

การออกแบบบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 หลัก ด้วยไดโอดเปล่งแสง 2 สี
DESIGN 7-SEGMENTS LIGHT-EMITTING DIODE TWO
COLOURS DISPLAYED



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การออกแบบบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 หลัก ด้วยไดโอดเปล่งแสง 2 สี
DESIGN 7-SEGMENTS LIGHT-EMITTING DIODE TWO
COLOURS DISPLAYED



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN 7-SEGMENTS LIGHT-EMITTING DIODE TWO
COLOURS DISPLAYED



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 หลัก ด้วยไดโอดเปล่งแสง 2 สี
Design 7-Segments Light-Emitting Diode Two Colours Displayed

ชื่อนักศึกษา นางสาวกาญจนา ขอนแก้ว รหัสนักศึกษา 57050934
นางสาวณภัทร กาญจนสิน รหัสนักศึกษา 57050956

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ กรรมการ	
อ.ภารุจ บัณฑิตาวิทย์ กรรมการ	
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 หลัก ด้วยไดโอดเปล่งแสง 2 สี
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกาญจนา ขอนแก้ว รหัสนักศึกษา 57050934 นางสาวณภัทร กาญจนสิน รหัสนักศึกษา 57050956
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและออกแบบบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7-Segments ด้วยไดโอดเปล่งแสง 2 สี คือสีแดงและสีเขียว ซึ่งตัวไดโอดจะเป็น LED SMD (Surface Mounted Device) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ ST เบอร์ STM32 ในการควบคุมการทำงานของบอร์ดแสดงผลในการโปรแกรมเข้าไปในตัวบอร์ดให้ทำงานตามคำสั่ง โดยใช้โปรแกรม STM32CubeMX ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารผ่านทาง RJ45 (LAN) ภายในตัวบอร์ดแสดงผลประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ ที่มีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น วงจรแหล่งจ่ายไฟ 220 VAC to 12 VDC และวงจรจ่ายไฟ 12 VDC to 5 VDC วงจรขับ LED โดยใช้ไอซีเบอร์ LM8712 กับ LM7805 ในการขับแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้กับ LED เกิดการเปล่งแสง และวงจรแสดงผล LED ซึ่งป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments เป็นผลิตภัณฑ์ภายในบริษัทที่มีอยู่แล้ว ใช้ในการบอกสถานะแต่ละแผนกของการจัดเก็บสินค้าภายในโรงงานหรืออุตสาหกรรมของบริษัท เนื่องจากปัญหาที่ตามมาของตัวบอร์ด จึงเกิดการพัฒนาและปรับปรุงของระบบการทำงานของบอร์ดใหม่ขึ้นมา เพื่อให้เกิดข้อเสียหรือแก้ไขที่น้อยที่สุด และสามารถใช้งานได้เหมาะสมและเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานที่มีประโยชน์ ได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Design 7-Segments Light-Emitting Diode Two Colours	
Students	Miss Kanjana Khonkaew	Student ID 57050934
	Miss Napat Kanjanasin	Student ID 57050956
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Assoc.Prof.Sarai Lekchaum	

Abstract

This special project is to study and design 7-Segments numeric display boards. Two light emitting diodes are red and green. The diodes are LED SMD (Surface Mounted Device) using the ST ST32 microcontroller to control the display board in the board to run the command. Using the STM32CubeMX program which communicates via RJ45 (LAN). The display board consists of various circuits there are different functions such as 220 VAC to 12 VDC power supply circuits and 12 VDC to 5 VDC power supply, LED driver circuit using IC LM8712 with LM7805 to drive and power to the LED to emit light, And LED display circuits. The billboard displays 7-segments is an internal company product Used to indicate the status of each department of storage within a factory or industry. Because of the problems of the board. Therefore development and improvement of the new board system to minimize the disadvantage or correction. And can be used properly and suitable for application to useful applications. Go to the future.

Keywords :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจาก รองศาสตราจารย์สาทร่าย เล็กชะอุ่ม ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ดีตลอดมา และยังเป็นผู้เสนอแนะข้อสงสัยรวมถึงตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่จัดทำโครงการพิเศษ จึงทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ ความเข้าใจ และแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษนี้

การที่ข้าพเจ้าได้มาทำโครงการพิเศษ ณ บริษัท ควาร์ค ซิสเต็ม จำกัด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึง เดือนพฤษภาคม 2561 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีคุณค่ามากมายในการทำโครงการพิเศษนี้ขึ้นมา สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่าย ดังนี้ 1. นายจักรพันธ์ ทองเจริญ ตำแหน่ง MD 2. นายปกรณ์ เอื้อวิฑโร ตำแหน่ง DMG 3. นายภานุวัฒน์ ศิริ ตำแหน่ง Project Manager และ 4. นายศทาวุฒิ แก้วคำ ซึ่งเป็นพี่เลี้ยงและให้คำปรึกษา รวมถึงบุคลากรท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการทำงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ นายกิตติพงศ์ นิธิพรเดชะ และนายวรปรัชญ์ ถิ่นวัฒนากุล ที่ปรึกษาส่วนบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อน นักศึกษาปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ตลอดมา ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้และความสามารถมาประยุกต์ใช้กับโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงและขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้คำแนะนำและเป็นแรงผลักดันที่สำคัญให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กาญจนา ขอนแก้ว

ณภัทร กาญจนสิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ชุดรับ – ส่งข้อมูล	4
2.1.1 MQTT Protocol	4
2.2 ชุดควบคุม	7
2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 Nucleo	7
2.2.2 โปรแกรม STM32CubeMX	8
2.2.2.1 วิธีการใช้งาน STM32CubeMX	10
2.3 ชุดขับวงจรแสดงผล	17
2.3.1 การใช้ไอซี ULN2003	17
2.4 ชุดแสดงผล	18
2.4.1 LED (Light Emitting Diode)	22
2.4.1.1 หลักการทำงาน LED (Light Emitting Diode)	24
2.4.1.2 วงจรการทำงานของ LED (Light Emitting Diode)	25
2.4.1.3 อุปกรณ์แสดงผล LED (Light Emitting Diode)	26
2.4.1.4 ลักษณะของตัว LED (Light Emitting Diode)	27
2.4.1.5 การประยุกต์ใช้ LED (Light Emitting Diode)	28
2.4.2 การทำงานของ LED SMD (Surface Mounted Device)	28
2.5 ชุดแหล่งจ่ายไฟ	31
2.5.1 ประเภทของแหล่งจ่ายไฟ	31
2.5.2 การประยุกต์ใช้แหล่งจ่ายไฟ	39
2.5.3 หลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ	42
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	44
3.1 การศึกษาการออกแบบป้ายแสดงผล 7-Segments แบบเดิม	44
3.1.1 การศึกษาส่วนชุดควบคุมวงจรแสดงผล	44
3.1.2 การศึกษาส่วนชุดวงจรแสดงผล	45
3.2 การศึกษาการออกแบบวงจรและการเขียน Schematic	46
3.2.1 การศึกษาการออกแบบวงจรแสดงผล 7-Segments	46
3.2.2 การศึกษาการออกแบบวงจรขับ LED	47
3.2.3 การศึกษาการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟ	48
3.2.4 การศึกษาการออกแบบวงจรควบคุม	49
3.2.5 การศึกษาการออกแบบวงจร Ethernet PHY with RJ45 connector	50
3.3 การศึกษาการเขียน Schematic ของวงจรทั้งระบบ โดยใช้โปรแกรม Altium Designer	51
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	52
4.1 วงจรแสดงผล 7-Segments	52
4.1.1 การทำงานของวงจรของวงจรแสดงผล LED 7-Segments	52
4.2 วงจรขับ LED (Light Emitting Diode)	53
4.2.1 การทำงานของวงจรขับ LED	53
4.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจาก 220 โวลต์ เป็นไฟกระแสตรง 12 โวลต์	54
4.4 ทดสอบการใช้งานบอร์ด STM32F767ZI Nucleo-144	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	63
5.3 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
2.1 รหัสการแสดงผลสำหรับ 7-Segments เป็นตัวเลข 0-9 และ A-F	21
2.2 ระดับ Absolute สูงสุดที่ $T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	30
2.3 ลักษณะทางไฟฟ้าที่ตา $T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การใช้งาน NodeMCU ในการรับส่งข้อมูลระหว่าง Cloud Service ด้วย MQTT Protocol	5
2.2 แสดงการรับ - ส่งข้อมูลผ่านตัวกลาง Broker	6
2.3 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F767ZI	8
2.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม STM32CubeMX	9
2.5 แสดงการ Initialize Peripheral สำหรับ STM32CubeMX ได้ทุกรุ่นตั้งแต่ F0 จนถึง L0	9
2.6 แสดงการใช้งาน STM32CubeMX STM32CubeF4 ร่วมกับ SW4STM32 Library	10
2.7 แสดงหน้าต่าง New Project โปรแกรม STM32CubeMX	11
2.8 แสดงหน้าต่าง Project Settings โปรแกรม STM32CubeMX	11
2.9 แสดงหน้าต่าง Pinout โปรแกรม STM32CubeMX	12
2.10 แสดงหน้าต่าง Clock Configuration โปรแกรม STM32CubeMX	12
2.11 แสดงหน้าต่าง Pin Configuration โปรแกรม STM32CubeMX	13
2.12 แสดงหน้าต่าง Code Generation โปรแกรม STM32CubeMX	13
2.13 แสดงหน้าต่าง Workspace Launcher โปรแกรม STM32CubeMX	14
2.14 แสดงหน้าต่าง Import โปรแกรม STM32CubeMX	14
2.15 แสดงหน้าต่าง Import Projects โปรแกรม STM32CubeMX	15
2.16 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าบอร์ดสำหรับ Debug โปรแกรม STM32CubeMX	15
2.17 แสดงหน้าต่าง Debug โปรแกรม STM32CubeMX	16
2.18 แสดงลอจิกไดอะแกรมภายในของ IC ULN2003	17
2.19 แสดงการทำงาน IC ULN2003 ในการขับ 7-Segments	18
2.20 แสดงรูปร่างของ 7-Segments และการแสดงผลแบบต่างๆ	19
2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของ LED	20
2.22 จอแสดงผลตัวเลข 7-Segments และวงจรแบบ Common Cathode และ Common Anode	20
2.23 แสดงโครงสร้างการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segments	21
2.24 แสดงรูปแบบการกระจายลำแสงของหลอดไฟประเภทต่างๆ	23
2.25 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของ LED (Light Emitting Diode)	24
2.26 แสดงการต่อวงจรการทำงานของ LED (Light Emitting Diode)	25
2.27 แสดงอุปกรณ์แสดงผล LED (Light Emitting Diode)	26
2.28 แสดงลักษณะของตัว LED (Light Emitting Diode)	27
2.29 แสดงมุมมองด้านข้าง 85 องศา ของหลอด LED	28
2.30 แสดงแผงของหลอดไฟ LED ที่เรียงตัวกันจำนวนมาก	28
2.31 แสดง LED SMD เบอร์ TO-3227BC-MRMGEE ชนิด 2 สี	29
2.32 แสดงขนาดแพ็คเกจของ LED SMD (Surface Mounted Device)	29
2.33 แสดงแบตเตอรี่อัลคาไลน์	32

เอกสาร 2.34 แสดงแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นทำเองที่บ้านที่ใช้สำหรับอุปกรณ์วิทยุสมัครเล่นนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.35 แสดงแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นควบคุม DC	34
2.36 แสดง Block diagram ของ SMPS	35
2.37 แสดงแหล่งจ่ายไฟที่สามารถตั้งโปรแกรมได้	37
2.38 แสดงรูปแบบหนึ่งของ Voltage Multiplier	38
2.39 แสดงแหล่งจ่ายไฟสำหรับคอมพิวเตอร์ สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	39
3.1.1 วงจรควบคุมป้ายแสดงผล 7-Segments	44
3.1.2 ป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments เป็นส่วนของการออกแบบวงจรขับ	45
3.2.1 แสดงการออกแบบวงจรแสดงผล 1 Segment	46
3.2.2 แสดงการออกแบบวงจรขับ LED 2 สี โดยใช้ไอซี CD4543 และไอซี ULN2003A	47
3.2.3 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟ 220 VAC to 12 VDC และวงจรจ่ายไฟ 12 VDC to 5 VDC	48
3.2.4 (ก) และ (ข) แสดงการออกแบบวงจรควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32	49
3.2.5 แสดงการออกแบบวงจร Ethernet PHY with RJ45 connector ภายในตัวบอร์ด	50
3.3.1 แสดงการเขียน Schematic ของวงจรทั้งระบบ	51
4.1.1 แสดงการทำงานของโครงสร้างแสดงผล LED 7-Segments	52
4.2.1 แสดงการทำงานของวงจรขับ LED	53
4.3.1 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจาก 220 โวลต์ เป็นไฟกระแสตรง 12 โวลต์ และแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์	54
4.4.1 แสดงหน้าเว็บไซต์ http://developer.mbed.org/	55
4.4.2 แสดงวิธีการสมัครสมาชิกเว็บไซต์ http://developer.mbed.org/	55
4.4.3 แสดงข้อมูลที่ต้องกรอกในการสมัครสมาชิก http://developer.mbed.org/	56
4.4.4 แสดงหน้าเว็บ http://developer.mbed.org/ สำหรับการ Compiler	56
4.4.5 แสดงหน้าเว็บไซต์ Compiler	57
4.4.6 แสดงแถบบอร์ดที่เลือกใช้งาน	57
4.4.7 แสดงบอร์ดที่มีให้เลือกใช้งานในเว็บไซต์ http://developer.mbed.org/platforms/	58
4.4.8 แสดงบอร์ดที่เลือก	58
4.4.9 แสดงการสร้างโปรเจกต์ใหม่ที่หน้า Compiler	59
4.4.10 แสดงหน้าต่าง Create new program	59
4.4.11 แสดงหน้าต่างโค้ดโปรแกรม	60
4.4.12 แสดงแถบปุ่ม Compile	60
4.4.13 แสดง Drive ของบอร์ดที่หน้าต่าง My Computer	61
4.4.14 แสดงการ Copy ไฟล์ที่ Compile มาลงไปในตัวบอร์ด	61
4.4.15 การทำงานของบอร์ดที่ได้ทำการโปรแกรม	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้ป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การใช้ป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments เพื่อบอกสถานะแผนกในการจัดเก็บสินค้า มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ ทำให้สะดวกและรวดเร็วต่อผู้ทำงาน และอีกทั้งนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคิดเลขพื้นฐาน ป้ายแสดงสินค้าดิจิตอล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ โดยทั่วไปป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments จะมี 2 แบบคือ แบบสำเร็จรูปและแบบที่สร้างขึ้นเองจาก LED ซึ่งการเลือกใช้ป้ายแสดงผลทั้ง 2 แบบนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้นำไปใช้งาน นอกจากนี้ป้ายแสดงผลแบบที่ 2 นั้นมีข้อดีกว่าแบบแรก คือ ขนาดของป้ายแสดงผลสามารถกำหนดขนาดได้เองตามที่ต้องการ แต่แบบแรกนั้นไม่สามารถกำหนดขนาดของตัวป้ายแสดงผลเองได้ เพราะป้ายแสดงผลมีขนาดที่สำเร็จรูปของบริษัทผู้ผลิตนั้นๆ ซึ่งตัวป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments จำแนกออกเป็น 2 ส่วนคือ ชุดแสดงผลจะเป็นหน้าจอแสดงผลตัวเลข 7-Segments และอีกส่วนหนึ่งคือ ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการโปรแกรมเข้าไปในตัวบอร์ดให้ทำงานตามคำสั่ง

โดยทั่วไปป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments มักจะใช้ควบคุมคู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กหรือชิปไอซีพิเศษชนิดหนึ่งที่เราสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานตามที่ต้องการได้ ซึ่งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 Nucleo จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนโปรแกรม ST link ใช้สำหรับการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB และอีกส่วนจะเป็นตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 ถูกออกแบบมาเพื่อการเขียนโค้ดเป็นภาษา C/C++ ที่เข้าใจง่าย เหมาะสำหรับผู้ใช้งานเริ่มต้นที่ต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิตหรือผู้ใช้งานทั่วไปที่ต้องการพัฒนาบนแพลตฟอร์มที่ใช้งานง่ายและสะดวกรวดเร็ว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างวงจรระบบการทำงานของป้ายแสดงผล 7-Segments ขึ้นมาใหม่ โดยป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments เป็นผลิตภัณฑ์ภายในของบริษัทที่มีอยู่แล้ว เนื่องจากปัญหาที่ตามมาของป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments มักจะเกิดที่ตัวคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ คือ MCS51 โดยจะทำการเปลี่ยนคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่โดยใช้ STM32 แบบเป็นชอกเกตสามารถถอดออกมาเปลี่ยนใหม่ได้จากตัวบอร์ด โดยไม่จำเป็นต้องถอดกลับออกมาทั้งบอร์ด ชุดการรับ-ส่งข้อมูลภายในบอร์ดเดิมใช้ TCP/IP จะทำการเปลี่ยนโปรโตคอลใหม่เป็นแบบ MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) สามารถให้รับส่งข้อมูลที่มีน้ำหนักเบาและเหมาะสมกับอุปกรณ์ต้นทาง หรือปลายทางที่ใช้พลังงานน้อยๆ ส่งได้ไกลๆ และในส่วนของออกแบบจากของเดิมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ดที่ใช้จะเป็น 2 digit เนื่องจากมีการกำหนดขอบเขตการทำงาน จึงได้มีการออกแบบใหม่ขึ้นมาเป็น 1 digit เพื่อง่ายต่อการทำงานของการเชื่อมต่อกันได้ในหลายๆ digit นั้นเอง ในส่วนของ LED ที่ใช้แสดงผลตัวเลข 7-Segments จะใช้เป็นแบบ SMD (Surface-Mounted-Device) ซึ่งตัวอุปกรณ์มี 2 สีคือ สีแดงและสีเขียวในตัวเดียวกัน เพื่อแก้ไขปัญหาป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments แบบเดิมเพื่อให้สะดวกและง่ายต่อการติดตั้งของตัวอุปกรณ์ ทั้งนี้ภาพรวมการทำงานของระบบป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีหรือเกิดข้อผิดพลาดที่น้อย และสามารถนำไปพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในงานต่างๆที่เหมาะสมได้ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการการออกแบบวงจรป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments
2. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม Altium Designer ในการออกแบบวงจร
3. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม Proteus ในการทดสอบการทำงานของวงจร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments แบบเดิมภายในของบริษัท
2. ศึกษาการออกแบบวงจรของป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments โดยใช้ LED SMD (Surface Mount Device) 2 สี ใน 1 digit
3. ศึกษาการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม Proteus

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

โครงการมีระยะเวลาการจัดทำทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มวางแผนการทำโครงการและกำหนดหัวข้อส่งให้ทางบริษัทในเดือนกรกฎาคม 2560 และเริ่มดำเนินการทำโครงการตั้งแต่เดือนกันยายน 2560 - พฤษภาคม 2561 ตามขั้นตอนต่างๆ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีพ.ศ. 2560 - 2561									
	ก.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาและวางแผนการทำโครงการ	↔									
2.กำหนดหัวข้อโครงการ	↔									
3.ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	↔									
4.ดำเนินการทำโครงการ					↔					
5.ทดสอบและวัดผลโครงการ								↔		
6.ปรับปรุงและแก้ไขโครงการ									↔	
7.ทดสอบการใช้งานจริง										↔
8.ทำเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์						↔				

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบวงจรแสดงผลตัวเลข 7-Segments แบบ LED SMD 2 สี
2. สามารถออกแบบป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments ให้มีคุณภาพดีกว่าแบบเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

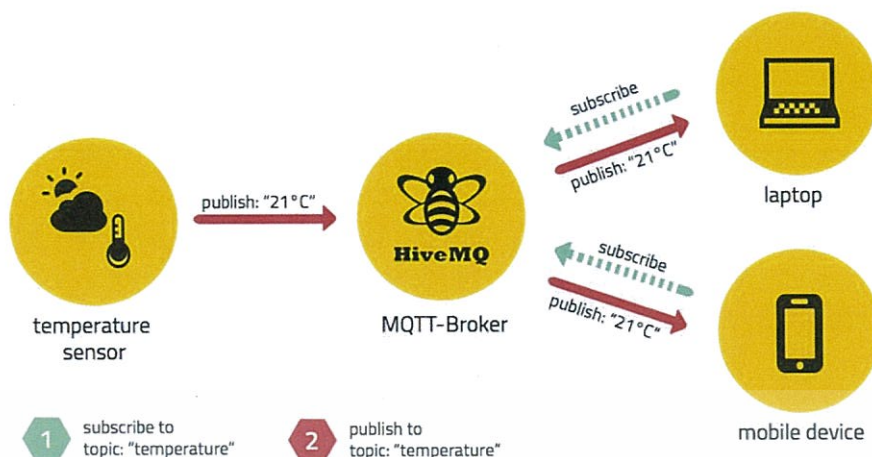
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎีและโครงการพิเศษได้กล่าวถึงการอธิบายเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นของหลักการและคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในแต่ละส่วนของวงจรไฟฟ้า โดยโครงการพิเศษนี้จะเน้นไปทางด้านการออกแบบวงจรไฟฟ้า เนื่องจากป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments มีการใช้ชุดตัวแสดงผลเป็น LED SMD (Surface Mount Device) ซึ่งตัวอุปกรณ์จะเป็นไดโอด 2 สี คือสีแดงกับสีเขียวในการแสดงผล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 ในการควบคุมการทำงานมีการติดต่อสื่อสารผ่านทาง TCP/IP (LAN) และขนาดป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments มีความสูง 10 นิ้ว และความกว้าง 6.5 นิ้ว เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุดและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นเกิดข้อผิดพลาดหรือแก้ไขที่น้อยลง ถ้าเปรียบเทียบกับป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments แบบเดิม

