบันทึกผลของเอาต์พุต Y กับ $\overline{Y}$ ที่ได้ลงในตาราง แล้วทดลองเปลี่ยนค่าอินพุต I_1 และ I_2 พร้อมทั้งสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยเขียนอธิบายการเปลี่ยนแปลงนั้นลงในตาราง



รูปที่ 3 วงจรการต่อฟลิปฟลอปอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6

อินพุต		เอาต์พุต		อธิบายผลจากการทดลองเปลี่ยนค่า I_1 และ I_2
I_1	I_2	Y	$\overline{Y}$	
ไม่ต่อสาย				
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

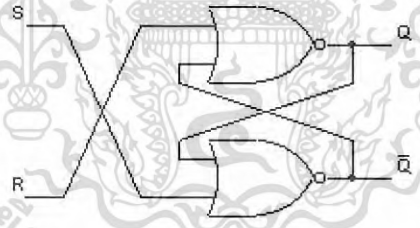
สรุปผล

.....

.....

.....

2. การทดลองสร้างอาร์ เอส ฟลิปฟลอปจากนอร์เกต (NOR GATE)



รูปที่ 4 วงจรอาร์ เอส ฟลิปฟลอป จากนอร์เกต

ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 4 จากนั้นทดลองป้อนอินพุต R และ S ตามตารางที่ 7 แล้วบันทึกผลของเอาต์พุต Q กับ $\overline{Q}$ ที่ได้ลงในตาราง จากนั้นทดลองเปลี่ยนค่าอินพุต R และ S โดยไม่ต้องปิดสวิตช์ POWER โดยในแต่ละขั้นที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุตให้เขียนอธิบายด้วยว่าเหตุใดเอาต์พุตที่ได้จึงเป็นเช่นนั้น สอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่อย่างไร

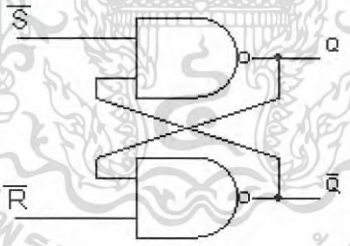
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7

อินพุต		เอาต์พุต		คำอธิบาย
R	S	Q	$\overline{Q}$	
0	0			
1	0			
0	0			
0	1			
0	0			
1	0			
1	1			

3. การทดลองสร้างอาร์ เอส ฟลิปฟลอปจากแนนด์เกต (NAND gate)

ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 5 จากนั้นทำการทดลองและบันทึกค่าในลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่ โดยให้บันทึกผลลงในตารางที่ 8



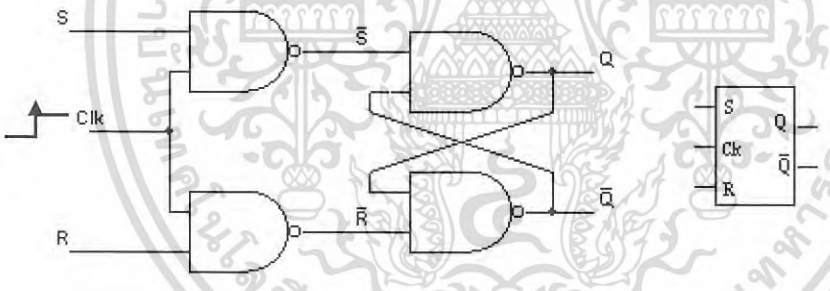
รูปที่ 5 วงจรอาร์ เอส ฟลิปฟลอป จากแนนด์เกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8

อินพุต		เอาต์พุต		คำอธิบาย
$\overline{R}$	$\overline{S}$	Q	$\overline{Q}$	
0	0			
0	1			
1	1			
1	0			
0	0			
1	0			
1	1			

4. การทดลองสร้างอาร์ เอส ฟลิปฟลอปแบบใช้สัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 6 วงจรอาร์ เอส ฟลิปฟลอป ใช้สัญญาณนาฬิกา

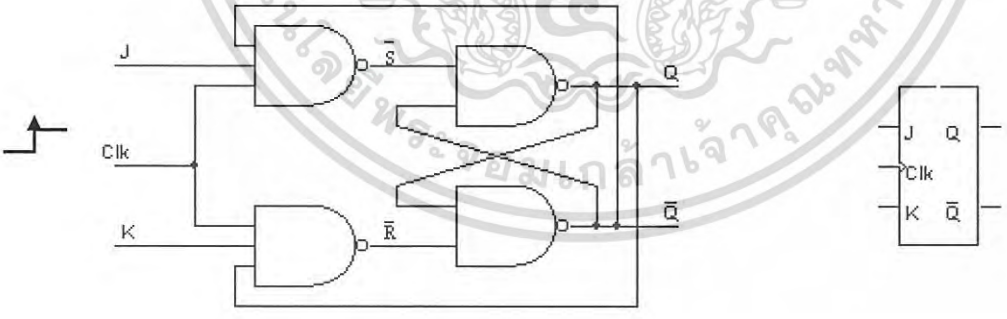
ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 6 จากนั้นทดลองป้อนอินพุต R S, และการกดปุ่มเพื่อป้อนสัญญาณพัลส์ตามตารางที่ 9 แล้วบันทึกผลของเอาต์พุต Q กับ $\overline{Q}$ ที่ได้ลงในตาราง จากนั้นทดลองเปลี่ยนค่าอินพุต R และ S โดยในแต่ละขั้นที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุตให้เขียนอธิบายด้วยว่าเหตุใดเอาต์พุตที่ได้จึงเป็นเช่นนั้น สอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9

อินพุต			เอาต์พุต		คำอธิบาย
R	S	↑	Q	$\overline{Q}$	
0	0	ไม่กด			
0	0	กด			
1	0	ไม่กด			
1	0	กด			
0	0	ไม่กด			
0	0	กด			
0	1	ไม่กด			
0	1	กด			
0	0	ไม่กด			
1	0	ไม่กด			
0	1	ไม่กด			
1	1	ไม่กด			

4.5 การทดลองสร้างเจ เค ฟลิปฟลอปแบบใช้สัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 7 วงจรเจ เค ฟลิปฟลอป ใช้สัญญาณนาฬิกา

ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 7 จากนั้นทดลองและบันทึกค่าในลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่ 4.3

โดยให้บันทึกผลลงในตารางที่ 10

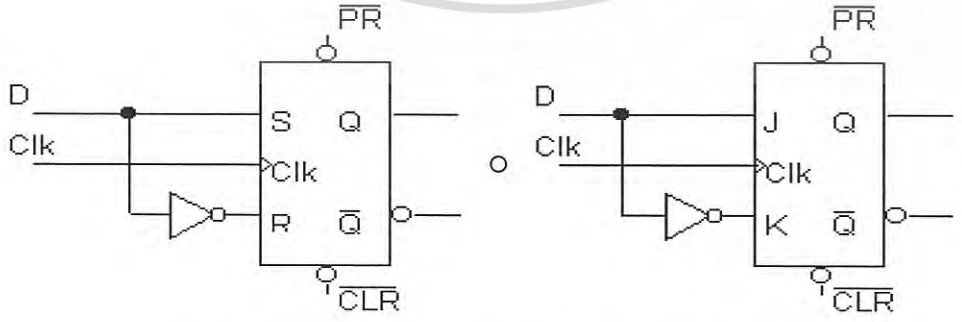
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10

อินพุต			เอาต์พุต		คำอธิบาย
J	K	⊓	Q	$\overline{Q}$	
0	0	ไม่กด			
0	0	กด			
1	0	ไม่กด			
1	0	กด			
0	0	ไม่กด			
0	0	กด			
0	1	ไม่กด			
0	1	กด			
0	0	ไม่กด			
1	0	ไม่กด			
1	1	ไม่กด			
1	1	กด			

4.6 การทดลองสร้างดี ฟลิปฟลอปจาก เจ เค ฟลิปฟลอป

ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 8 จากนั้นทำการทดลองป้อนอินพุต D และการกดปุ่มเพื่อป้อนสัญญาณพัลส์ตามตารางที่ 11 แล้วบันทึกผลของเอาต์พุต Q กับ $\overline{Q}$ ที่ได้ลงในตาราง จากนั้นทดลองเปลี่ยนค่าอินพุต D โดยในแต่ละขั้นที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุตให้เขียนอธิบายด้วยว่าเหตุใดเอาต์พุตที่ได้จึงเป็นเช่นนั้น สอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่อย่างไ