2.1 ชุดรับ – ส่งข้อมูล

2.1.1 MQTT Protocol

โพรโตคอล คือ ข้อกำหนดหรือข้อตกลงในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ หรือภาษาสื่อสารที่ใช้เป็นภาษากลางในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกัน การที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกรวมเข้าด้วยกันในระบบจะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้นั้น จำเป็นจะต้องมีการสื่อสารที่เรียกว่า โพรโตคอล (Protocol) เช่นเดียวกับคนเราที่ต้องมีภาษาพูดเพื่อให้สื่อสารเข้ากันได้ หน้าที่โพรโตคอลช่วยให้ระบบคอมพิวเตอร์สองระบบที่แตกต่างกันสามารถสื่อสารกันอย่างเข้าใจได้ คือจะเป็นข้อตกลงเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ต่างๆ ทั้งวิธีการส่งและรับข้อมูล โดยวิธีการตรวจสอบข้อผิดพลาดของการส่งและการรับข้อมูล การแสดงผลข้อมูลเมื่อส่งและรับข้อมูลกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์สองเครื่อง ดังนั้นโพรโตคอลจึงมีความสำคัญมากในการสื่อสารบนเครือข่าย ถ้าไม่มีโพรโตคอลการสื่อสารบนเครือข่ายจะไม่สามารถเกิดขึ้นหรือทำงานได้



รูปที่ 2.1 การใช้งาน NodeMCU ในการรับส่งข้อมูลระหว่าง Cloud Service ด้วย MQTT Protocol

ในปัจจุบัน MQTT Protocol ได้รับความนิยมอย่างมากในการสื่อสาร ซึ่งเป็นโพรโตคอลที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ Machine to Machine (M2M) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์นั่นเอง สนับสนุนเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) คือการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (Things) กับ Cloud Service หรือเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรทัศน์ ตู้เย็น เข้ากับอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ จากที่อื่นได้ เช่นการสั่งปิดเปิดไฟในบ้านจากที่อื่น ๆ โดย MQTT Protocol (MQ Telemetry Transport) ถือว่าเป็นโพรโตคอลที่รันอยู่ Application Layer ตาม OSI Model โดยรันบน TCP/IP อีกที ซึ่งโพรโตคอล TCP/IP หรือ Transfer Control Protocol / Internet Protocol คือเครือข่ายโพรโตคอลที่สำคัญมากที่สุด เนื่องจากเป็นโพรโตคอลที่ใช้ในระบบเครือข่าย Internet รวมทั้ง Intranet ซึ่งประกอบด้วย 2 โพรโตคอลคือ TCP และ IP

หน้าที่ของ TCP และ IP มีดังนี้

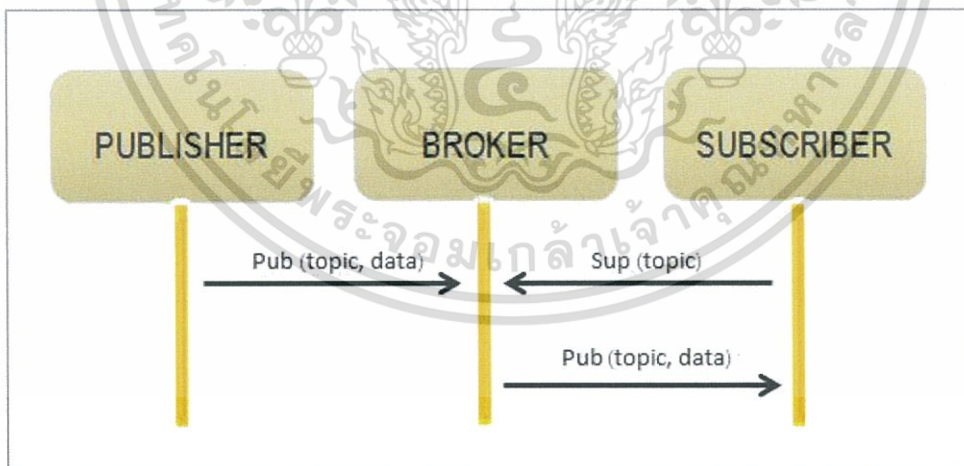
1. TCP ทำหน้าที่ในการแยกข้อมูลเป็นส่วน ๆ หรือที่เรียกว่า Package ส่งออกไป ส่วน TCP ปลายทางจะทำการรวบรวมข้อมูลแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อนำไปประมวลผลขั้นตอนต่อไป โดยระหว่างการรับส่งข้อมูลนั้นมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วย ถ้ามีการเกิดข้อผิดพลาด TCP ปลายทางจะมีการขอให้ส่งข้อมูล TCP จากต้นทางมาใหม่

2. IP ทำหน้าที่ในการจัดส่งข้อมูลจากเครื่องต้นทางไปยังเครื่องปลายทางโดยอาศัย IP Address

สำหรับข้อดีของโพรโตคอล MQTT คือมันถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีน้ำหนักเบามาก เหมาะสมกับอุปกรณ์ต้นทาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปลายทางที่ใช้พลังงานน้อยๆ ส่งได้ไกล ๆ โดยใช้งานแบนด์วิธอย่างมีประสิทธิภาพ และที่สำคัญมัน open source โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ เลย และอีกทั้งข้อดีคือ MQTT เหมาะกับการนำไปใช้กับระบบคลาวด์ที่ให้บริการแบบรวมศูนย์เพราะถูกออกแบบให้เหมาะกับการกระจายข้อมูลแบบ many-to-many ตัวอย่างแอปพลิเคชันที่นำ MQTT ไปใช้อย่างแพร่หลายคงจะหนีไม่พ้น IoT Platform ที่มีอยู่ในท้องตลาดมากมาย แต่ก่อนหน้านี้อIoT Platform จะผุดขึ้นมาเป็นดอกเห็ด MQTT ก็ได้พิสูจน์ตัวเองโดยการถูกนำไปใช้กับ Facebook Messenger ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้เป็นตัวเลือกยอดนิยมในการให้บริการโซลูชันด้าน IoT บนคลาวด์ อีกทั้งยังเป็นมิตรกับ Network Engineer มากด้วยเนื่องจาก device สามารถทำการสร้าง session แลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้โดยไม่ต้องทำการตั้งค่า NAT ให้งุ่นวาย อีกทั้งนักพัฒนาสามารถนำไปใช้กับร่วมกับ TLS/SSL เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการรับส่งข้อมูลได้ด้วย และมีการใช้หลักการแบบ publisher/subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ใน Web Service ที่ต้องใช้ Web Server เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่ MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่ จัดการคิว และการรับ-การส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และทั้งในส่วนที่เป็น Publisher และ Subscriber แสดงภาพดังรูปที่ 2.2

ข้อเสียคือ ถึงแม้ MQTT จะถูกออกแบบมาให้มีขนาดเล็ก แต่ก็ยังมีข้อเสียสำหรับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัดเนื่องจาก client ทุกตัวต้องรองรับ TCP และทำการสร้างการเชื่อมต่อ กับ broker ไว้ตลอดเวลา ซึ่งอาจเกิดปัญหาได้หากอยู่ในเครือข่ายที่ไม่เสถียร เช่น อินเทอร์เน็ตหลุดบ่อย เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงการรับ - ส่งข้อมูลผ่านตัวกลาง Broker

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าเป็นการส่งและการรับข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยผ่านตัวกลาง Broker จะเห็นได้ว่า Topic เป็นตัวอ้างอิงหลักของข้อมูลที่จะ Publisher ออกไปยัง Broker เอกสจะต้องมี Topic กำกับไว้เสมอ ทางฝ่าย Subscriber ก็จะต้องอ้างอิงถึงเพื่อเรียกข้อมูลที่ต้องการ เหมือนกับการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสมัครเป็นสมาชิกของหนังสือพิมพ์ฉบับหนึ่ง ชื่อของหนังสือก็เปรียบเหมือน Topic และผู้ผลิตก็คือ Publisher เมื่อถึงเวลาที่หนังสือเสร็จ โดยผู้ส่ง Broker ก็จะนำหนังสือพิมพ์มาส่งให้เรา ยกตัวอย่าง เช่น แอปพลิเคชันที่ใช้งานคือ Facebook Messenger

องค์ประกอบของ MQTT Protocol ประกอบไปด้วยดังนี้ โดยจะทำหน้าที่แตกต่างกัน

1. Broker ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่าง Client หรือจัดการกับข้อความโดย อ้างอิงจาก Topic โดยมีวิธีการสร้างเส้นทาง (Routing) ด้วยหัวข้อ (Topic) โดยที่ Client ต้องทำการ Subscribe ใน Topic ที่ตัวเองต้องการ จากนั้น Broker ก็จะส่งข้อมูลทั้งหมดที่ถูก Publish ใน Topic นั้นๆให้ โดยที่ Client สื่อสารกันโดยที่ไม่รู้จักกัน ซึ่งถือเป็นข้อดีเมื่อต้องการขยายเครือข่ายก็สามารถดำเนินการได้ง่าย และหน้าที่ที่สำคัญมากอีกอย่างของ broker คือรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย เช่น การทำ Authorization และ Authentication ของ Client ซึ่ง

2. Publisher จะทำหน้าที่คอยส่งข้อมูลไปยังหัวข้อนั้น ๆ

3. Subscriber จำทำหน้าที่คอยดูการเปลี่ยนแปลงของ message ที่อ้างอิงด้วย Topic เช่น ถ้ามีหัวข้อที่น่าสนใจและมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำการดึงข้อมูลนั้น ๆ มาใช้งาน

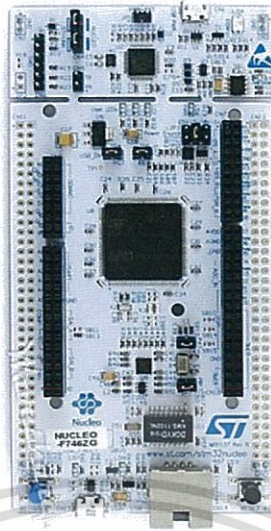
Client เป็นได้ทั้ง Publisher หรือ Subscriber หรือ Publisher/Subscriber ในเวลาเดียวกัน ตัว Client จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่สามารถรัน MQTT Client Library บน TCP/IP ได้ซึ่งตัว Library เองจะมีขนาดเล็กติดตั้งง่ายใช้ได้กับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด เพราะการใช้โมเดล Publisher/Subscriber นั้นหน้าที่คิดคำนวณจะถูกผลักไปยัง Broker และ Topic คือจะเป็นเหมือน address หรือ endpoint บน Broker ที่ client ทำการเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อความระหว่างกัน

2.2 ขุดควบบคุม

2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 Nucleo

บอร์ด STM32 Nucleo เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM ขนาด 32 bit ของบริษัท STMicroelectronics จุดเด่นของบอร์ด Nucleo คือใช้ในการพัฒนาอยู่บนแพลตฟอร์ม mbed สำหรับบอร์ดตระกูล ARM Cortex-M ของบริษัท ARM ผ่านโปรแกรมบนหน้าเว็บไซต์ mbed ผู้ใช้สามารถสร้างชิ้นงานหรือตัวผลงานโดยการเขียน การแก้ไข หรือการบันทึกโค้ดโปรแกรมผ่านเว็บไซต์ แล้วดาวน์โหลดโปรแกรมไปที่บอร์ดได้โดยตรงโดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมสำหรับการพัฒนาบนคอมพิวเตอร์เลย ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการดาวน์โหลดหรืออัปเดตโปรแกรมในการพัฒนา และไม่ต้องจ่ายเงินซื้อลิขสิทธิ์ของโปรแกรมอีกด้วย รวมทั้งรูปแบบการเขียนโค้ดเป็นภาษา C/C++ ซึ่งเป็นภาษาที่เรียนรู้เข้าใจได้ง่าย มีความคล่องตัวที่จะประยุกต์เข้ากับงานต่างๆ ได้เป็นอย่างดีเหมาะสำหรับผู้ใช้งานเริ่มต้นที่ต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิตหรือผู้ใช้งานทั่วไปที่ต้องการพัฒนาบนแพลตฟอร์มที่ใช้งานง่ายและสะดวกรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F767ZI

บอร์ด Nucleo มีหลายรุ่น ให้ผู้ใช้ได้เลือกที่เหมาะสมกับงานนั้นๆ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ บอร์ด Nucleo รุ่น F767ZI ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มบอร์ดประสิทธิภาพสูง ใช้ MCU ตระกูล ARM Cortex-M7 เบอร์ STM32F767ZI ความเร็ว 216 MHz หน่วยความจำแฟลชขนาด 2 Mbytes หน่วยความจำแรมขนาด 512 Kbytes

ส่วนประกอบของตัวบอร์ด Nucleo แยกเป็น 2 ส่วนมีดังนี้

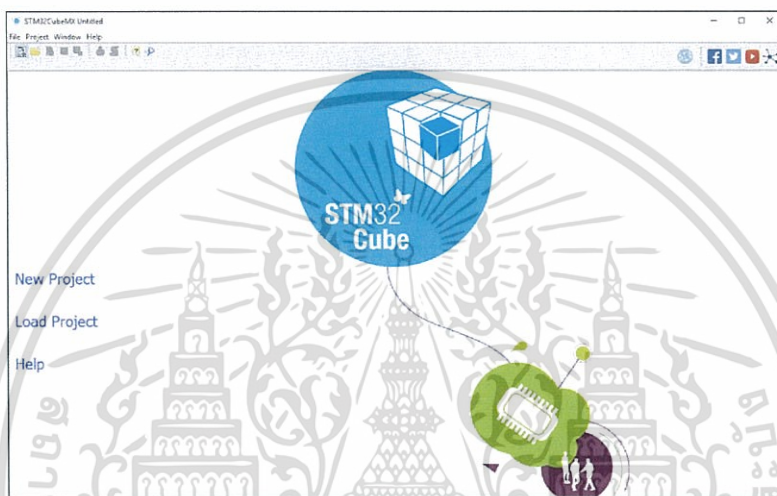
1. ส่วนโปรแกรม ST link V2 ใช้สำหรับโปรแกรม MCU บนบอร์ดเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB หรือใช้เป็นส่วนของโปรแกรมให้กับบอร์ดอื่น ๆ โดยใช้ Pin Header ที่อยู่ด้านข้าง
2. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F767ZI ขาต่างๆ ออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับ Shield ของ Arduino ได้ โดยขาที่เหลือจัดเป็น Pin Header ด้านข้างของบอร์ด

2.2.2 โปรแกรม STM32CubeMX

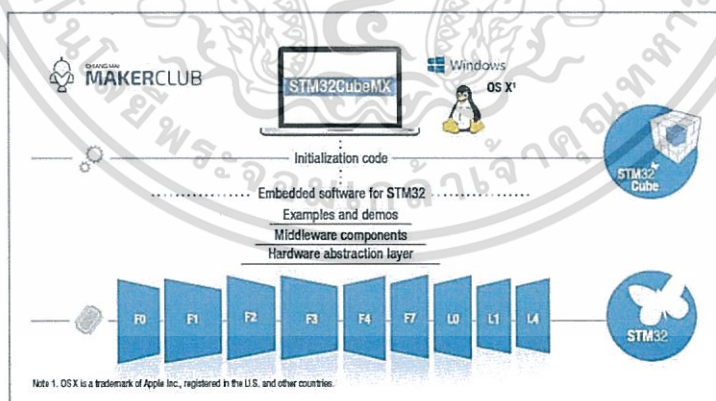
STM32CubeMX คือ โปรแกรมเครื่องมือที่ช่วยในการกำหนดค่าต่างๆ ในการเขียนโปรแกรม โดยภายในมีกราฟฟิกของ ARM Cortex ในรุ่นต่างๆเพื่อให้เราสามารถกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานในรูปแบบต่างๆได้ เช่น UART, SPI, I/O, RTC, ADC , DAC เป็นต้น โดยโปรแกรมจะทำการสร้างไฟล์โปรเจกขึ้นมาให้ ภายในไฟล์นั้นจะมีโค้ดโปรแกรมที่เราทำการกำหนดการทำงานของ STM32 ด้วยโปรแกรม STM32CubeMX มาให้แล้ว โดยที่เราไม่ต้องเสียเวลาทำการเขียนโปรแกรมให้กับ STM32 เอง จากนั้นเราก็สามารถประยุกต์โปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโปรแกรมนั้นจะอยู่ภายใต้ HAL Driver บนพื้นฐานของภาษา C เป็นหลัก และยังสามารถเลือกเขียนโปรแกรมบน Software IAR หรือ KEIL และ STM32CubeMX เป็นตัว generate code สำหรับสร้าง source code เพื่อใช้งานร่วมกับ Library STM32CubeF4 ซึ่งเป็น Library สำหรับช่วยให้เขียนโปรแกรมควบคุม MCU ได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะคล้ายๆ MPLAB Harmony framework ของ Microchip และ STM32CubeMX เป็นโปรแกรมที่สามารถช่วยให้ Initialize Peripheral สำหรับ STM32 ได้ทุกรุ่นตั้งแต่ F0 จนถึง L0 กันเลยทีเดียวทั้งยังมี driver ให้เราใช้งาน Peripheral ได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม STM32CubeMX

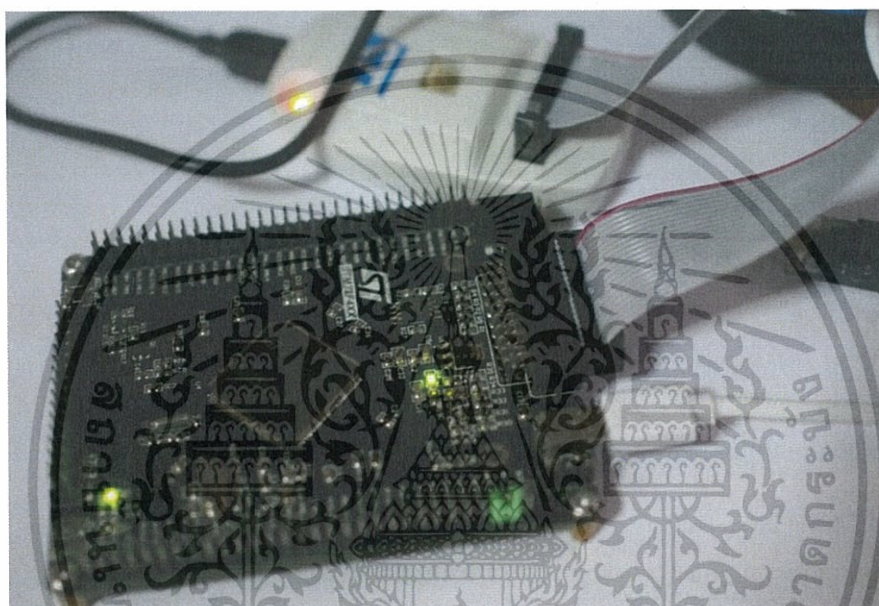


รูปที่ 2.5 แสดงการ Initialize Peripheral สำหรับ STM32CubeMX ได้ทุกรุ่นตั้งแต่ F0 จนถึง L0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 วิธีการใช้งาน STM32CubeMX

การใช้งาน STM32CubeMX STM32CubeF4 ร่วมกับ SW4STM32 Library ซึ่งในบทความนี้จะแสดงตัวอย่างการใช้งาน STM32CubeMX โดยการสร้าง code ขึ้นมา และนำไปใช้ร่วมกับ SW4STM32 หรือ System Workbench for STM32 ซึ่งเป็น Free IDE และ Compiler สำหรับ STM32 โดยตัว IDE จะสร้างมาจาก Eclipse ซึ่งจะคล้ายๆกับ MPLAB X ของ Microchip เวลาใช้งานก็ค่อนข้างสะดวกเพราะมี Auto complete ให้ เวลาเราเรียก structure ต่างๆ ส่วน Compiler ก็เป็น GCC สำหรับ STM32



รูปที่ 2.6 แสดงการใช้งาน STM32CubeMX STM32CubeF4 ร่วมกับ SW4STM32 Library

การใช้งาน STM32CubeMX STM32CubeF4 ร่วมกับ SW4STM32 มีดังนี้

1. ขั้นตอนแรกต้องดาวน์โหลดไฟล์ต่างๆสำหรับติดตั้งบนคอมพิวเตอร์

(ต้องสมัครสมาชิกก่อนถึงจะดาวน์โหลดได้)

[STM32CubeMX](#)

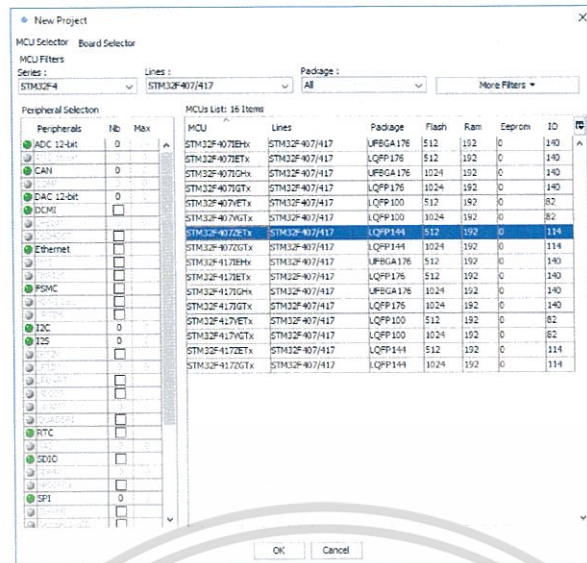
[STM32CubeF4](#)

[SW4STM32](#)

[JAVA Runtime Environment](#)

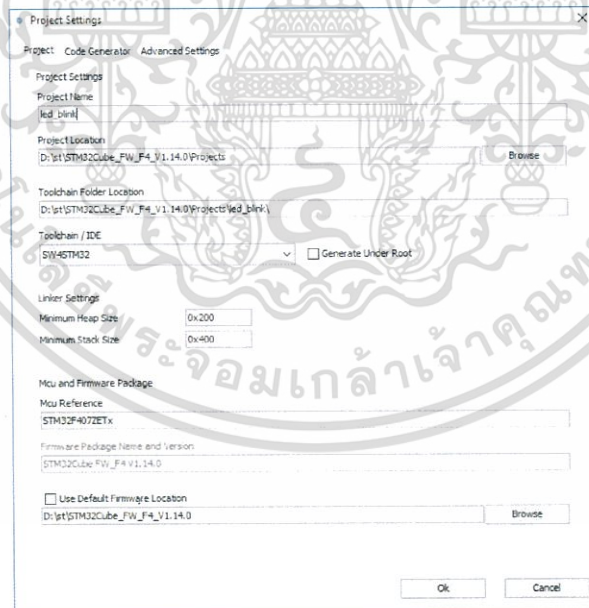
หลังจากที่ดาวน์โหลดไฟล์ต่างๆที่ต้องใช้เสร็จแล้ว ก็ให้ติดตั้งไฟล์ทั้งหมดลงบนคอมพิวเตอร์ แล้วเปิดโปรแกรม STM32CubeMX ขึ้นมา แล้วคลิกที่ File -> New Project เลือกบอร์ด Microcontroller ที่จะใช้ในโปรเจคแล้วคลิก OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



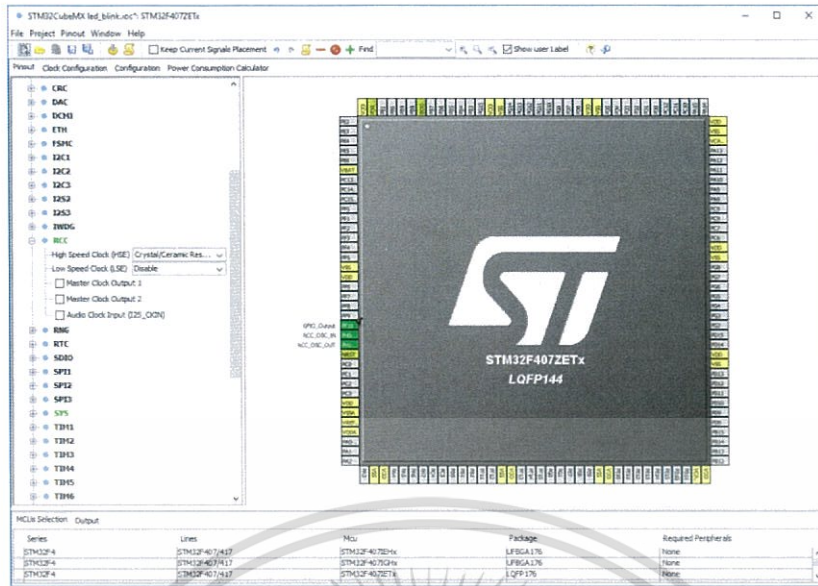
รูปที่ 2.7 แสดงหน้าต่าง New Project โปรแกรม STM32CubeMX

2. หลังจากนั้นให้ตั้งชื่อโปรเจกต์ ตั้งค่าตำแหน่งไฟล์เดอร์ของโปรเจกต์และตำแหน่งไฟล์เดอร์ของ STM32CubeF4 ตัวอย่างดังรูป ให้ uncheck ตรงช่อง Generate Under Root ออกด้วย



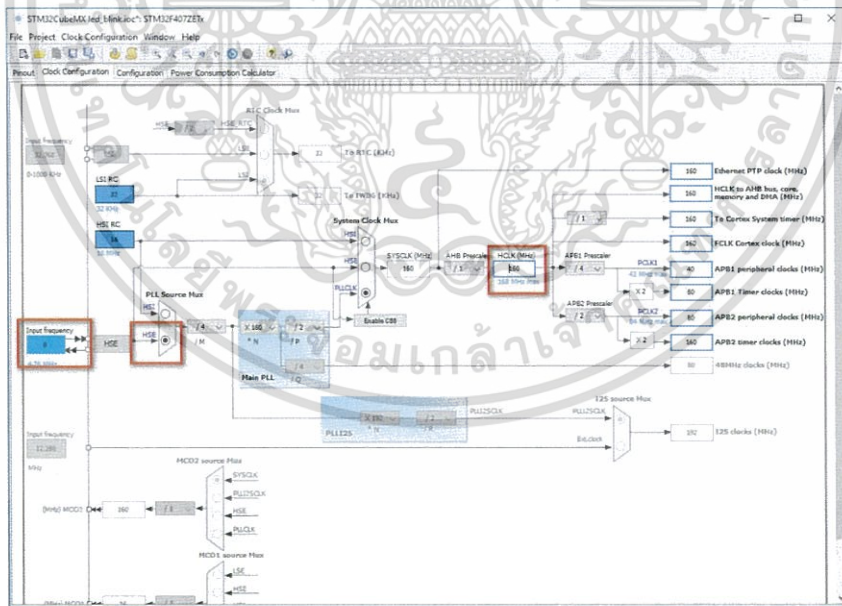
รูปที่ 2.8 แสดงหน้าต่าง Project Settings โปรแกรม STM32CubeMX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงหน้าต่าง Pinout โปรแกรม STM32CubeMX

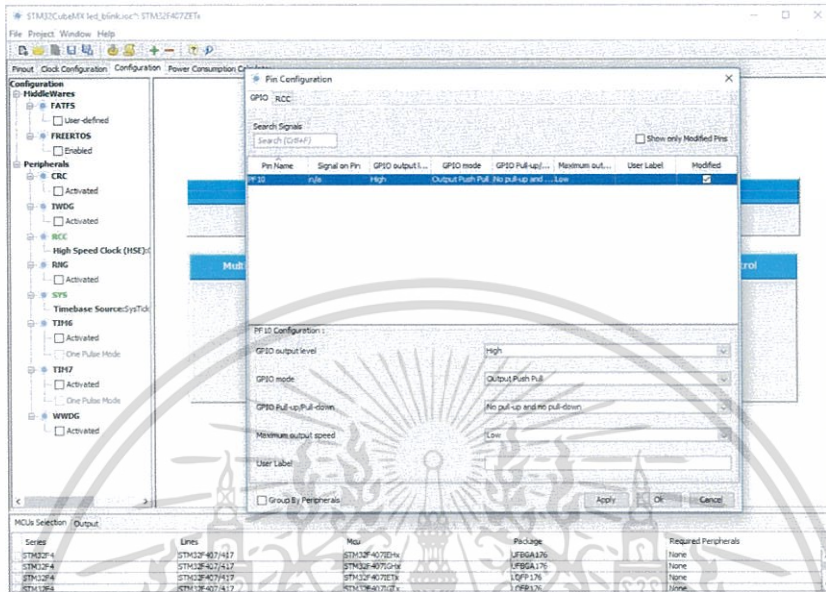
3. ต่อไปก็เป็นการตั้งค่า Clock ให้กับ MCU โดยเลือก Input frequency = 8MHz, PLL Source Mux = HSE, System Clock Mux = PLLCLK และตั้งค่า HCLK = 160MHz แล้วกด Enter



รูปที่ 2.10 แสดงหน้าต่าง Clock Configuration โปรแกรม STM32CubeMX

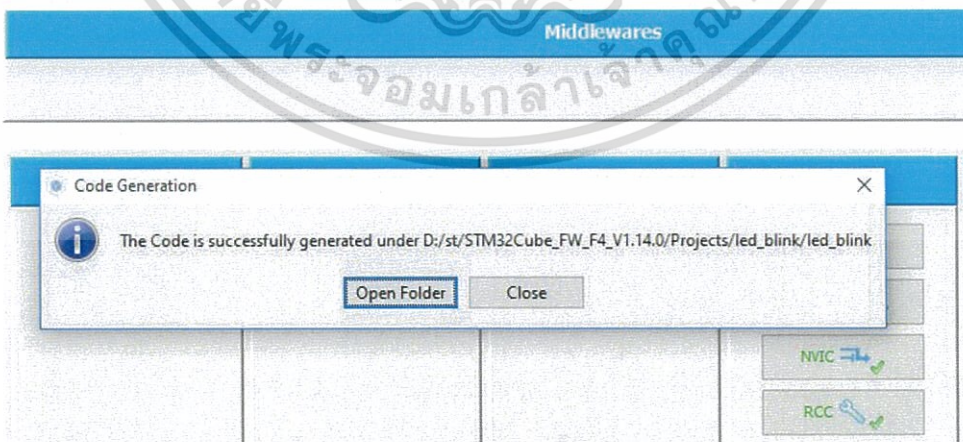
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ต่อไปให้คลิกที่ Tab Configuration เลือก GPIO เพื่อตั้งค่า GPIO output level = high เป็นค่าเริ่มต้น



รูปที่ 2.11 แสดงหน้าต่าง Pin Configuration โปรแกรม STM32CubeMX

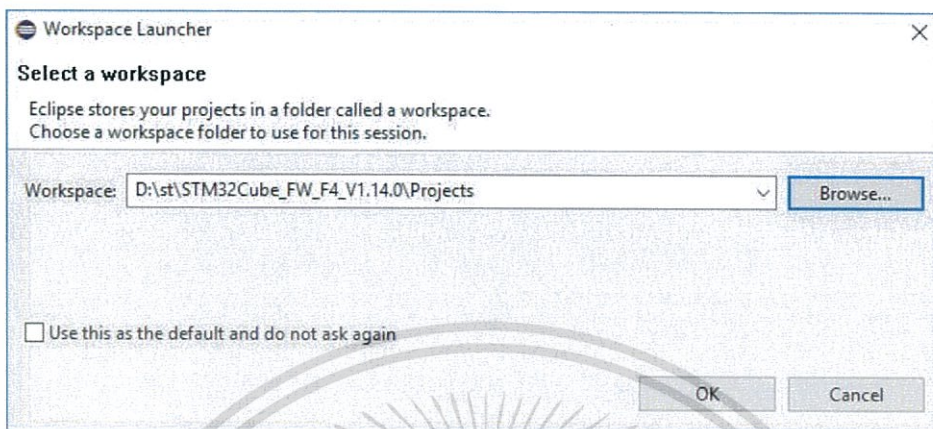
5. หลังจากตั้งค่าต่างๆแล้ว ให้คลิกที่เมนู Project -> Generate Code เพื่อทำการสร้าง Code เพื่อนำไปใช้ร่วมกับ SW4STM32 ต่อไป



รูปที่ 2.12 แสดงหน้าต่าง Code Generation โปรแกรม STM32CubeMX

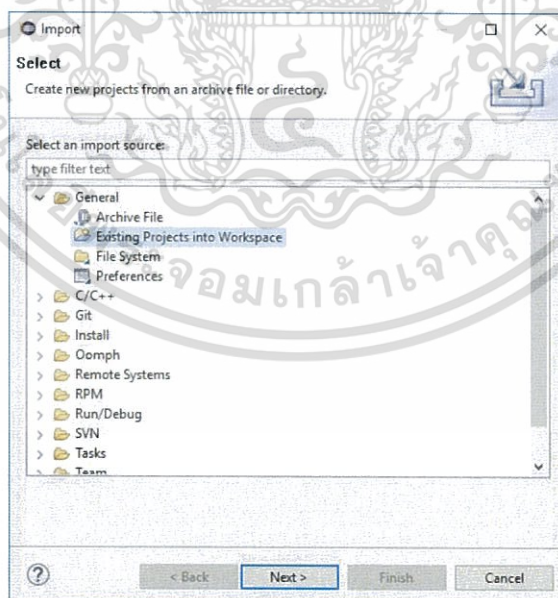
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หลังจาก Generate code แล้ว ให้เปิดโปรแกรม System Workbench for STM32 ขึ้นมา แล้วตั้งค่า Workspace ให้ตรงกับ Directory ที่เรา Generate code ออกมา



รูปที่ 2.13 แสดงหน้าต่าง Workspace Launcher โปรแกรม STM32CubeMX

7. หลังจากตั้งค่า Workspace แล้ว ให้ Import project ที่สร้างจาก STM32CubeMX เข้ามาใน Workspace โดยคลิกที่เมนู File -> Import เลือก General -> Existing Project into Workspace

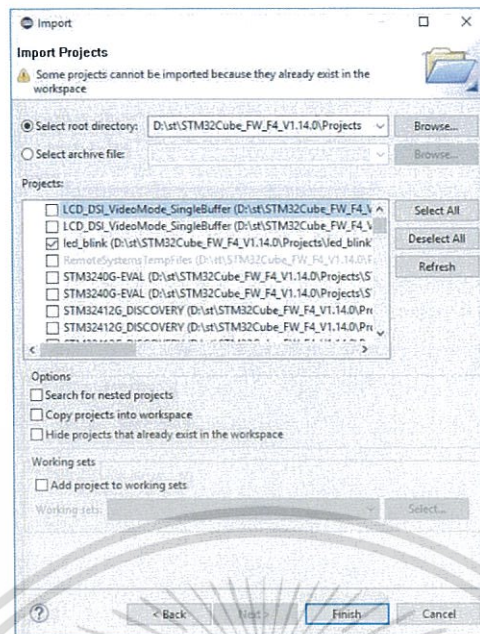


รูปที่ 2.14 แสดงหน้าต่าง Import โปรแกรม STM32CubeMX

8. เลือก Root directory ให้ตรงกับ Directory ที่ใช้ STM32CubeMX สร้าง Code ขึ้นมา

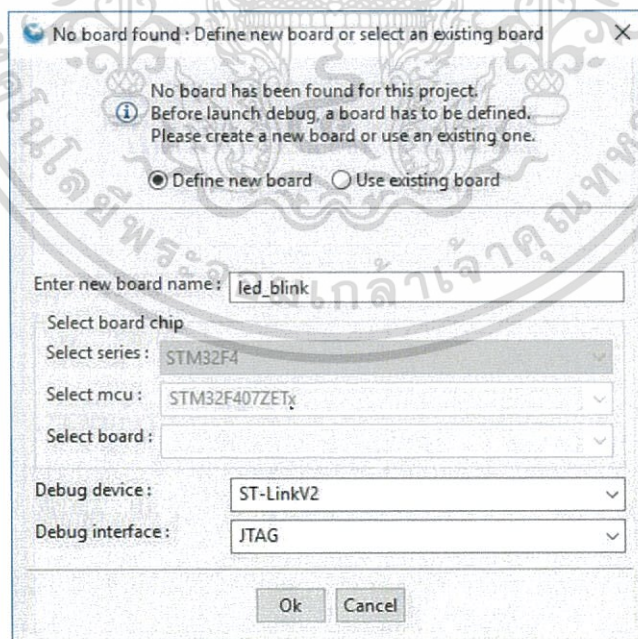
แล้วเลือก Project ชื่อ led_blink ตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงหน้าต่าง Import Projects โปรแกรม STM32CubeMX

9. เมื่อ Import project เข้ามาใน workspace แล้ว ให้ทดสอบ Debug ดูโดยการคลิกที่เมนู Run -> Debug แล้วโปรแกรมจะให้เรากำหนดค่าบอร์ดสำหรับ Debug (หากยังไม่ได้กำหนด) ให้ตั้งค่า MCU และ Debugger ให้ตรงกับที่เราใช้งานแล้วกด OK



รูปที่ 2.16 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าบอร์ดสำหรับ Debug โปรแกรม STM32CubeMX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

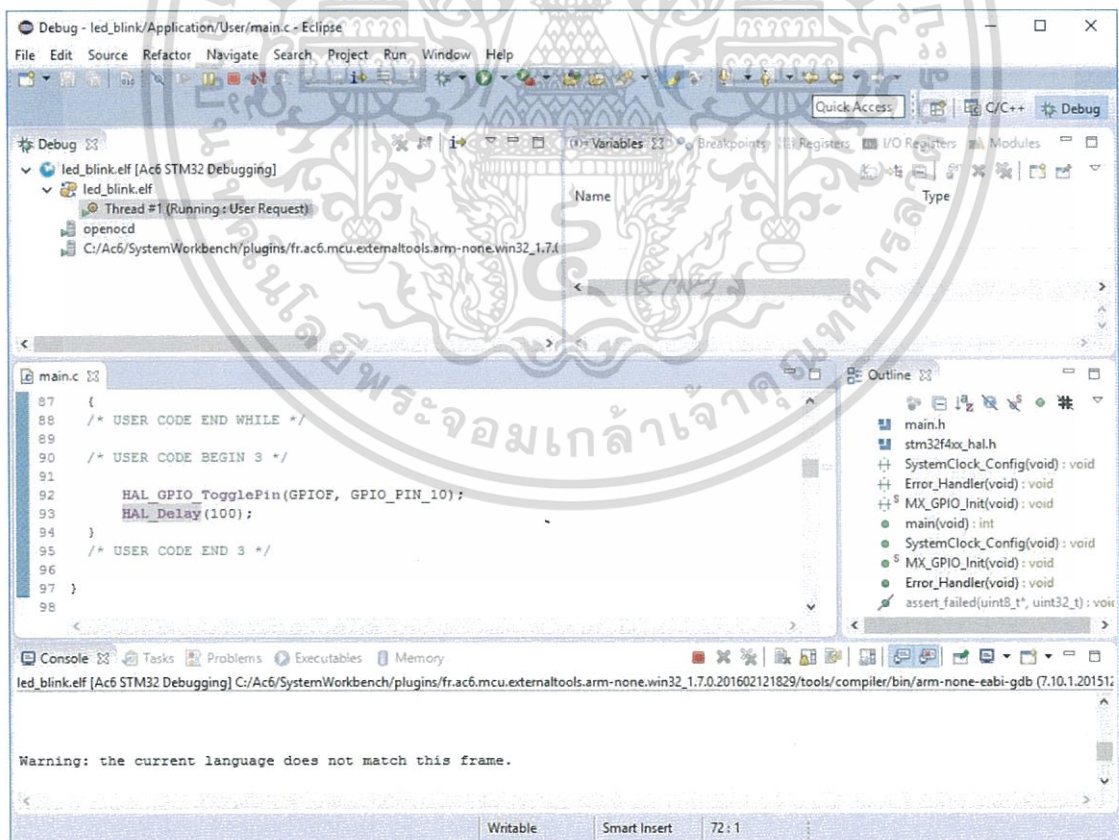
10. หากทำทุกอย่างถูกต้องแล้ว โปรแกรมก็จะ compile source code และเริ่ม Debug ให้กด Resume หรือ F8 เพื่อให้ MCU รันไปตามปกติ ทดสอบให้ LED กระพริบโดยเพิ่ม Code เข้าไปในฟังก์ชัน main ดังนี้ แล้วลอง Debug ดูก็จะเห็น LED บนพอร์ท PF10 กระพริบ

```

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
    HAL_GPIO_TogglePin (GPIOF, GPIO_PIN_10);
    HAL_Delay(100);
}
/* USER CODE END 3 */

```



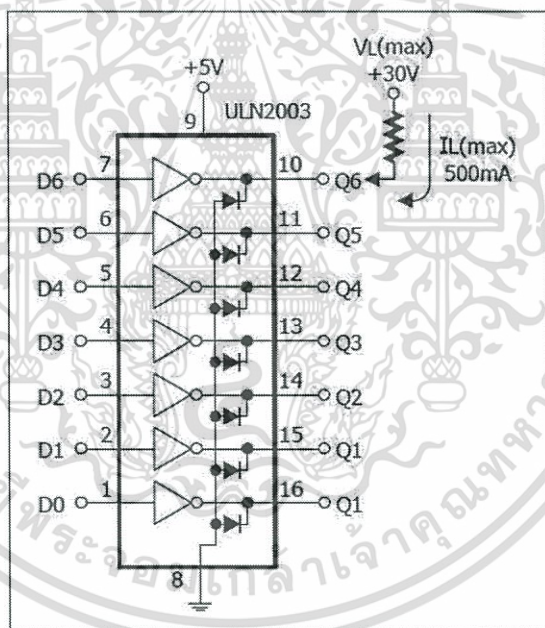
รูปที่ 2.17 แสดงหน้าต่าง Debug โปรแกรม STM32CubeMX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ชุดขับวงจรแสดงผล