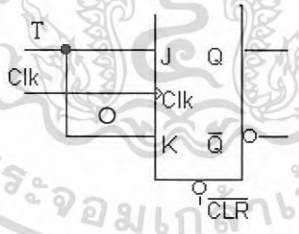
รูปที่ 8 ดี ฟลิปฟลอป ที่สร้างจาก เจ เค ฟลิปฟลอป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11

อินพุต		เอาต์พุต		คำอธิบาย
D	↓	Q	$\overline{Q}$	
0	ไม่กด			
0	กด			
0	กด			
1	ไม่กด			
1	กด			
1	กด			
1	กด			
0	ไม่กด			
0	กด			
0	กด			
0	กด			

4.7 การทดลองสร้างที ฟลิปฟลอปจาก JK Flip-flop



รูปที่ 9 ที ฟลิปฟลอป ที่สร้างจาก เจ เค ฟลิปฟลอป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12

อินพุต		เอาต์พุต		คำอธิบาย
T		Q	$\overline{Q}$	
0	ไม่กด			
0	กด			
1	ไม่กด			
1	กด			
1	กด			
1	กด			
1	กด			
1	กด			
1	กด			
0	ไม่กด			
0	กด			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 11 วงจรนับ

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

11.1 สามารถแยกความแตกต่างของวงจรระหว่างนับแบบเข้าจังหวะกับแบบไม่เข้าจังหวะได้

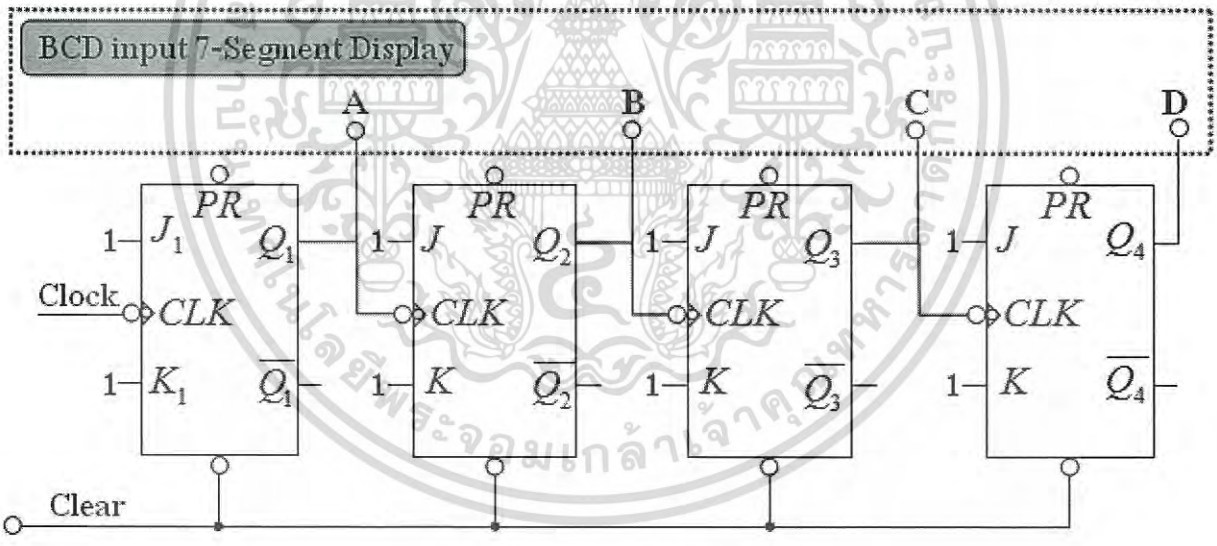
11.2 สามารถออกแบบวงจรนับแบบกำหนดค่าที่ต้องการนับได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บอร์ดทดลอง แลปดิจิตอลDT1-Plus จำนวน 1 เครื่อง
2. ไอซีสำหรับการทดลอง จำนวน 1 ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองวงจรนับแบบไม่เข้าจังหวะ



รูปที่ 1 วงจรนับแบบไม่เข้าจังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 1 โดยใช้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์เป็นสัญญาณนาฬิกา และต่อสัญญาณเคลียร์เข้ากับ ลอจิกสวิตช์สังเกตผลที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณเคลียร์ที่ป้อนโดย ลอจิกสวิตช์ มีการป้อนค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นอธิบายสรุปผลที่เกิดขึ้น

สรุปผล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. การทดลองวงจรนับแบบ MOD-10

ให้ใช้วงจรตามรูปที่ 1 แต่สัญญาณ เคลียร์ให้เปลี่ยนจากสัญญาณที่ป้อนโดย ลอจิกสวิตช์มาป้อนโดยใช้การต่อวงจรตามรูปที่ 2 แทน จากนั้นสังเกตผลที่เกิดขึ้น รวมทั้งวิเคราะห์ด้วยว่าวงจรนับนี้มีหลักการทำงานอย่างไร แล้วทำการอธิบายสรุปผล

รูปที่ 2 การต่อวงจรลอจิกเกตเป็นสัญญาณ Clear สำหรับวงจรนับ MOD-12

สรุปผล

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.....