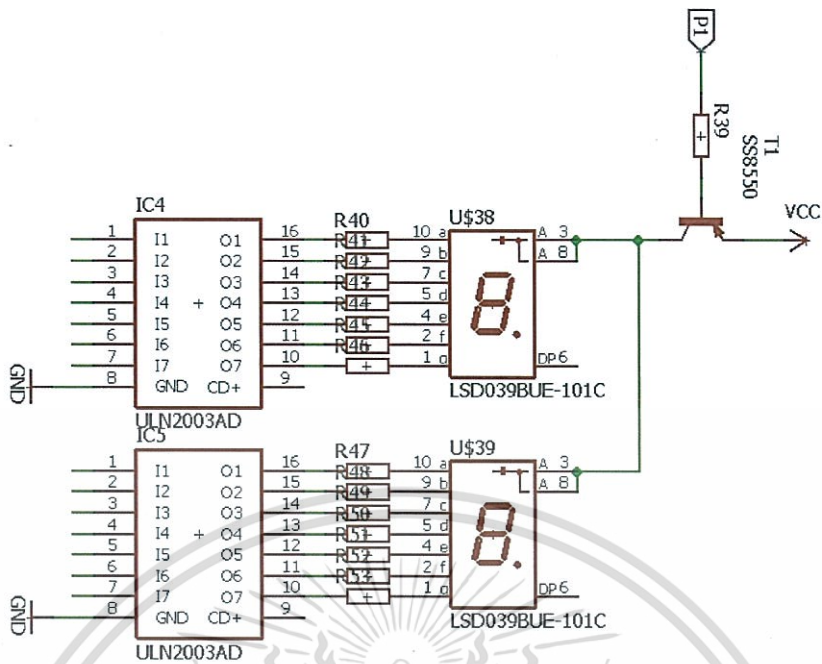
2.3.1 การใช้ไอซี ULN2003

ไอซีที่ใช้ในการขับหลอดกระแสสูง มักจะมีวงจรทางเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์ (collector) เปิดทำให้ใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่สูงได้สำหรับไอซีขับ หรือไอซีไดรเวอร์ที่นำมาใช้ในการทำงานของโปรเจกต์นี้ หรือในการขับวงจรแสดงผล คือเบอร์ ULN2003 เป็นไอซีที่อยู่ในบรรจุอินเวอร์เตอร์เกต 7 ตัว เป็นการใช้งานแทนทรานซิสเตอร์จำนวนมาก จะทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงมาก และมีความซับซ้อนน้อยลง มีรูปแบบการจัดขาและวงจรภายในแสดงในรูปที่ 2.3.1 ใช้กับแรงดันได้สูงสุด +30V กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500 mA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถ ในการจ่ายกระแสไฟฟาของแหล่งจ่ายไฟด้วย นอกจากนี้ยังมีการต่อไดโอดป้องกันแรงดันย้อนกลับจากอุปกรณ์ เอาต์พุต ที่มีโครงสร้างเป็นขดลวดไว้ที่ทุกขาเอาต์พุต ทำให้ใช้ขับโหลดที่เป็นขดลวด เช่นรีเลย์ มอเตอร์ไฟตรง สเตปป์มอเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถขับไดโอดเปล่งแสง (LED) ขนาดเล็กถึงขนาดกลางได้



รูปที่ 2.18 แสดงลอจิกไดอะแกรมภายในของ IC ULN2003

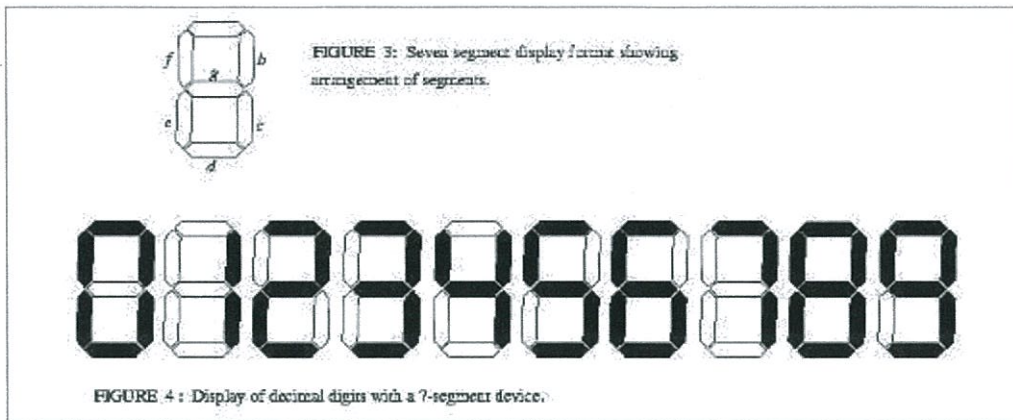
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงการทำงานของ IC ULN2003 ในการขับ 7-Segments

2.4 ชุดแสดงผล

ชุดแสดงผลตัวเลข 7-Segments เป็นจอแสดงผลเจ็ดส่วน (Solid-State Drive : SSD) หรือ หน้าจอแสดงผลตัวเลข - ตัวอักษร ได้บางตัว ที่มีหน้าจอตําจาการจัดวางหลอด LED (Light Emitting Diode) ในแนวยาว เมื่อทําให้หลอด LED แต่ละดวงติดพร้อมกัน ก็จะทำให้แสดงออกมาเป็นตัวเลขทรงเหลี่ยมได้ เป็นรูปแบบของอุปกรณ์ตัวแสดงผล ซึ่งเป็นอุปกรณ์เอาต์พุตสำหรับการนำเสนอข้อมูลในแบบภาพหรือแบบสัมผัส เมื่อข้อมูลป้อนเข้าที่ให้มีสัญญาณไฟฟ้าจอแสดงผล เรียกว่า จอแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ แบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแสดงตัวเลข แสดงทศนิยม ซึ่งเป็นทางเลือกในการแสดงเมทเมทริกซ์ ที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยจอแสดงผล 7-Segments ใช้กันในปัจจุบันอย่างแพร่หลายในงานต่างๆ เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคิดเลขพื้นฐานและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ที่แสดงข้อมูลเป็นตัวเลข



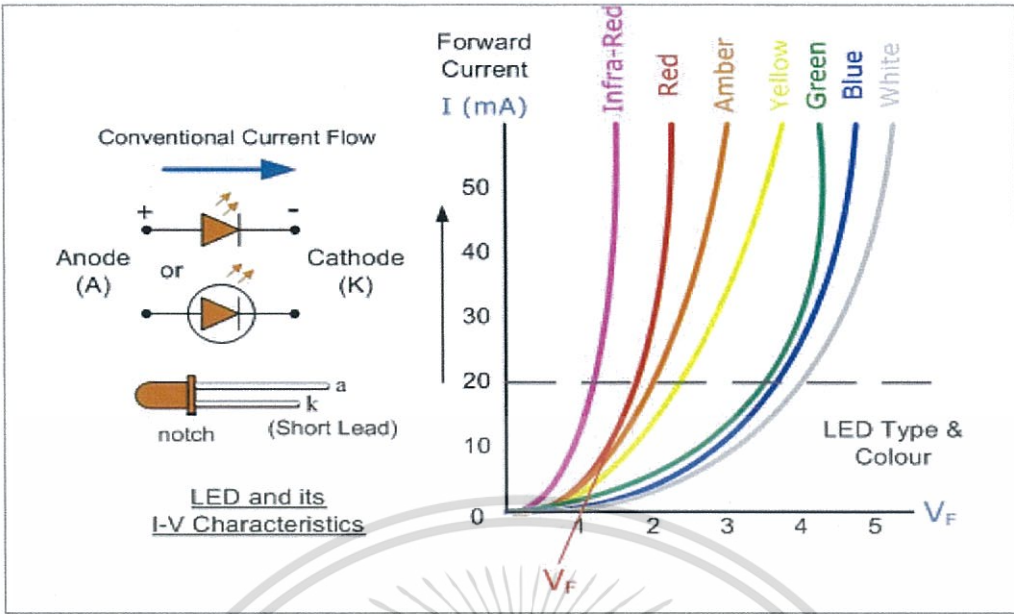
รูปที่ 2.20 แสดงรูปร่างของ 7-Segments และการแสดงผลแบบต่างๆ

จอแสดงผลแบบ 7 Segments นั้นประกอบไปด้วย 7 ส่วนซึ่งจะถูกทำการเปิดหรือปิดเพื่อแสดงรูปแบบของตัวเลขฐานสิบ 7 Segments จะถูกจัดเรียงเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยในแนวตั้งมีอยู่ด้านละ 2 แห่งและแนวนอนมีอยู่ 1 แห่ง 3 ชั้น บน กลาง และล่าง แห่งแต่ละแห่งของ 7 Segments จะถูกอ้างอิงจากตัวอักษรตั้งแต่ A (เอ) ถึง G (จี) โดยที่ DP (ดี พี) จะเป็นแห่งที่ 8 ใช้สำหรับตัวเลขที่ไม่ใช่จำนวนเต็ม

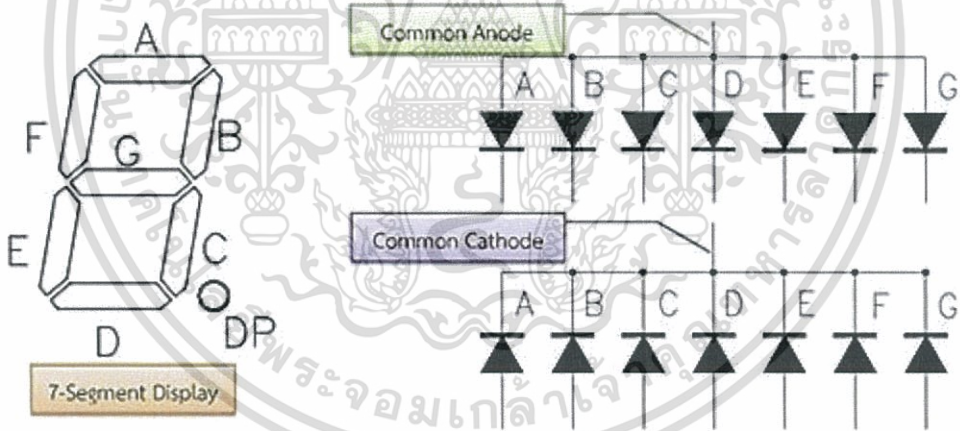
การแบ่งแยก 7-Segments สามารถแบ่งได้ 4 แบบมีดังนี้

1. แบ่งตามขา Common โดยในส่วน Common Anode – ขาคอมมอนจะต้องต่ออยู่กับขั้วบวก แล้วขาอื่นๆ ต่ออยู่กับกราวด์ จึงจะทำให้ส่วนนั้นๆติดสว่าง และในส่วน Common Cathode – ขาคอมมอนจะต้องต่ออยู่กับขั้วลบ แล้วขาอื่นๆ ต่ออยู่กับขั้วบวก จึงจะทำให้ส่วนนั้นๆติดสว่าง
2. แบ่งตามขนาด โดย 7-Segment มีด้วยกันหลายขนาด ขนาดที่เป็นมาตรฐานใช้งานทั่วไปคือขนาด 0.56 นิ้ว มีขนาดเล็กกว่า หรือใหญ่กว่าให้เลือกใช้งานด้วย
3. แบ่งตามจำนวนตัวเลข ใน 7 Segment อาจจะมีตัวเลขแสดงผลหลายๆตัวติดอยู่ด้วยกัน ทำให้การต่อวงจรง่ายมากยิ่งขึ้น
4. แบ่งตามสี คือ สีแดง สีเขียว และสีอื่นๆ หรือมีการผสมสีเพื่อให้สีไม่เหมือนกันในแต่ละจุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



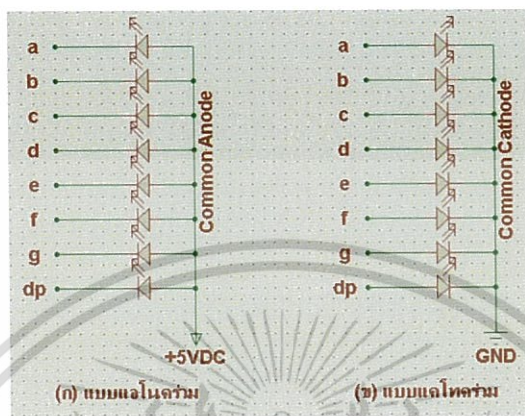
รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของ LED



รูปที่ 2.22 จอแสดงผลตัวเลข 7-Segments และวงจรแบบ Common Cathode และ Common Anode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรของ 7-Segments สามารถแบ่งได้สองชนิดคือ Common Anode และ Common Cathode หลักการทำงานของ 7-Segments คือ การเปิด-ปิดหลอด LED ดังตาราง 1 แสดงการถอดรหัสสำหรับ 7-Segments แบบ Common Cathode โดยต่อขา Common กับ GND แล้วจ่ายแรงดัน (สถานะ Logic 1) ให้กับ LED



รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segments

รูปที่ 2.23 (ก) เป็นการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segments แบบแอนโอดร่วม โดยต้องป้อนไฟบวกที่ขาร่วมที่หรือขาคอมมอน (Common) และถ้าต้องการให้หลอดแสดงผล LED 7-Segments แสดงผลหรือให้สว่าง ต้องป้อนไฟลบหรือส่งลอจิก "0" มาที่ขาแคโทด ส่วนรูปที่ 2.23 (ข) เป็นการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segments แบบแคโทดร่วม โดยต้องป้อนไฟลบหรือกราวด์ที่ขาร่วมหรือขาคอมมอน และถ้าต้องการให้หลอดแสดงผล LED 7-Segments แสดงผลหรือสว่างต้องป้อนไฟบวกหรือส่งลอจิก "1" มาที่ขาแอนโอด

ตารางที่ 2.1 รหัสการแสดงผลสำหรับ 7-Segment เป็นตัวเลข 0-9 และ A-F

ค่าข้อมูล(เลขฐานสอง)							ค่าข้อมูลส่งออกพอร์ต (เลขฐานสิบหก)	แสดงผลตัวเลข
g	f	e	d	c	b	a		
0	1	1	1	1	1	1	0x3F	0
0	0	0	0	1	1	0	0x06	1
1	0	1	1	0	1	1	0x5B	2
1	0	0	1	1	1	1	0x4F	3
1	1	0	0	1	1	0	0x66	4
1	1	0	1	1	0	1	0x6D	5
1	1	1	1	1	0	1	0x7D	6
0	0	0	0	1	1	1	0x07	7
1	1	1	1	1	1	1	0x7F	8
1	1	0	1	1	1	1	0x6F	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่งงาน 7-Segments มีขาหลักๆอยู่ด้วยกันทั้งหมด 9 ขา คือ a b c d e f g dot และ common ในกรณีที่มีตัวเลขจำนวนหลักมากขึ้น ก็จะมีขา Common เพิ่มมากขึ้น เป็น com1 สำหรับควบคุมการแสดงผลหลักที่ 1 , com2 ควบคุมการแสดงผลหลักที่ 2 , com(n) ควบคุมการแสดงผลหลักที่ n

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าในแต่ละแถบยาว จะมีตัวอักษรกำกับอยู่ ซึ่งเป็นชื่อของขาที่ใช้ควบคุมแถบนั้น ตัวอย่างเช่น หากต้องการให้แสดงผลตัวเลข 1 จะต้องให้แถบ b และ c ติดสว่าง จึงจะได้เป็นรูปเลข 1 ที่สมบูรณ์ และหากต้องการให้ติดเลข 3 จะต้องให้แถบ a b c d และ g ติดสว่าง จึงจะทำให้แสดงผลเลข 3 ที่สมบูรณ์

การจะทำให้แถบแต่ละแถบติดสว่างได้ จะต้องทราบก่อนว่า 7-Segments นั้นเป็นคอมม่อนอะไร เมื่อทราบแล้วจะทำให้สามารถควบคุมการติดดับของแต่ละแถบได้ แบบเดียวกับการควบคุม LED โดยที่หากเป็นคอมม่อน Anode จะต้องต่อขาคอมม่อนเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ (5V) และหากต้องการให้แถบใดติดสว่าง จะต้องให้ขาของแถบนั้นต้องลงกราวด์ (เป็นลอจิก LOW หรือที่เรียกว่า ลอจิกศูนย์) แต่ถ้าหากเป็นคอมม่อน Cathode จะต้องต่อขาคอมม่อนเข้ากับกราวด์ แล้วต่อขาของแถบที่ต้องการแสดงผลเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่าย (เป็นลอจิก HIGH หรือที่เรียกว่าลอจิกหนึ่ง)

2.4.1 LED (Light Emitting Diode)

LED เริ่มเข้ามามีบทบาทในหลากหลายอุตสาหกรรม รวมไปถึงการกำเนิดแสงส่องสว่างภายในอาคารและบ้านเรือน ซึ่งข้อดีของหลอดไฟ LED นั้นมีมากมายจนไม่ควรมองข้าม ทั้งในแง่ประโยชน์ในการใช้งานและการประหยัดพลังงานที่ถูกพัฒนาขึ้นมาให้แทนที่เทคโนโลยีการให้แสงส่องสว่างแบบเดิมๆที่เราใช้กันอยู่ทั่วไป แอลอีดีคือไดโอดชนิดเปล่งแสง ไม่ได้มีรูปร่างแบบหลอด แต่เรียกนำหน้าชื่อว่า “หลอดแอลอีดี” อย่างที่เคยชินกับหลอดไฟประเภทเก่า เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำรูปแบบไดโอด โดยปกติไดโอดเป็นชิ้นส่วนเพื่อออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า แต่ด้วยความมอเนกประสงค์ในโครงสร้างของไดโอด จึงทำให้ดัดแปลงใช้งานได้หลากหลายรูปแบบในโลกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการให้กำเนิดแสงสว่างด้วย จุดเด่นหลักคือการกำเนิดแสงในรูปแบบให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารกึ่งตัวนำ ต่างจากหลอดไส้หรือหลอดตะเกียบที่ใช้เทคนิคกำเนิดความร้อนเพื่อกระตุ้นก๊าซในหลอดแก้วหรือใช้การเผาไหม้ไส้ทั้งสแตนในหลอดเพื่อให้เกิดแสงสว่าง แอลอีดีจึงมีขนาดชิ้นส่วนที่เล็กมากกว่าหลอดไฟปกติมากๆ (เล็กสุดในระดับ 1 มิลลิเมตร) และอายุการใช้งานสูงกว่าเพราะความร้อนต่ำมาก

แอลอีดีถูกประดิษฐ์และนำมาใช้งานจริงใน ค.ศ. 1962 โดยบริษัท GE (General Electric) ช่วงแรกนั้นมักใช้เป็นตัวส่งแสงอินฟราเรดเพื่อการสื่อสารไร้สาย ดังที่พบเห็นได้ในรีโมตคอนโทรล หรือไฟแสดงสถานะในเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างเช่นนาฬิกาดิจิตอล เพราะข้อจำกัดในการกำเนิดแสงเฉดสีและของเทคโนโลยีแอลอีดีในสมัยนั้นค่อนข้างจำกัด

ในปัจจุบัน แอลอีดีถูกพัฒนาอย่างมากจนสามารถใช้งานทดแทนไฟแสงสว่างแทบทุกรูปแบบที่เคยใช้กันมา ถ้าคิดว่าแอลอีดียังเป็นเรื่องไกลตัวที่ไม่ค่อยพบเห็นก็ไม่ถูกชะตาเดียวเพราะทุกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันนี้ไม่ว่าจะเป็นป้ายโฆษณา ไฟจราจร ไฟส่องสว่างบนถนน ป้ายไฟ ไฟตกแต่งอาคาร ไฟรถยนต์ และ ไฟจักรยาน หรือแม้กระทั่งไฟส่องสว่างหน้าจอกอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์ในทุกวันนี้ก็ใช้หลอด LED เห็นได้ว่า LED ไม่ใช่เรื่องไกลตัวอย่างที่คิด

องศาของลำแสง (Beam Angle) ที่แคบกว่าหลอดแบบอื่นๆ แสงส่องสว่างที่ออกจาก หลอด LED จะมีลักษณะพุ่งตรงเป็นลำแสงไม่ค่อยมีการกระเจิงของแสง ทำให้แสงที่ได้จาก หลอดไฟ LED นั้นจะครอบคลุมพื้นที่ไม่กว้างเท่าหลอดไฟแบบอื่นๆ แต่สำหรับการใช้งานที่ต้องการ พื้นที่ความสว่างครอบคลุมในวงกว้างผู้ผลิตได้พัฒนาโคมครอบขึ้นมาเพื่อให้ทิศทางแสงของหลอด LED นั้นกระจายตัวเป็นวงกว้างได้ดียิ่งขึ้นแต่ก็ต้องยอมรับว่าไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างเท่ากับ หลอดแบบฮาโลเจน, ฟลูออเรสเซนต์ หรือทังสเตน แต่ก็กลายเป็นข้อดีที่มีลักษณะเฉพาะตัวของ หลอดไฟ LED สำหรับใช้ในงานที่ต้องการควบคุมทิศทางแสงเช่นกัน



สำหรับข้อดีของหลอด LED มีดังนี้

1. ทนทานต่อการใช้งานมากเป็นพิเศษ แอลอีดีที่มีคุณภาพสูง มีอายุการใช้งานได้ยาวนานถึงประมาณ 10-20 ปี
2. อัตราการกินไฟต่ำมากเป็นพิเศษ แต่ได้ค่าความสว่างเท่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ และหลอดทังสเตน(หลอดไส้) ซึ่งช่วยประหยัดไฟในระยะยาว
3. มีความร้อนค่อนข้างต่ำมากเป็นพิเศษ จึงไม่ทำให้ห้องและสภาพแวดล้อมนั้นเกิดความร้อนจากแสงไฟ ช่วยลดภาระของแอร์ในการทำความเย็นลงได้ ซึ่งเท่ากับประหยัดไฟไปอีกต่อหนึ่ง
4. ไม่ต้องพึ่งพาลาสต์และสตาร์ทเตอร์ในการติดตั้งใช้งาน แอลอีดีแบบใช้งานในบ้านส่วนมากสามารถต่อกับไฟบ้านได้โดยตรง ไม่มีการกระพริบ ไฟติดทันทีที่เปิด
5. ไดโอดเปล่งแสงมีขนาดเล็กทำให้สามารถนำไปประกอบให้มีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปได้ตามการใช้งาน

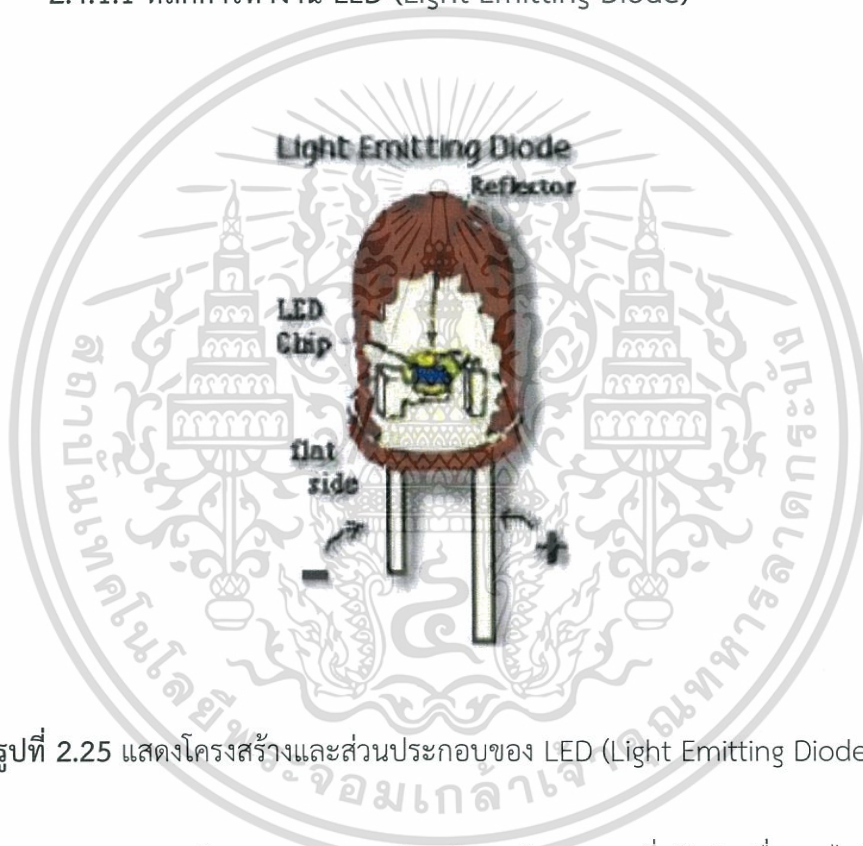
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ไม่มีก๊าซพิษร้ายแรงเพื่อทำปฏิกิริยาทางไฟฟ้า และไม่มีส่วนประกอบของกระจก ปลอดภัยแม้ทำแตก หัก เสียหาย

สำหรับข้อเสียของหลอด LED มีดังนี้

1. ราคาต่อชิ้นค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ และหลอดทังสเตน
2. แอลอีดีส่วนใหญ่ ไม่สามารถใช้กับสวิตช์หรี่แสง (Dimmer Switch) ได้

2.4.1.1 หลักการทำงาน LED (Light Emitting Diode)



รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของ LED (Light Emitting Diode)

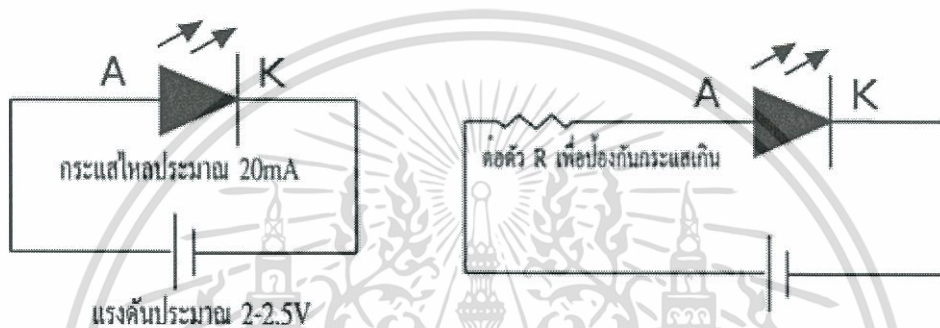
การทำงานของ LED เป็นอุปกรณ์จำพวกสารกึ่งตัวนำ เมื่อจ่ายไฟเข้าไปในรูปของการ Forward bias จะมีอิเล็กตรอน และ hole ไหลผ่าน pn junction จากอเล็กโทรดเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งมาพบ hole อิเล็กตรอนจะคายพลังงานออกจนถึงระดับต่ำพอที่จะเขาไปอยู่ในวงโคจรรอบนิวเคลียส (อยู่ในรูปของโฟตอน คือจะเปล่งแสงออกมา) สีของแสงที่ปรากฏขึ้นอยู่กับสารอนินทรีย์ที่ผสมในสารกึ่งตัวนำและออกมาใกล้เคียงแสงอุลตราไวโอเล็ต แสงที่มองเห็นได้และแสงอินฟราเรด

ปัจจุบันนี้ LED สามารถนำมาพัฒนาเป็นจอโทรทัศน์ขนาดใหญ่ตั้งแต่ 30-60 ฟุต และมี คุณสมบัติที่สามารถเห็นได้ขณะที่ตั้งอยู่กลางแจ้ง มีหลักการทำงานพื้นฐานเหมือนกับทีวีแบบ CRT ที่เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าจากสายอากาศหรือจากเครื่องเล่นวีดีโอเป็นจุดแสงหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรทัศน์ขนาดใหญ่ที่ใช้หลอด LED สีแดง เขียวและน้ำเงิน แทนจุดแสง 1 จุด (1 โมดูล) ดังนั้นบนจอโทรทัศน์ 1 โมดูลเกิดจากหลอด LED อย่างน้อย 3 หลอด (สีแดง เขียว และน้ำเงิน) อย่างไรก็ตาม 1 โมดูลอาจประกอบด้วย หลอดมากกว่า 3 ดวงก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ ขนาดของ 1 โมดูลเพื่อจะได้ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจนจะต้องใช้หลอด LED เป็นจำนวนนับแสนดวงเรียงกัน นับเป็นตาข่าย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการภาพที่มีรายละเอียดของจุด 640×480 ต้องใช้จุดแสงจำนวน 307200 จุด นั่นก็หมายความว่าต้องใช้หลอด LED อย่างน้อย $307200 \times 3 = 921600$ ดวง

2.4.1.2 วงจรการทำงานของ LED (Light Emitting Diode)



รูปที่ 2.26 แสดงการต่อวงจรการทำงานของ LED (Light Emitting Diode)

การต่อวงจร LED (Light Emitting Diode) หลักการต่อวงจร LED เพียงแค่จ่ายไฟบวกกระแสตรงเข้าที่ขา แอโนด (Anode) หรือขาที่ยาวกว่า และต่อไฟลบเข้ากับขา แคโทด (Cathode) หรือขาที่สั้น จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัว LED ที่เรียกว่า V_f หรือ Forward Voltage เมื่อมีแรงดันตกคร่อม V_f ที่ว่านี้ ด้วยคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำภายใน LED ก็จะเปล่งแสงออกมา แต่เพื่อจำกัดไม่ให้กระแสไหลผ่าน LED มากจนเกินไป ก็จำเป็นต้องต่อตัวต้านทาน (ตัวต้านทาน หรือ รีซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า) อนุกรมเข้าไปในวงจร ที่ตัว LED แบบหลอดจะสังเกตว่าจะมีรอยบากอยู่ด้านหนึ่ง โดยทั่วไปตำแหน่งรอยบากนี้จะแสดงตำแหน่งขา K แต่มันก็ไม่จำเป็นต้องเสมอไป ทางที่ดีเราควรตรวจสอบด้วยตัวเองจะดีกว่า เพราะแรงดันที่เราจะใช้ให้ LED เปล่งแสงได้จะอยู่ที่ประมาณ 1.5 - 3 โวลต์ (V) โดยอาจจะขึ้นอยู่กับสีและคุณสมบัติเฉพาะตัวนั้นๆ โดยทั่วไปจะใช้ที่ 2.5 - 3 โวลต์ (V) และ LED จะมีกระแสไหลผ่าน (กระแสไบอัสตรง) ได้ประมาณ 20 มิลลิแอมป์ (mA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน LED ดังรูปที่ 2.26 โดยทั้งนี้จะต้องมีการคำนวณการต่อคาตัวต้านทานด้วยหากเลือกใช้ค่าความต้านทานผิดอาจทำให้ LED เสียหายหรือขาดได้ ดังนั้นโดยวิธีการหาค่า R ใช้สูตรง่ายๆ กฎของโอห์มมีดังนี้

$$V = IR$$

V = แรงดัน หน่วยเป็นโวลต์ (V)

I = กระแสหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ (mA)

R = ความต้านทานหน่วยเป็นกิโลโอห์ม (k Ω)

$V = (V_{DC} - V_f)$ ส่วนคุณสมบัติสำคัญของไดโอด LED คือ แรงดันตกคร่อมหรือ V_f และกระแสไหลผ่านที่ทนได้สูงสุดหรือ I_{max}

2.4.1.3 อุปกรณ์แสดงผล LED (Light Emitting Diode)

LED (light-emitting diode) หรือที่เรามักจะเรียกว่าไดโอดเปล่งแสงการที่เราสามารถมองเห็น แสงของ LED นั้นเป็นเพราะภายในตัว LED เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าจะเปลวคลื่นแสงออกมาโดยความถี่ของคลื่นแสงที่ความถี่ต่างๆ กัน จะทำให้เรามองเห็นเป็นสีต่างๆ กันไปด้วย หลอด LED ที่เราเห็นมีขายกันตามร้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีหลายแบบ แต่ละแบบนี้จะมีหลักการทำงาน เหมือนกัน

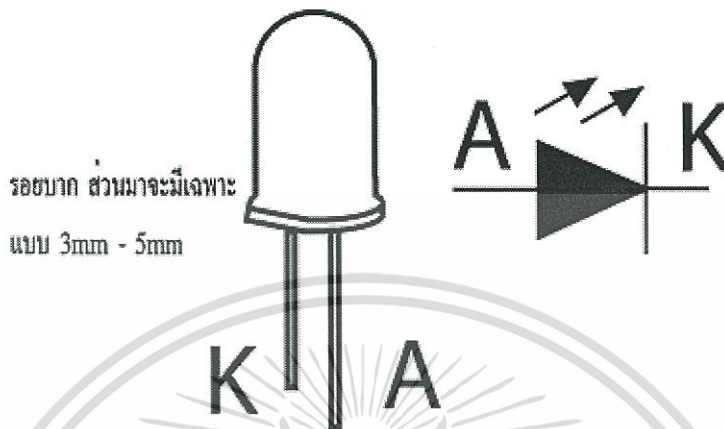


รูปที่ 2.27 แสดงอุปกรณ์แสดงผล LED (Light Emitting Diode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.4 ลักษณะของตัว LED (Light Emitting Diode)

LED จะทำจากสารกึ่งตัวนำ P และ N โดยจะมี 2 ขาในการใช้งาน (ยกเว้นบางประเภท เช่น LED แบบโพลีซิลิคอนในหลอดเดียวกันอาจจะมี 3 ขาได้) โดยขาของ LED จะมีชื่อเรียกดังนี้

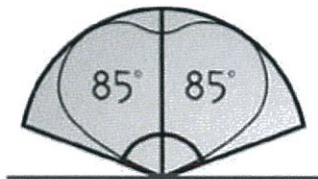


รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะของตัว LED (Light Emitting Diode)

ขา A หรือที่เรียกว่าขาแอนโนด โดยขานี้จะต้องป้อนไฟบวก (+) ให้เท่านั้นขา K หรือที่เรียกว่าขาแคโทด โดยขานี้จะต้องป้อนไฟลบ (-) ให้เท่านั้นที่ตัว LED แบบหลอดจะสังเกตเห็นว่ามีรอยบากอยู่ด้านหนึ่งโดยทั่วไปตำแหน่งรอยบากนี้จะแสดงตำแหน่งขา K แต่มันก็ไม่จำเป็นเสมอ ทางที่ดีควรตรวจสอบด้วยตัวเองจะดีกว่า ซึ่งจะอยู่ในหัวข้อด้านล่างๆ แรงดันที่จะใช้ให้ LED เปล่งแสงได้จะอยู่ที่ประมาณ 1.5-3 โวลต์ โดยอาจจะขึ้นอยู่กับสีและคุณสมบัติเฉพาะตัวนั้นๆ โดยทั่วไปจะใช้ที่ 2.5 - 3 โวลต์ และ LED จะมีกระแสไหลผ่าน (กระแส ไบอัสตรง) ได้ประมาณ 20 mA (มิลลิแอมป์)

2.4.1.5 การประยุกต์ใช้ LED

การประยุกต์ใช้ LED คือการนำตัว LED เล็กๆ เหล่านี้มาเรียงต่อกัน เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้ามาหลอดเหล่านี้ก็จะเปล่งแสงและผสมสีให้เห็นเป็นสีสันต่างๆ นั่นเอง ซึ่งมีมุมมองด้านข้างกว่า 85 องศา



รูปที่ 2.29 แสดงมุมมองด้านข้าง 85 องศา ของหลอด LED

รูปหลอดคือจอ LED ที่สร้างจากวิธีที่กล่าวข้างต้น เมื่อมองไกลๆ จะเห็นเป็นหลอดไฟเรียงกันเป็นจำนวนมากเมื่อเรียงเป็นแผงขนาดใหญ่จะมีการจำหน่ายเป็นแผงราคาของแผงจอ LED ดังกล่าว ถ้านำเขาจากต่างประเทศ จะมีราคาแพงมากแต่ถ้าผลิตในเองไทยจะมีราคาถูกกว่ามาก ทั้งนี้ขนาดของจอที่จำหน่ายจะมีขนาด 12 ตารางเมตรขึ้นไป

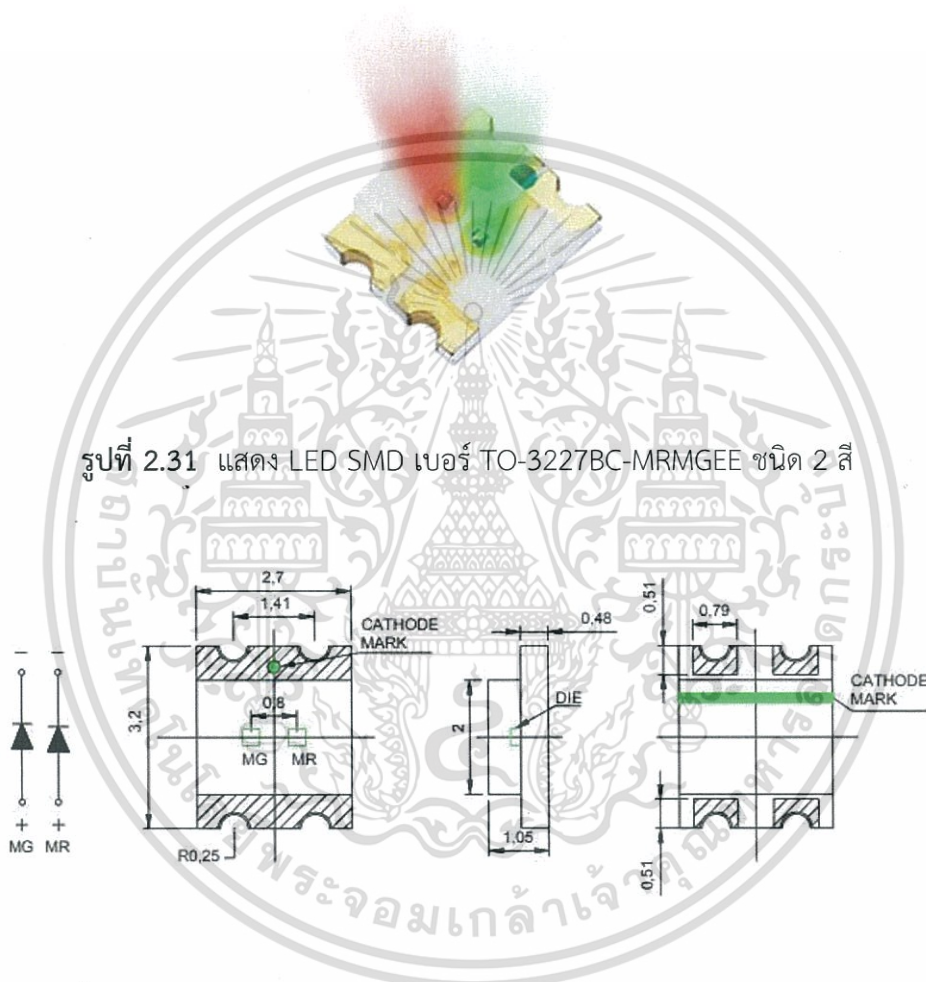


รูปที่ 2.30 แสดงการแผงของหลอดไฟ LED ที่เรียงตัวกันจำนวนมาก

2.4.2 การทำงานของ LED SMD (Surface-Mounted-Device)

ในการทำโปรเจคนี้จะใช้ Surface Mount Device LED เบอร์ TO-3227BC-MRMGEE ชนิด 2 สี ใน 1 ตัว โดยใช้ LED SMD (Surface-Mounted-Device) คือ อุปกรณ์ที่ยึดอยู่บนผิวของ PCB หรืออธิบายให้ง่ายต่อการเข้าใจคือ อุปกรณ์ที่ไม่ต้องเสียบขาเข้าไปในรูแล้วค่อยบัดกรีเหมือน LED เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงออกมาได้เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าที่ตัวมัน โดยปกติหลอดชนิดนี้สามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายแรงดันกระแสไฟตรงเพียงเล็กน้อยเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรเขียนเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อยเท่านั้นโดยสามารถกำหนดแรงดันเข้าไปผ่านตัวต้านทาน จึงทำให้มีลักษณะเข้มหรืออ่อนของแสงได้และประสิทธิภาพในการให้แสงยังดีกว่าหลอดฟลูออโรสเซียม หรือหลอดไส้ที่ใช้กันอยู่ในอดีต โดยคุณสมบัติของ LED SMD มีดังนี้ คือ รองรับตัว IC, ใช้งานร่วมกับอินฟราเรดและขั้นตอนการหลอมละลายของกระบวนการเกิดไอของเหลว ชนิดสองสี บรรจุในเทป 8 มม. บนเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว และแพ็คเกจปราศจากสารตะกั่ว (ตาม RoHS)



รูปที่ 2.31 แสดง LED SMD เบอร์ TO-3227BC-MRMGEE ชนิด 2 สี

รูปที่ 2.32 แสดงขนาดแพ็คเกจของ LED SMD (Surface Mounted Device)

1. ขนาดทั้งหมดเป็นมิลลิเมตร
2. ค่าความคลาดเคลื่อนคือ ± 0.1 มิลลิเมตรยกเว้นที่ระบุไว้เป็นอย่างอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ระดับ Absolute สูงสุดที่ $T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Parameter	Maximum Rating		Unit
	MR	MG	
Peak Forward Current (1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width)	80	80	mA
Power Dissipation	75	75	mW
Continuous Forward Current	25	25	mA
Reverse Voltage	5	5	V
Operating Temperature Range	-55 $^{\circ}\text{C}$ to +85 $^{\circ}\text{C}$		
Storage Temperature Range	-55 $^{\circ}\text{C}$ to +105 $^{\circ}\text{C}$		
IR Reflow Soldering Profile For Lead Free Soldering	260 $^{\circ}\text{C}$		

ตารางที่ 2.3 ลักษณะทางไฟฟ้าที่ $T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Parameter	Symbol	MR			MG			Unit	Test Condition
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Luminous Intensity	I_V	51		146	51		146	mcd	$I_F = 20\text{mA}$
Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$							deg	$I_F = 20\text{mA}$
Dominant Wavelength	λ_d		630			572		nm	$I_F = 20\text{mA}$
Spectral Line Half-Width	$\Delta\lambda$		15			15		nm	$I_F = 20\text{mA}$
Forward Voltage	V_F		1.9	2.3		2.0	2.3	V	$I_F = 20\text{mA}$
Reverse Current	I_R			10			10	μA	$V_R = 5\text{V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ชุดแหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้า เป็นการใช้กันมากที่สุดในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง หรือหมายถึง อุปกรณ์ที่แปลงพลังงานรูปแบบหนึ่ง เช่น พลังงานกล พลังงานเคมี พลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แหล่งจ่ายไฟแบบควบคุมได้ (regulated power supply) สามารถควบคุมแรงดันหรือกระแสเอาต์พุตให้มีค่าที่คงที่แน่นอน แม้ว่าโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่พลังงานที่อินพุตก็ตาม แหล่งจ่ายไฟทุกตัวต้องได้รับพลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอกเพื่อจ่ายให้โหลดและการบริโภคพลังงานของตัวเองในขณะปฏิบัติงาน แหล่งพลังงานภายนอกจะขึ้นอยู่กับการออกแบบ แหล่งจ่ายไฟอาจจะได้รับพลังงานจากระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้า อาจเป็นกระแสสลับหรือกระแสตรงที่ได้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับให้เป็นกระแสตรง อุปกรณ์จัดเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ และเซลล์เชื้อเพลิง ระบบเครื่องกลไฟฟ้า เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานกล เช่น Generator และ Alternator หรือว่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายไฟอาจถูกนำมาใช้แบบแยกส่วน หรือเป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของโหลด เช่น แหล่งจ่ายไฟในคอมพิวเตอร์ เดสก์ทอป และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปสำหรับผู้บริโภคคุณลักษณะเฉพาะที่ระบุไว้บนแหล่งจ่ายไฟ ได้แก่ ปริมาณของแรงดันและกระแสที่จะสามารถจ่ายให้กับโหลดได้ วิธีการที่จะทำให้แรงดันหรือกระแสเอาต์พุตมีเสถียรภาพ ภายใต้เงื่อนไขที่กระแสไฟฟ้าอินพุตและสภาวะของโหลดที่เปลี่ยนแปลง ระยะเวลาการใช้งานได้นานเท่าใดโดยไม่ต้องเติมเชื้อเพลิงหรือหรือชาร์จประจุใหม่ เฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้แหล่งพลังงานแบบพกพา