.....

.....

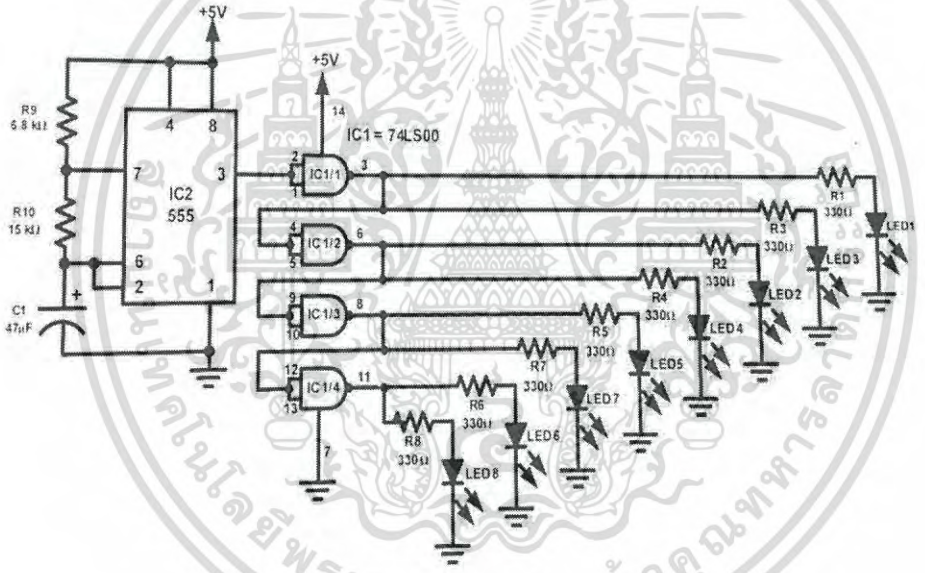
การทดลองที่ 12 แอพพลิเคชั่น

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

12.1 เพื่อเรียนรู้วงจรไฟกระพริบแบบติดสลับโดยใช้แนนเกต

12.2 เพื่อเรียนรู้การใช้พัลส์เจนเนอร์เรเตอร์ในการควบคุมความถี่ในการกระพริบไฟ

- ไฟกระพริบ ตามสัญญาณ พัลส์เจนเนอร์เรเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

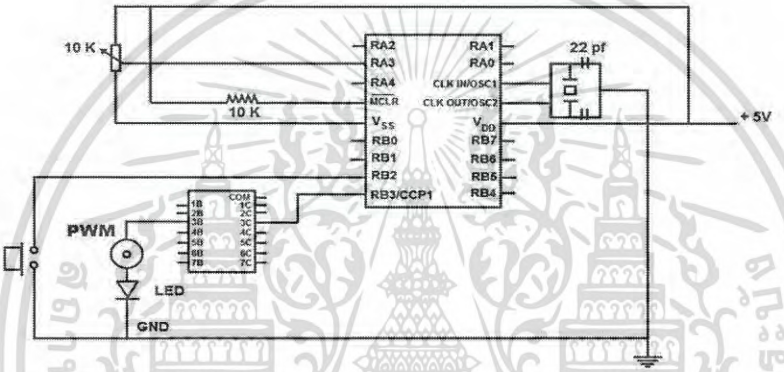
การทดลองที่ 13 แอพพลิเคชั่น

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

13.1 เพื่อเรียนรู้วงจรควบคุมความเร็วของดีซี มอเตอร์

13.2 เพื่อเรียนรู้การใช้งานสัญญาณในการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์

- มอเตอร์ DC ขับโดย PWM



การทดลองที่ 14,15 โครงงาน

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อให้นักศึกษาได้ฝึกทักษะและกระบวนการในการคิดและฝึกออกแบบวงจรด้วยตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้