2.5.1 ประเภทของแหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งออกกว้างๆเป็นแบบความถี่ไฟฟ้าขาเข้าหรือแบบธรรมดา และแบบสวิตซิง (switching) แบบความถี่มักจะมีการออกแบบที่ค่อนข้างง่าย แต่จะมีขนาดใหญ่และหนักสำหรับแหล่งจ่ายไฟกระแสสูง เนื่องจากความจำเป็นที่จะต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขาเข้าที่มีขนาดใหญ่ และวงจรแบบอิเล็กทรอนิกส์ความร้อนสูงที่ต้องการตัวระบายความร้อนขนาดใหญ่ แหล่งจ่ายไฟแบบธรรมดานี้ บางครั้งเรียกว่าแบบ "เชิงเส้น" แต่ที่เรียกที่ชื่อผิด เพราะการแปลงจากแรงดันไฟฟ้า AC เป็น DC โดยเนื้อแท้แล้วไม่ใช่เชิงเส้น เมื่อวงจรเรียงกระแสจ่ายไฟเข้าไปใน capacitor Linear voltage regulators จะผลิตแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่จะถูก regulated โดยวิธี voltage divider ที่บริโภคพลังงาน จึงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ แหล่งจ่ายไฟแบบ switched-mode ที่ให้เอาต์พุตเท่ากับแหล่งจ่ายไฟธรรมดาจะมีขนาดที่เล็กกว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า แต่จะซับซ้อนมากขึ้น

1. แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานเคมีที่เก็บไว้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในครัวเรือนจำนวนมากและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม แบตเตอรี่มี 2 ชนิด ได้แก่ แบตเตอรี่ปฐมภูมิ คือแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วทิ้ง ซึ่งถูกออกแบบมาให้ใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง และ แบตเตอรี่ทุติยภูมิ คือแบตเตอรี่ชาร์จใหม่ได้ ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อชาร์จใหม่ได้หลายครั้ง แบตเตอรี่มีหลายขนาดจากเซลล์ขนาดเล็กที่ใช้ในเครื่องช่วยฟังและนาฬิกาข้อมือ ไปจนถึงขนาดห้องเป็นกลุ่มของแบตเตอรี่ (battery bank) ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในชุมสายโทรศัพท์และศูนย์ข้อมูลคอมพิวเตอร์

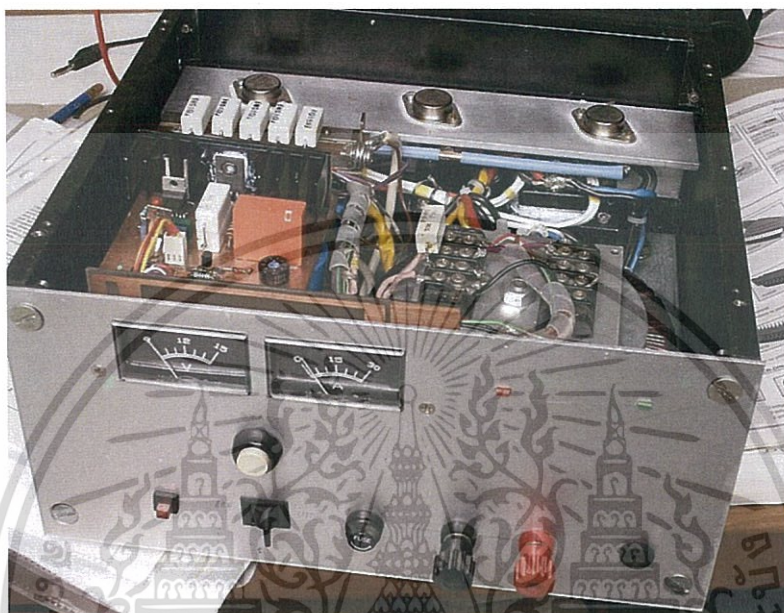


รูปที่ 2.33 แสดงแบตเตอรี่อัลคาไลน์

2. แหล่งจ่ายไฟ DC

แหล่งจ่ายไฟ DC ที่ไม่ควบคุมปกติจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงดันจากผนังหรือไฟบ้าน ให้ต่ำลงให้ได้แรงดันที่ต้องการ ถ้าต้องการผลิตแรงดัน DC วงจรเรียงกระแสจะใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้าตรง (ยังเป็นรูปคลื่นอยู่) ตามด้วยตัวกรองประกอบด้วยตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานอย่างน้อยหนึ่งตัว และบางครั้งมีตัวเหนี่ยวนำด้วยเพื่อทำการกรอง (ทำให้เรียบ) ของคลื่นเหล่านั้น คลื่นขนาดเล็กที่เหลือจากการกรองหรือที่เรียกว่า ripple นี้เป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ ซึ่งอาจมีความถี่น้อยกว่าความถี่จาก AC input ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีเรียงกระแสว่าเป็นแบบครึ่งคลื่น หรือ เต็มคลื่น ripple นี้จะไปบนแรงดันไฟฟ้าตรงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในวัตถุประสงค์ เช่น การชาร์จแบตเตอรี่ ripple ไม่ได้เป็นปัญหาและแหล่งจ่ายไฟที่ง่ายที่สุด อาจเป็นเพียงหม้อแปลงแรงต่ำที่มีไดโอดตัวเดียวกับความต้านทานอีกหนึ่งตัวต่ออนุกรมอยู่ก็ได้ ก่อนที่จะมีการนำอุปกรณ์แบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

solid-state มาใช้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้วาล์ว (หลอด สูญญากาศ) ซึ่งต้องการแรงดันสูง แหล่งจ่ายไฟจะใช้หม้อแปลงแบบ step-up วงจรเรียงกระแส และตัวกรอง เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าตรงหลายระดับ หลายร้อยโวลต์ และแรงดันกระแสสลับเพื่อจุดใส่หลอด เฉพาะอุปกรณ์ที่ทันสมัยที่สุดเท่านั้นที่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟควบคุมที่มีขนาดใหญ่และราคาแพง



รูปที่ 2.34 แสดงแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นทำเองที่บ้าน ในที่นี้ใช้สำหรับอุปกรณ์วิทยุสมัครเล่น

3. แหล่งจ่ายไฟ AC

แหล่งจ่ายไฟ AC ปกติจะใช้แรงดันไฟฟ้าจากเต้าเสียบ (ไฟบ้าน) และลดแรงดันลงในระดับ แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ บางครั้ง การกรองก็ต้องการเช่นกัน แหล่งจ่ายไฟ AC สามารถผลิตไฟฟ้า AC ได้จากไฟ DC วงจรที่ใช้เปลี่ยนไฟ DC ให้เป็นไฟ AC เรียกว่า Inverter อินเวอร์เตอร์ทำงานด้วยอุปกรณ์ power switching ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่ควบคุมได้ รูปคลื่น AC ที่เอาต์พุตจึงมีค่าที่ไม่เกาะติดกัน เนื่องจากการแปลงทำงานอย่างรวดเร็วแทนที่จะเป็นการแปลงอย่างราบรื่น ความสามารถในการสร้างรูปคลื่นใกล้เคียงรูปไซน์ที่มีความถี่ใกล้เคียงความถี่พื้นฐานถูกบังคับโดยใช้เทคนิคการมอดูเลชันที่มีการควบคุมตลอดเวลาที่เพาเวอร์วาล์วเปิดและปิด เทคนิคการมอดูเลชันที่ใช้ได้แก่ carrier-based technique หรือ pulse width modulation, space-vector technique, และ selective-harmonic technique.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Linear regulated power supply

แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตโดยแหล่งจ่ายไฟที่ไม่ควบคุมจะมีระดับแรงดันไม่คงที่ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามโหลดและ AC input สำหรับการใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญตัวควบคุมเชิงเส้น (linear regulator) อาจถูกใช้ในการตั้งค่าแรงดันให้แม่นยำให้มีความเสถียรต่อความผันผวนของแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตและโหลด ตัวควบคุมนี้ยังช่วยลดการกระเพื่อมและการรบกวนในกระแสตรงที่เอาต์พุตด้วย linear regulator มักจะทำการจำกัดปริมาณการไหลของกระแส เพื่อปกป้องแหล่งจ่ายไฟและวงจรอื่นที่เชื่อมต่ออยู่ด้วยเป็นอันตรายจากกระแสเกิน แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นที่ปรับได้มักจะเป็นอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการและหน่วยบริการทดสอบ เนื่องจากมันสามารถปรับเปลี่ยนแรงดันเอาต์พุตให้มีระดับต่างๆได้ ตัวอย่างเช่นแหล่งจ่ายไฟตั้งโต๊ะที่ถูกใช้โดยนักออกแบบวงจร อาจจะปรับเอาต์พุตให้สูงขึ้นถึง 30 โวลต์ 5 แอมแปร์ แหล่งจ่ายไฟบางตัวอาจถูกขับโดยสัญญาณภายนอก เช่นการใช้งานที่ต้องการเอาต์พุตจากแหล่งจ่ายไฟเป็นพัลส์ (คลื่นสี่เหลี่ยมเป็นช่วง)



รูปที่ 2.35 แสดงแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นควบคุม DC

5. แหล่งจ่ายไฟ AC/DC

ในอดีตไฟฟ้าหลักถูกจ่ายเป็น DC ในบางภูมิภาคบางภูมิภาคก็เป็น AC หม้อแปลงไม่สามารถใช้กับ DC แต่แหล่งจ่ายไฟแบบไม่ควบคุมที่ง่ายและราคาถูก สามารถทำงานได้จากอินพุตที่เป็นทั้งไฟ AC หรือ DC โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลง แหล่งจ่ายไฟประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสและตัวเก็บประจุเหมือนปรกติ เมื่อใช้งานจากไฟ DC อินพุต rectifier ทำงานเป็นเพียงตัวนำให้กระแสผ่าน

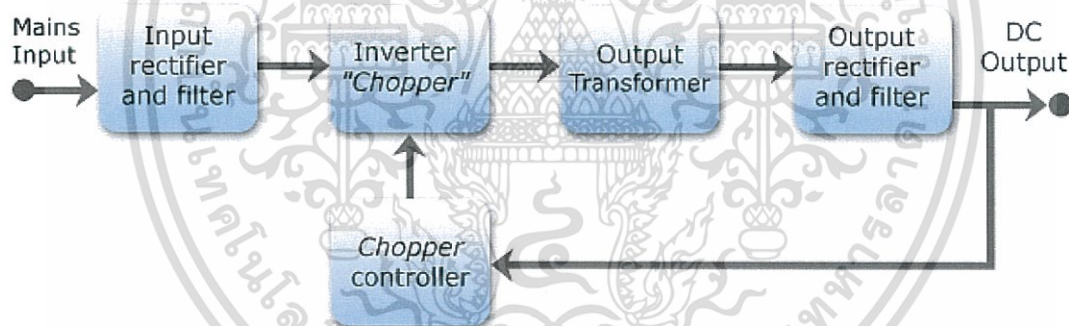
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อวงจรโดยรวมแต่อย่างใด วงจร rectifier ยังถูกมีอยู่ เพื่อให้การดำเนินงานจาก AC หรือ DC ได้โดยไม่ต้องมีการดัดแปลง

6. Switched Mode Power Supply

ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์โหมด (switched mode power supply) หรือ SMPS , AC อินพุท จะถูก rectify โดยตรง จากนั้นจะถูกกรองเพื่อให้ได้แรงดัน DC แรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้นจะถูกสับเปลี่ยนให้ปิดและเปิดที่ความถี่สูงโดยวงจรสวิตซ์อิเล็คทรอนิกส์ ทำให้เป็นกระแสสลับความถี่สูงมาก (ประมาณ 10 KHz-1 MHz) ซึ่งจะทำให้มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า และตัวกรองเก็บประจุที่มีขนาดเล็กมาก น้ำหนักเบา และมีราคาถูกลงกว่า ที่พบในอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงเส้นที่ทำงานที่ความถี่ไฟเมน (50 Hz) หลังจากที่ผ่านมาตัวเหนี่ยวนำหรือหม้อแปลงแล้ว AC ความถี่สูงจะถูก rectify และ filter เพื่อผลิตแรงดัน output DC ถ้า SMPS ใช้หม้อแปลงความถี่สูงหุ้มฉนวนอย่างเพียงพอ เอาต์พุตจะถูกแยกออกจากไฟเมนทางไฟฟ้า คุณลักษณะนี้มักเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อความปลอดภัย

Switched-mode power supplies ปกติ จะถูก regulate และเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ แหล่งจ่ายไฟจะมี feedback controller ที่จะตรวจสอบกระแสที่ไหลลงดิ่งเอาไปใช้ duty cycle ของการสวิตซ์จะเพิ่มขึ้น ถ้าเอาต์พุตต้องการพลังงานมากขึ้น



รูปที่ 2.36 แสดง Block diagram ของ SMPS

SMPSs มักจะมีคุณลักษณะด้านความปลอดภัย เช่นการจำกัดปริมาณกระแส หรือ วงจร crowbar เพื่อช่วยป้องกันอุปกรณ์และผู้ใช้จากอันตราย ในกรณีที่ตรวจพบความผิดปกติของการใช้กระแสที่สูง SMPS จะถือว่าเป็นการลัดวงจร และจะปิดตัวเองก่อนที่จะเกิดความเสียหาย แหล่งจ่ายไฟของ PC ปกติจะส่งสัญญาณ power good ไปให้เมนบอร์ด ถ้าสัญญาณนี้ขาดหายไป ระบบจะเริ่มขบวนการ shutdown เพื่อป้องกันการสูญเสียข้อมูลอันเนื่องมาจากความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ

SMPSs มีขีดจำกัดแน่นอนสำหรับกระแสเอาต์พุตที่ต่ำที่สุด มันจะจ่ายเอาต์พุตในระดับที่สูงกว่าค่าใดค่าหนึ่ง แต่จะไม่ทำงานถ้ากระแสเอาต์พุตต่ำกว่าจุดนั้นในสภาพไม่มีโหลด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสวิตช์ซึ่งจะสูงขึ้นอย่างมากจนทำให้หม้อแปลงแยกอินพุทกับเอาต์พุตเสียหาย อันเนื่องมาจาก แรงดันไฟฟ้ายอดแหลมที่เรียกว่า spike ที่เกิดขึ้นสูงมาก วงจรป้องกันของ SMPS อาจทำงานในช่วงสั้นๆ แต่แล้วก็ปิดตัวลงเมื่อตรวจสอบแล้วว่าไม่มีโหลด dummy load ขนาดเล็กมากและใช้พลังงานต่ำเช่น power transistor แบบเซรามิก หรือหลอดไฟ 10 วัตต์ สามารถนำมาต่อเข้ากับเอาต์พุตเพื่อให้มันทำงานโดยไม่มีโหลดได้

Power factor (PF) ได้กลายเป็นความกังวลสำหรับผู้ผลิตคอมพิวเตอร์ SMPS เป็นแหล่งผลิตฮาร์โมนิกใน power line และมี PF ที่แย่มาก ไฟป้อนเข้าที่ rectifier จะบิดเบือน waveshape ของกระแสที่ดึงมาจากสายเมน สิ่งนี้ก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อโหลดอื่นๆในบริเวณใกล้เคียงกระแสที่บิดเบือนทำให้เกิดความร้อนส่วนเกินในสายไฟและอุปกรณ์ที่กระจายอยู่ทั่วไป SMPS ในอาคารหนึ่งสามารถทำให้คุณภาพไฟฟ้าที่ไม่ดีสำหรับลูกค้าที่ใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ลูกค้าดังกล่าวอาจต้องเผชิญกับค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจาก PF มีค่าต่ำ

SMPS บางตัวใช้ตัวกรองหรือขั้นตอนการสวิตช์เพิ่มเติมในวงจรเรียงกระแสเพื่อปรับปรุงรูปแบบของคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ดึงมาจากไฟ AC input สิ่งนี้จะเพิ่มความซับซ้อนของระบบเข้าไปอีก แหล่งจ่ายไฟของคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาจะเพิ่มตัวแก้ PF เข้าไปใน SMPF และอาจโฆษณาว่ามี PF ที่ 1.0

7. Programmable power supply

Programmable power supply อนุญาตให้มีการควบคุมระยะไกลของแรงดันออกผ่าน สัญญาณอนาล็อกหรืออินเตอร์เฟซคอมพิวเตอร์ เช่น RS232 หรือ GPIB คุณสมบัติที่สามารถปรับได้รวมถึง แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความถี่ (สำหรับเครื่องที่เอาต์พุตเป็น AC) อุปกรณ์เหล่านี้จะประกอบด้วยหน่วยประมวลผล วงจรการเขียนโปรแกรมแรงดัน/กระแส current shunt และวงจรอ่าน-กลับแรงดัน/กระแส คุณสมบัติเพิ่มเติมรวมวงจรป้องกันกระแสเกิน แรงดันไฟฟ้าเกิน และการลัดวงจร และการชดเชยอุณหภูมิ แหล่งจ่ายไฟที่สามารถตั้งโปรแกรมได้ ยังมีในหลากหลายรูปแบบรวมทั้งแบบโมดูลาร์ ตีตบอร์ด แขนงผนัง ตั้งพื้น หรือตั้งโต๊ะ

แหล่งจ่ายไฟที่สามารถตั้งโปรแกรมได้ สามารถให้ DC, AC หรือ AC ที่มี DC ชดเชยเอาต์พุต AC สามารถเป็นได้ทั้งเฟสเดียวหรือสามเฟส แบบเฟสเดียวโดยทั่วไปจะใช้สำหรับแรงดันต่ำ ในขณะที่แบบสามเฟสเป็นเรื่องธรรมดาสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง แหล่งจ่ายไฟที่สามารถตั้งโปรแกรมได้ปัจจุบันถูกใช้ในงานหลากหลาย ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ทดสอบอัตโนมัติ การตรวจสอบการเจริญเติบโตของผลึก และการวิเคราะห์ความร้อนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.37 แสดงแหล่งจ่ายไฟที่สามารถตั้งโปรแกรมได้

8. Uninterruptible power supply

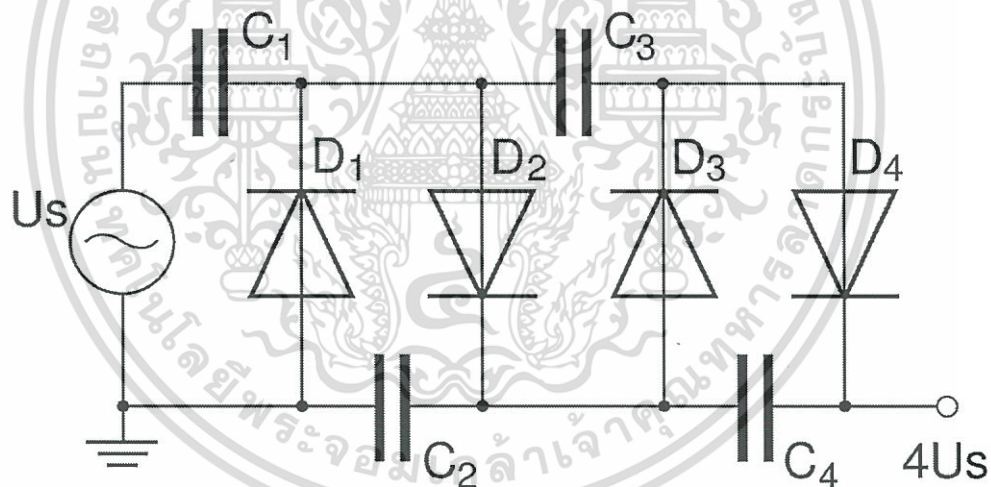
Uninterruptible power supply (UPS) ได้รับพลังงานจากแหล่งที่มาสองที่หรือมากกว่าพร้อมกัน ปรกติจะรับพลังงานโดยตรงจากไฟ AC ในขณะที่เดียวกันก็เก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ อาจจะมีการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าหลัก แบตเตอรี่จะเข้าทำงานแทนในทันที เพื่อให้โหลดไม่ถูกขัดจังหวะในการทำงาน ในการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ สิ่งนี้จะช่วยให้ผู้ใช้มีเวลาที่จะปิดระบบ ในขบวนการที่เป็นขั้นตอนที่เป็นระเบียบเรียบร้อยรูปแบบการใช้ UPS อื่นๆ อาจจะใช้ เครื่องยนต์สันดาปภายในหรือกักเก็บไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องให้ระบบในแบบคู่ขนานกับพลังงานที่มาจากระบบไฟฟ้าหลัก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ตามปกติจะไม่ทำงาน แต่จะทำงานมาเต็มกำลังในไม่กี่วินาทีเพื่อให้อุปกรณ์ที่สำคัญยังคงทำงานได้โดยไม่หยุดชะงัก โครงการดังกล่าวอาจจะพบในโรงพยาบาล หรือสำนักงานกลางโทรศัพท์

9. High voltage power supply

แหล่งจ่ายไฟแรงดันไฟฟ้าสูงสามารถจ่ายเอาต์พุตที่มีขนาดหลายร้อยหรือหลายพันโวลต์ แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงใช้วงจรผลิตความถี่สูงและหม้อแปลง flyback กับตัวเก็บประจุในการผลิตแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่อยู่ในช่วงนี้ คุณสมบัติเพิ่มเติมอาจรวม ความสามารถในการกลับขั้วเอาต์พุตพร้อมกับการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ และหัวต่อพิเศษโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดการ arc และการสัมผัสโดยไม่ได้ตั้งใจด้วยมือมนุษย์ แหล่งจ่ายบางตัวให้อินพุตอินพุตที่สามารถใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า มันจึงกลายเป็นแอมป์แรงดันสูงที่มีประสิทธิภาพ แม้จะมีแบนด์วิดท์ที่จำกัดมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Voltage Multiplier

Voltage multiplier เป็นวงจรไฟฟ้าที่แปลงไฟ AC จากแรงดันต่ำ ให้เป็นไฟ DC แรงดันสูง ซึ่งมักจะใช้วิธีการของเครือข่ายตัวเก็บประจุและไดโอด แรงดันไฟฟ้าขาเข้าอาจถูกเพิ่มเป็นจำนวนเท่าได้ถึงสองเท่า (Doubler) สามเท่า (Tripler) หรือ สี่เท่า (Quadrupler) และต่อ ๆ ไปวงจรเหล่านี้ช่วยให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งที่มาของแรงดันไฟฟ้า AC ที่ต่ำ โดยปกติตัวทวิคูณแรงดันไฟฟ้าจะประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น ตัวเก็บประจุและไดโอด ตัวอย่างเช่น Tripler ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นสามชุด ตัวเก็บประจุสามตัว และไดโอดสามตัว (เช่นใน Cockcroft วอลตัน) วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น อาจจะถูกใช้ในคอนฟิคที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น นอกจากนี้ คอนฟิคที่เป็นไปได้ มีทั้งแบบ คู่ขนานและแบบอนุกรม สำหรับแบบคู่ขนาน จะได้ voltage rating ที่สูงขึ้นในแต่ละขั้นตอนการทวิคูณที่ต่อเนื่องกัน แต่ใช้ตัวเก็บประจุน้อยกว่า จำนวนตัวเก็บประจุ จะเป็นตัวกำหนดแรงดันเอาต์พุตสูงสุด ตัวเพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบทวิคูณมีการใช้งานหลายอย่าง ยกตัวอย่างเช่น สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น โทรทัศน์และเครื่องถ่ายภาพเอกสาร การประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ที่สามารถพบได้ในห้องปฏิบัติการเช่น หลอดรังสีแคโทด Oscilloscope และหลอด photomultiplier



รูปที่ 2.38 แสดงรูปแบบหนึ่งของ Voltage Multiplier

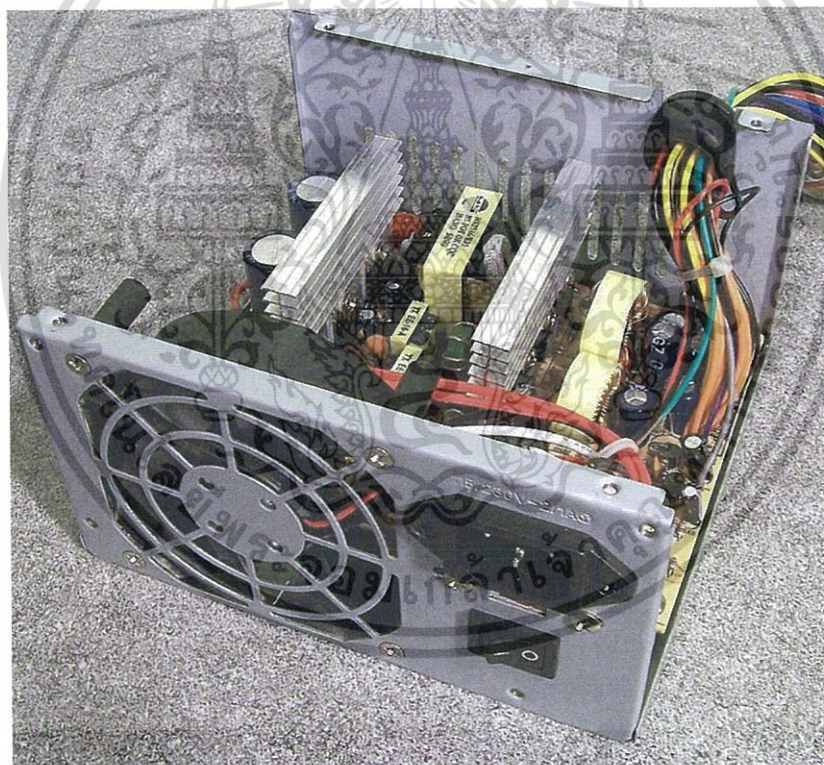
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การประยุกต์ใช้แหล่งจ่ายไฟ

1. แหล่งจ่ายไฟคอมพิวเตอร์

แหล่งจ่ายไฟคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยจะเป็นแบบ switch-mode ที่แปลงไฟ AC จากแหล่งจ่ายไฟหลักให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลายแรงดัน แหล่งจ่ายแบบสวิตช์โหมดมาแทนที่แหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายน้ำหนักรวมและขนาดที่ดีกว่าความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกยังมีความต้องการของการใช้กระแสที่แตกต่างกันอย่างกว้างขวาง

แหล่งจ่ายไฟสำหรับคอมพิวเตอร์หรือพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่ออุปกรณ์เกือบทุกตัวในระบบคอมพิวเตอร์ ซัพพลายของคอมพิวเตอร์นั้นมีลักษณะการทำงาน คือทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ เป็น 3.3 โวลต์ 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ตามแต่ความต้องการของอุปกรณ์นั้นๆ โดยชนิดของพาวเวอร์ซัพพลาย ในคอมพิวเตอร์จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามเคส คือแบบ AT และแบบ ATX



รูปที่ 2.39 แสดงแหล่งจ่ายไฟสำหรับคอมพิวเตอร์ สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบต่างๆ ของพาวเวอร์ซัพพลาย

1. ไฟกระแสสลับขาเข้า (AC Input) พลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ จะมาจากปลั๊กไฟ โดยที่รู้แล้วว่าไฟที่ใช้กันอยู่จะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดแรงดัน 220v ความถี่ 50 Hz เมื่อเสียบปลั๊กไฟ กระแสไฟฟ้าก็จะวิ่งตามตัวนำเข้ามายังเครื่องใช้ไฟฟ้า

2. ฟิวส์ (Fuse) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการป้องกันวงจรพาวเวอร์ซัพพลายทั้งหมดให้รอดพ้นอันตราย จากกระแสไฟแรงสูงที่เกิดขึ้นจากการถูกฟ้าผ่า หรือกระแสไฟฟ้าแรงสูงในรูปแบบต่างๆ โดยหากเกิดกระแสไฟฟ้าแรงสูงเกินกว่าที่ฟิวส์จะทนได้ ฟิวส์ตัวนี้ก็จะตัดในทันทีทันใด

3. วงจรกรองแรงดัน วงจรกรองแรงดันนี้จะทำหน้าที่กรองแรงดันไฟไม่ว่าจะเป็นแบบกระแสสลับ หรือกระแสตรงก็ตามที่เข้ามาให้มีความบริสุทธิ์จริงๆ เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติ เช่นไฟกระชาก ซึ่งจะเป็นผลให้วงจรต่างๆ ในพาวเวอร์ซัพพลายเกิดความเสียหายขึ้นได้

4. ภาคเรกติไฟเออร์ (Rectifier) หลังจากไฟกระแสสลับ 220v ได้วิ่งผ่านฟิวส์ และวงจรกรองแรงดันเรียบร้อยแล้วก็จะตรงมายังภาคเรกติไฟเออร์ โดยหน้าที่ของเจ้าเรกติไฟเออร์ ก็คือ การแปลงไฟกระแสสลับ ให้มาเป็นไฟกระแสตรง ซึ่งก็ประกอบไปด้วย

4.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะทำหน้าที่ปรับให้แรงดันไฟกระแสตรงที่ออกมาจากบริดจ์เรกติไฟเออร์ ให้เป็นไฟกระแสตรงที่เรียบจริงๆ

4.2 ไดโอดบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของตัว IC หรือแบบที่นำไดโอด 4 ตัวมาต่อกันให้เป็นวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

4.3 วงจรสวิตชิง (Switching) เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงานร่วมกับวงจรควบคุม (Control Circuit) เพื่อตรวจสอบว่าควรจ่ายแรงดันทั้งหมดให้กับระบบหรือไม่ โดยถ้าวงจรควบคุมส่งสัญญาณมาให้กับวงจรสวิตชิงว่าให้ทำงาน ก็จะเริ่มจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากภาคเรกติไฟเออร์ไปให้กับหม้อแปลงต่อไป

4.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) หม้อแปลงที่ใช้ในวงจรสวิตชิงซัพพลายจะเป็นหม้อแปลงที่มีหน้าที่ในการแปลงไฟที่ได้จากภาคสวิตชิง ซึ่งก็รับแรงดันไฟมาจากภาคเรกติไฟเออร์อีกต่อหนึ่ง โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันสูงขนาดประมาณ 300 v ดังนั้นหม้อแปลงตัวนี้ก็จะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟกระแสตรงสูงนี้ให้มีระดับแรงดันที่ลดต่ำลงมา เพื่อที่จะสามารถใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ก่อนที่จะส่งไปให้วงจรควบคุมแรงดันต่อไป

4.5 วงจรควบคุมแรงดัน (Voltage Control) เป็นวงจรที่จะกำหนดค่าของแรงดันไฟกระแสตรงที่ได้รับมาจากหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อที่จะให้ได้ระดับแรงดันที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่างๆ โดยค่าของระดับแรงดันไฟฟ้านี้ก็จะมีขนาด 5v และ 12v สำหรับพาวเวอร์ซัพพลายที่ใช้กับเมนบอร์ดแบบ AT แต่ถ้าเป็นพาวเวอร์ซัพพลายที่ใช้กับเมนบอร์ดที่เป็นแบบ ATX ก็จะต้องมีวงจรควบคุมแรงดันให้ออกมามีขนาด 3.3v เพิ่มอีกหนึ่ง (ซึ่งซีพียูรุ่นเก่าที่ใช้แรงดันไฟขนาด 3.3 v นี้ก็สามารถที่จะดึงแรงดันไฟในส่วนนี้ไปเลี้ยงซีพียูได้เลย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 วงจรควบคุม เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมวงจรสวิตชิง ที่จะให้ทำการจ่ายแรงดันไปให้กับหม้อแปลงหรือไม่ และแน่นอนว่าในส่วนนี้จะทำงานร่วมกับวงจรลอจิกที่อยู่บนเมนบอร์ด เมื่อวงจรลอจิกส่งสัญญาณกลับมาให้แก่วงจรควบคุม วงจรควบคุมก็จะสั่งการให้วงจรสวิตชิงทำงาน

2. แหล่งจ่ายไฟสำหรับการเชื่อม

การเชื่อมอาร์คใช้ไฟฟ้าเพื่อละลายพื้นผิวของโลหะให้หลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ไฟฟ้าที่ใช้จะได้จากแหล่งจ่ายไฟสำหรับการเชื่อม และสามารถเป็นได้ทั้งไฟ AC หรือ DC การเชื่อมอาร์ค มักจะต้องใช้กระแสสูง ปกติระหว่าง 100 ถึง 350 แอมป์ การเชื่อมบางชนิดสามารถใช้เพียง 10 แอมป์ ในขณะที่การใช้งานแบบ spot welding กระแสที่ใช้อาจสูงที่สุดถึง 60,000 แอมป์ในช่วงเวลาสั้นมาก แหล่งจ่ายไฟสำหรับการเชื่อมแบบเก่าประกอบด้วย หม้อแปลงหรือเครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า ล่าสุด ใช้เซมิคอนดักเตอร์และไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อลดขนาดและน้ำหนักของพวกมัน

3. adapter

แหล่งจ่ายไฟที่สร้างขึ้นภายในเต้าเสียบ AC ตัวผู้ เป็นที่รู้จักกันว่าเป็น "แพ็คเสียบ" หรือ "อะแดปเตอร์ปลั๊กอิน" AC adapter ที่ราคาถูกสุดประกอบด้วยหม้อแปลงขนาดเล็กตัวเดียวเท่านั้น ในขณะที่ อะแดปเตอร์ DC จะเพิ่มไดโอดเข้าไปด้วย ไม่ว่าจะจะมีโหลดหรือไม่ หม้อแปลงจะมีสนามแม่เหล็กอย่างต่อเนื่อง และโดยปกติจะไม่สามารถปิดการทำงานได้จนกว่าจะดึงออกจากเต้าเสียบ

Overload Protection

แหล่งจ่ายไฟมักจะมี การป้องกันจากไฟฟ้าลัดวงจร หรือกระแสเกิน ที่อาจทำให้เกิดความเสียหายกับแหล่งจ่ายไฟเองหรือเกิดไฟลุกไหม้ ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นสองกลไก ที่ถูกใช้กันทั่วไปเพื่อป้องกันการดำเนินงานเกินปกติ

ฟิวส์เป็นเพียงลวดสั้นๆที่จะละลายเมื่อเกิดความร้อน ถ้ามีกระแสไหลในตัวมันมากเกินไป มันจะตัดการเชื่อมต่อโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอุปกรณ์จะหยุดทำงานจนกว่าปัญหาที่ก่อให้เกิดการโอเวอร์โหลดนั้นจะได้รับการแก้ไข และฟิวส์จะถูกเปลี่ยนใหม่ บางอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ลวดบางๆบัดกรีเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นฟิวส์ ฟิวส์ในแหล่งจ่ายไฟอาจถูกเปลี่ยนโดยผู้ใช้ได้ แต่ฟิวส์ ในอุปกรณ์ของผู้บริโภค อาจจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการเข้าถึงและเปลี่ยนใหม่

เซอร์กิตเบรกเกอร์ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เมื่อมันร้อน มันจะงอและไปสะกิดสปริงซึ่งตัดวงจรไฟฟ้าออก เมื่อชิ้นส่วนนั้นเย็นตัวลง และปัญหาถูกแก้ไขแล้ว เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถต่อวงจรใหม่ และจ่ายพลังงานให้วงจรใหม่

แหล่งจ่ายไฟบางตัวใช้แผ่นป้ายความร้อนฝังอยู่ในหม้อแปลงไฟฟ้าแทนที่จะเป็นฟิวส์ ข้อดีคือ มันจะยอมให้กระแสไหลมากขึ้นในระยะเวลาที่จำกัด มากกว่ากระแสที่จ่ายให้ได้อย่างต่อเนื่อง แผ่นป้ายความร้อนดังกล่าวบางตัวอาจ reset ตัวมันเองได้ บางตัวใช้ได้ครั้งเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำกัดปริมาณของกระแส

แหล่งจ่ายไฟบางอย่าง ใช้การจำกัดปริมาณของกระแส แทนการตัดไฟ ถ้ากระแสเกิน การจำกัดปริมาณของกระแสที่ใช้กันอยู่มีสองประเภท ได้แก่การจำกัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ และการจำกัดด้วยอิมพีแดนซ์ การจำกัดแบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นเรื่องธรรมดาสำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบตั้งโต๊ะ ในห้องแลป แต่การจำกัดด้วยอิมพีแดนซ์ใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่เอาต์พุตน้อยกว่า 3 วัตต์

การแปลงพลังงาน

คำว่า "แหล่งจ่ายไฟ" บางครั้งถูกจำกัดสำหรับอุปกรณ์ที่แปลงบางรูปแบบของพลังงาน อื่นๆให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และ เซลล์เชื้อเพลิง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) คำ ที่ถูกต้องมากกว่าสำหรับอุปกรณ์ที่แปลงรูปแบบหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้า ให้เป็นอีกรูปแบบหนึ่ง ของไฟฟ้า (เช่น หม้อแปลง และ regulator เซิงเส้น) คือ converter เช่นการแปลงไฟ AC ให้เป็น DC เรียกว่า AC/DC Converter ส่วนการแปลง DC ให้เป็น AC เรียกว่า Inverter

2.5.3 หลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ

พาวเวอร์ซัพพลาย ทั้งแบบ AT และ ATX นั้นมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกันคือรับ แรงดันไฟจาก 220-240 โวลต์ โดยผ่านการควบคุมด้วยสวิตช์ สำหรับ AT และเมนบอร์ด แล้วส่ง แรงดันไฟส่วนหนึ่งกลับไปที่ช่อง AC output เพื่อเลี้ยงตัวมอเตอร์ และจะส่งแรงดันไฟ 220 โวลต์ อีกส่วนหนึ่งเข้าสู่หน่วยการทำงานที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟกระแสตรง 300 โวลต์ โดยไม่ผ่านหม้อแปลงไฟระบบนี้เรียกว่า (Switching power supply) และผ่านหม้อ แปลงที่ทำหน้าที่แปลงไฟตรงสูงให้เป็นไฟตรงต่ำ โดยจะผ่านชุดอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำหนด แรงดันไฟฟ้าอีกชุดหนึ่งแบ่งให้เป็น 5 และ 12 ก่อนที่จะส่งไปยังสายไฟและตัวจ่ายต่างๆ โดย ความสามารถพิเศษของ Switching power supply ก็คือ มีชุด Switching ที่จะทำการตัดไฟเลี้ยง ออกทันทีเมื่อมีอุปกรณ์ที่โหลดไฟตัวใดตัวหนึ่งชำรุดเสียหายหรือช็อตนั่นเอง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ

โดย Puwadol Terasilp ได้ศึกษาความคุ้มค่าในการนำ LED มาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอาคารพักอาศัย เริ่มจากการสร้างโคมไฟ LED ให้มีลักษณะการกระจายแสงใกล้เคียงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยนำ LED มาต่อขนานกันในจำนวนที่ได้จากค่าความส่องสว่างที่กำหนดไว้ในช่วง 450 Lumen และติดตั้งภาคจ่ายไฟแบบ Switching Power Supply ที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการวัดค่าความส่องสว่าง โดยใช้วิธีวัดการกระจายแสงของดวงโคมแบบหัวเดียวเคลื่อนที่ และนำผลที่ได้มาสร้างกราฟการกระจายแสงเพื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อโคม LED มีการกระจายแสงและความส่องสว่างใกล้เคียงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แล้ว จึงทำการวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงโดยรวมอุปกรณ์ประกอบต่างๆ เพื่อนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบ วิเคราะห์ปริมาณการส่องสว่าง ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ค่าใช้จ่ายในการ จัดหาอุปกรณ์ และปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ไปโดยคิดเป็นยูนิต (Unit) และทำการวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าของ LED และหลอดฟลูออเรสเซนต์จากต้นทุนในการจัดหามาใช้งานและค่าไฟฟ้าในช่วงอายุงาน 50,000 ชม.

2.6.2 งานวิจัยต่างประเทศ

โดย Tang-Jen Liu ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างของไดโอดเปล่งแสง 38 ดวงต่อแบบอนุกรมกับสวิตช์ 14 ตัว เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตกคร่อมตามระดับแรงดันไฟฟ้าผ่านสายไฟ นอกจากนี้การส่องสว่างที่เกิดจากแสงจะไม่เสถียรในขณะที่แสงถูกใช้เป็นสัญญาณบนารีในช่วงเวลาเดียวกันในการควบคุมการส่งข้อมูลของสวิตช์ตัวอื่น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยและการออกแบบวงจรของระบบการทำงานของป้ายแสดงผล 7-Segments เพื่อพัฒนางจรให้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีขึ้น โดยมีขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน ดังนี้

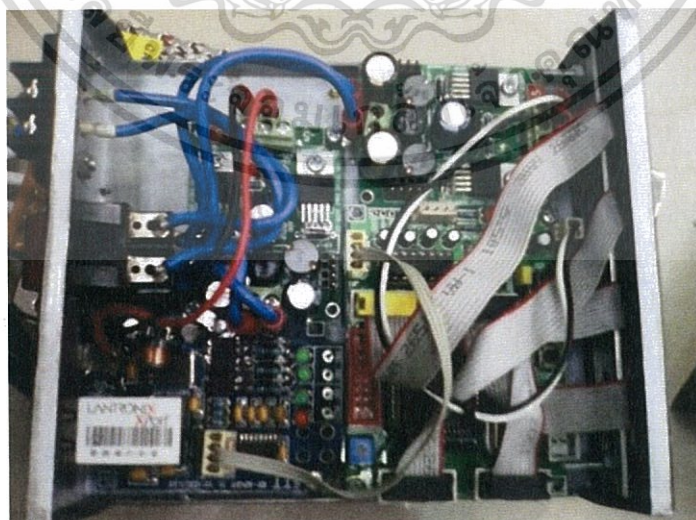
- 3.1 ศึกษาการออกแบบป้ายแสดงผล 7-Segments แบบเดิม
- 3.2 การออกแบบวงจรและเขียน Schematic
- 3.3 การเขียน Schematic ของวงจรทั้งระบบ โดยใช้โปรแกรม Altium Designer

3.1 การศึกษาการออกแบบป้ายแสดงผล 7-Segments แบบเดิม

เป็นส่วนของการศึกษาลักษณะของวงจรแบบเก่า เพื่อหาข้อเด่นข้อด้อยของบอร์ดแบบเดิมที่จะนำไปพัฒนาในการทำโครงงานพิเศษนี้ให้มีข้อเสียน้อยที่สุด พบว่าในการออกแบบป้ายแสดงผล 7-Segments แบบเดิมเป็นการแยกส่วนชุดควบคุมและส่วนการแสดงผลไว้แยกกันจึงทำให้เปลืองค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเป็นจำนวนมาก

3.1.1 การศึกษาส่วนชุดควบคุมวงจรแสดงผล

เป็นการศึกษาการออกแบบของส่วนควบคุมวงจรแสดงผลจากวงจรแบบเก่า เพื่อหาข้อด้อยของวงจรส่วนนี้ และนำไปพัฒนาต่อไป

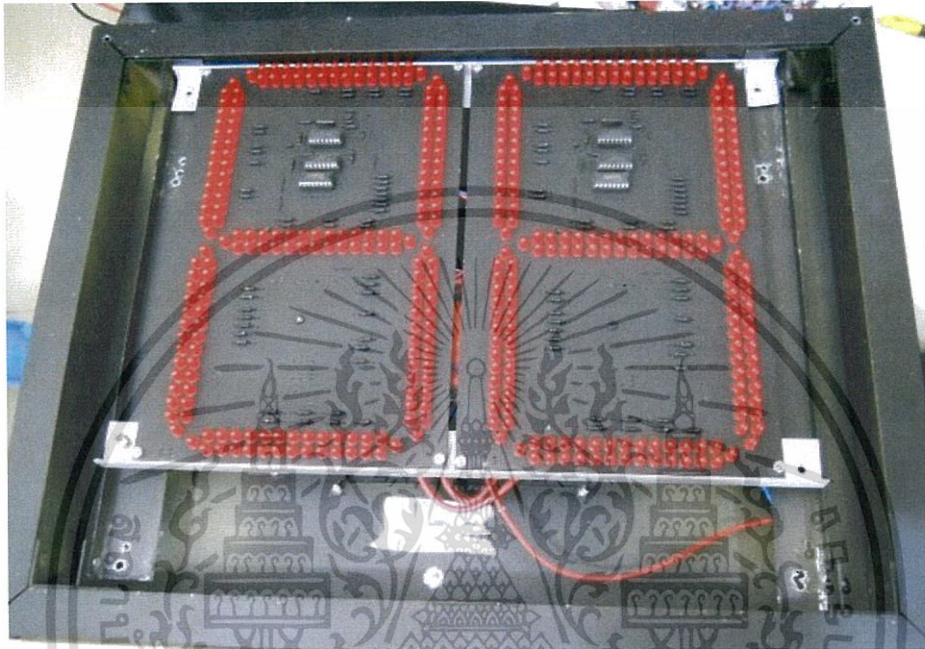


รูปที่ 3.1.1 วงจรควบคุมป้ายแสดงผล 7-Segments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การศึกษาส่วนชุดวงจรแสดงผล

เป็นส่วนแสดงผลของป้ายแสดงผล 7-Segments แบบเก่า ซึ่งจะเป็นการต่อกันแบบ 2 digit ทำให้มีขอบเขตจำกัดในการทำงาน ที่สำคัญเป็นการไม่ตอบสนองความต้องการของลูกค้ามากนัก



รูปที่ 3.1.2 แสดงป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การศึกษาการออกแบบวงจรและการเขียน Schematic

การออกแบบวงจรและการเขียน Schematic เป็นส่วนของการออกแบบวงจรโดยใช้โปรแกรม Altium Designer ในการเขียน Schematic ในการออกแบบวงจร

3.2.1 การศึกษาการออกแบบวงจรแสดงผล 7-Segments

ในการออกแบบวงจรนี้ได้ใช้ LED SMD (Surface Mounted Device) แบบ 2 สี คือ สีแดงและสีเขียว จำนวน 630 ตัว/Digit หรือ 90 ตัว/Segments โดยในการออกแบบนั้น ใน 1 node ได้นำ LED ต่อกันแบบอนุกรมกัน 5 ตัว และนำไปต่อแบบอนุกรมกับตัวต้านทาน (R) ที่ตัวต้านทาน $R = 100 \Omega$ จำนวน 1 ตัว จากนั้นจึงนำไปต่อแบบขนานกับ node ต่อไปเราสามารถนำเอาตัวต้านทานมาต่อแบบอนุกรม เพื่อจำกัดกระแสที่เหมาะสมให้กับตัว LED นั้นเอง

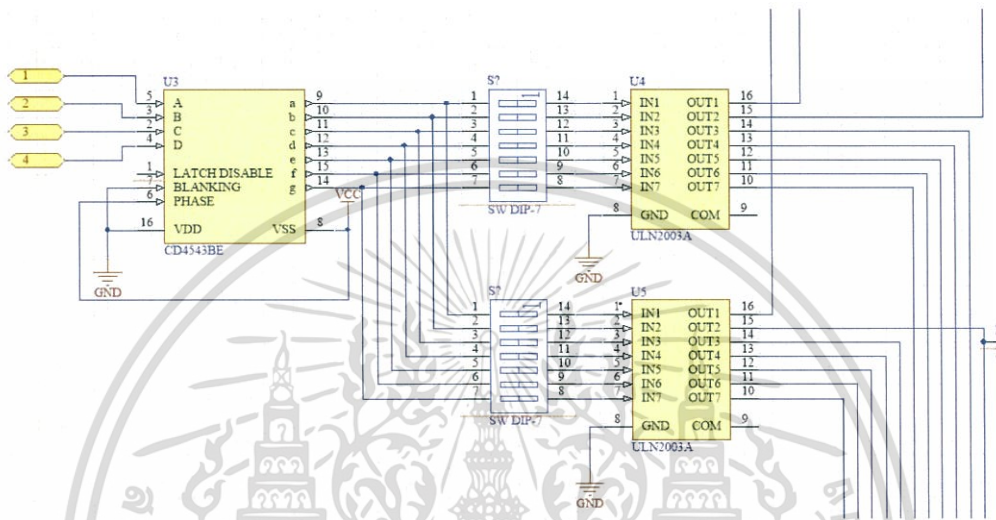


รูปที่ 3.2.1 แสดงการออกแบบวงจรแสดงผล 1 Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การศึกษาการออกแบบวงจรขับ LED

ในการศึกษาการออกแบบวงจรขับ LED นี้ผู้ทำการทดลองได้เลือกใช้ ไอซี CD4543 จำนวน 1 ตัว ในการรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 และเพิ่มกระแสในการขับ LED โดยใช้ไอซี ULN2003A จำนวน 2 ตัว เพื่อขับ LED 2 สีแยกกันระหว่างสีแดงและสีเขียว ให้ทำงานตามคำสั่งที่ป้อน

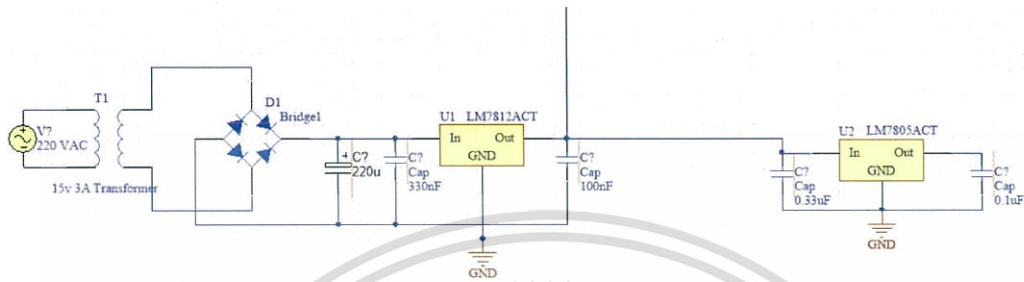


รูปที่ 3.2.2 แสดงการออกแบบวงจรขับ LED 2 สี โดยใช้ ไอซี CD4543 และไอซี ULN2003A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การศึกษาการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟลงในบอร์ด เพื่อสะดวกต่อการติดตั้ง และง่ายต่อการติดตั้งนั่นเอง โดยใช้ไอซี LM7812 ในการออกแบบเพื่อให้ได้เอาต์พุตจาก 220 VAC to 12 VDC เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับ LED ทำงาน และใช้ไอซี LM7805 ในการออกแบบเพื่อให้ได้เอาต์พุตจาก 12 VDC to 5 VDC เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับไอซีตัวอื่นๆ ในการทำงาน

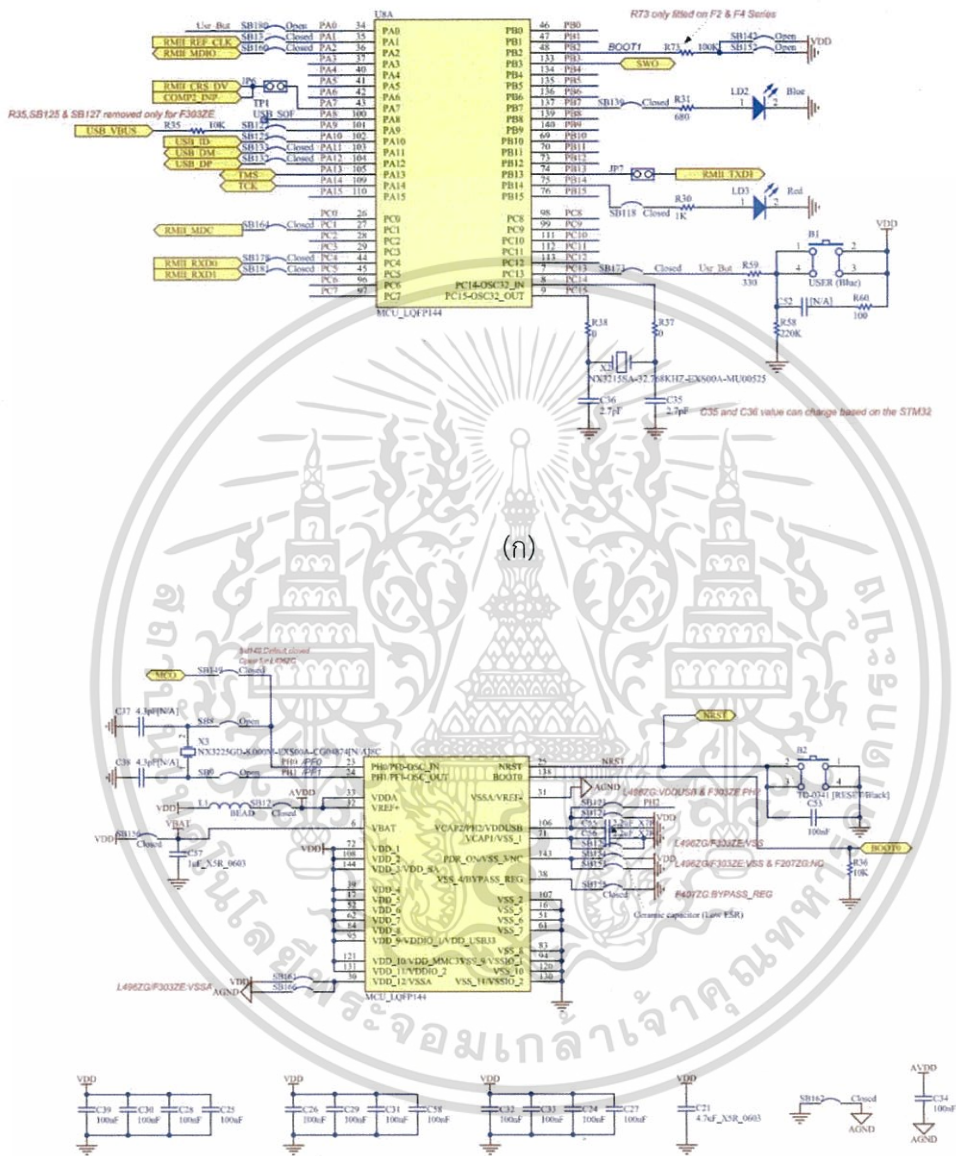


รูปที่ 3.2.3 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟ 220 VAC to 12 VDC และวงจรจ่ายไฟ 12 VDC to 5 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การศึกษาการออกแบบวงจรควบคุม

ในการศึกษาการออกแบบวงจรควบคุมนี้ ได้นำวงจร MCU ของบอร์ด STM32 มาอ้างอิงในการออกแบบ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบวงจรควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.2.4



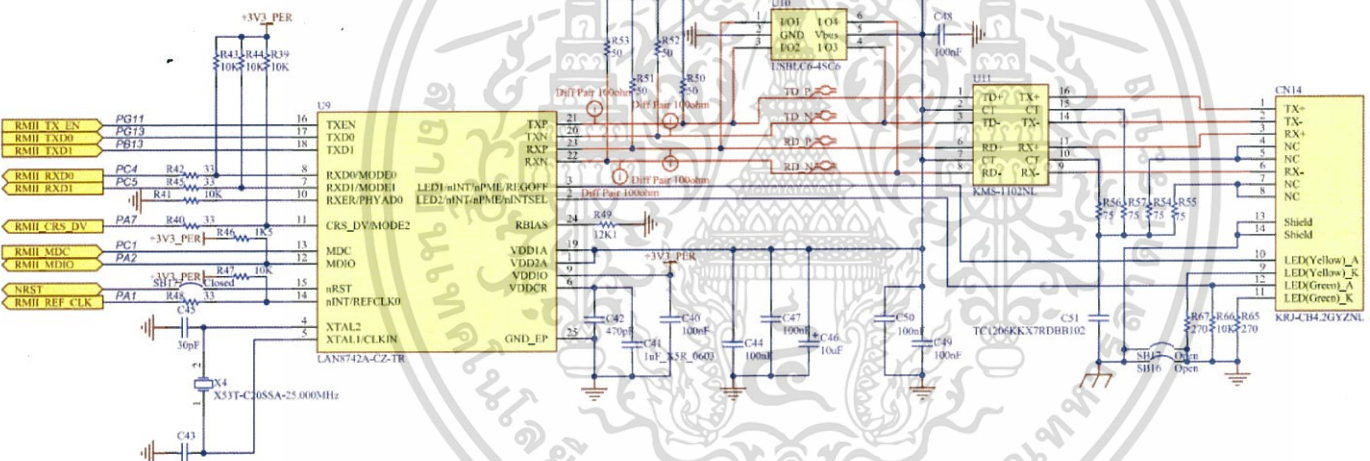
(ก)

รูปที่ 3.2.4 (ก) และ (ข) แสดงการออกแบบวงจรควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การศึกษาการออกแบบวงจร Ethernet PHY with RJ45 connector

ในการศึกษาการออกแบบวงจร Ethernet PHY with RJ45 connector นี้ได้นำวงจร Ethernet PHY with RJ45 connector ของบอร์ด STM32 มาอ้างอิงในการออกแบบ ดังรูปที่ 3.2.5

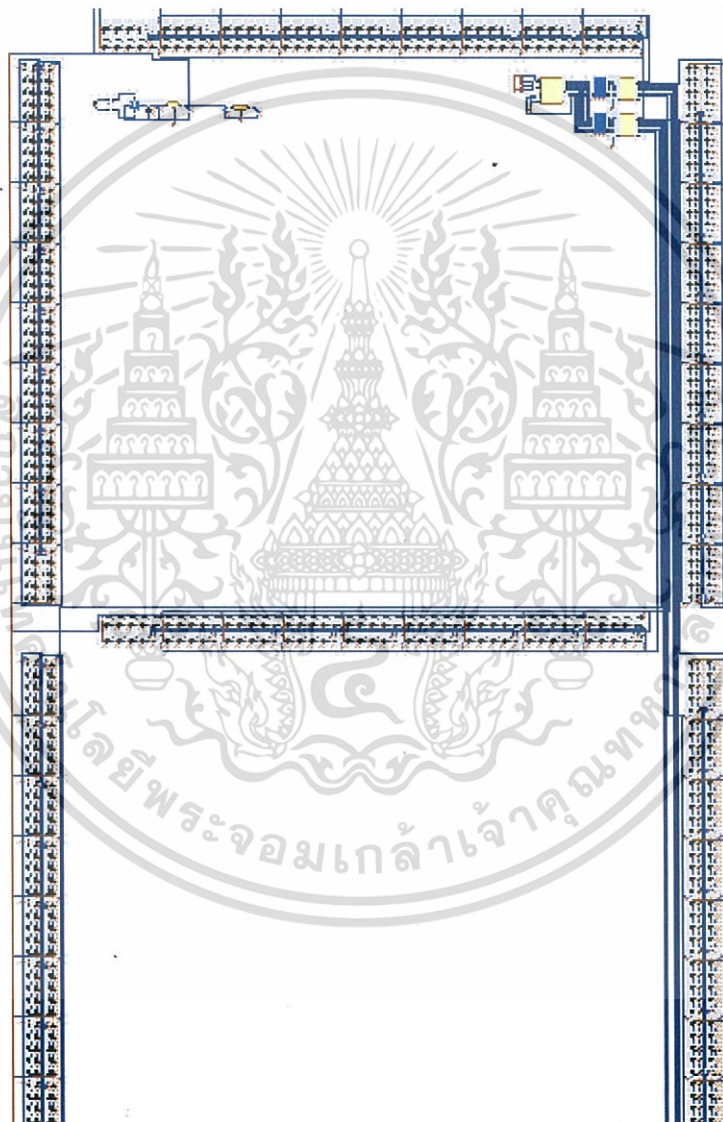


รูปที่ 3.2.5 แสดงการออกแบบวงจร Ethernet PHY with RJ45 connector ภายในตัวบอร์ด

3.3 การศึกษาการเขียน Schematic ของวงจรทั้งระบบ โดยใช้โปรแกรม Altium Designer

เป็นการเขียน Schematic ของวงจรทั้งระบบ ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ ดังนี้

1. วงจรแหล่งจ่ายไฟ 220 VAC to 12 VDC และวงจรจ่ายไฟ 12 VDC to 5 VDC
2. วงจรขับ LED (Light Emitting Device)
3. วงจรแสดงผล



รูปที่ 3.3.1 แสดงการเขียน Schematic ของวงจรทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

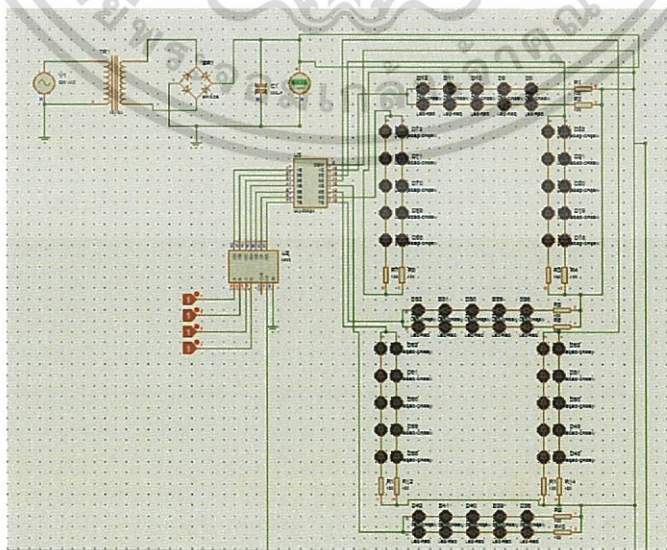
ผลการทดลองของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบกระบวนการทำป้ายแสดงผลตัวเลข 7-Segments โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 ในการควบคุมการทำงานของวงจรขับแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ LED แต่ละ Segments ทำงานตามคำสั่งของโปรแกรม STM32CubeMX ซึ่งในวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจร 3 ส่วนดังนี้

- 4.1 วงจรแสดงผล 7-Segments
- 4.2 วงจรขับ LED (Light Emitting Diode)
- 4.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจาก 220 โวลต์ เป็นไฟกระแสตรง 12 โวลต์
- 4.4 ทดสอบการใช้งานบอร์ด STM32F767ZI Nucleo-144

4.1 วงจรแสดงผล 7-Segments

4.1.1 การทำงานของวงจรแสดงผล LED 7-Segments

เป็นวงจรแสดงผล LED 7-Segments เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแสดงผล เช่นเดียวกับหลอดแสดงผล LED ทั่วไป แต่ต่างตรงที่หลอดแสดงผล LED 7 ส่วน เป็นการนำเอาหลอดแสดงผล LED จำนวน 7 ส่วนมาต่อกันเป็นรูปตัวเลข เพื่อนำมาแสดงผลเป็นตัวเลข 0 ถึง 9 โดยในบทความนี้จะพูดถึงการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหลอดแสดงผล LED 7 ส่วน และการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 ควบคุมการทำงานของหลอดแสดงผล LED 7 ส่วน



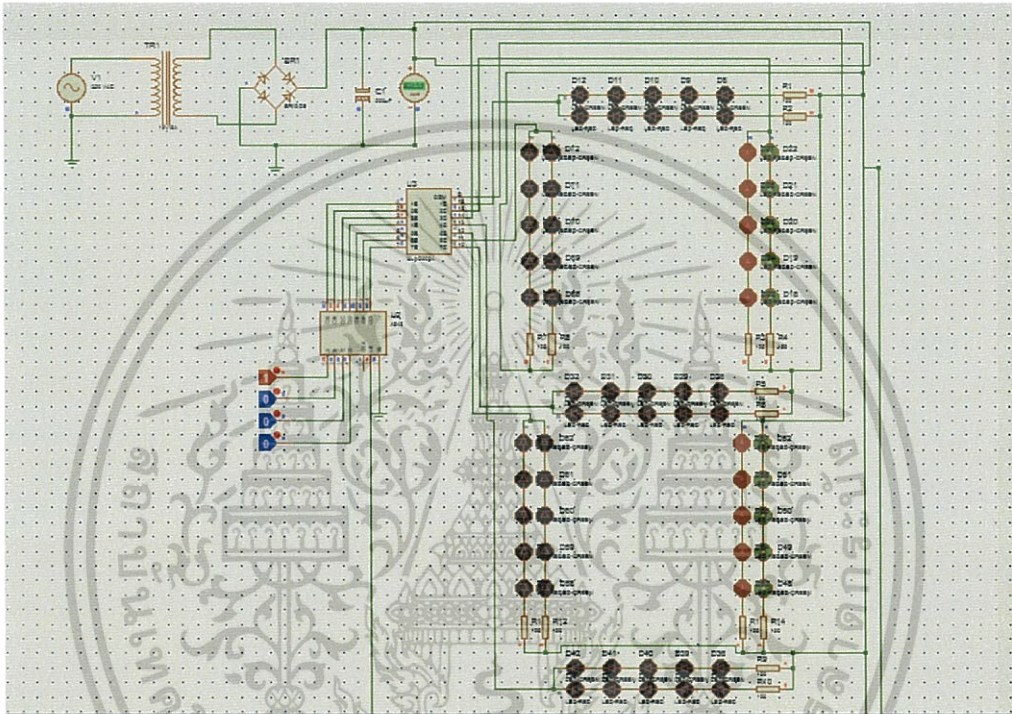
รูปที่ 4.1.1 การทำงานของวงจรแสดงผล LED 7-Segments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรขับ LED (Light Emitting Diode)

4.2.1 การทำงานของวงจรขับ LED

วงจรขับ LED ได้ไอซี CD4543 จำนวน 1 ตัว ในการรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 และเพิ่มกระแสในการขับ LED โดยจะใช้ไอซี ULN2003A จำนวน 2 ตัว เพื่อขับ LED 2 สี แยกกันระหว่างสีแดงและสีเขียว ให้ทำงานตามคำสั่งที่ป้อน

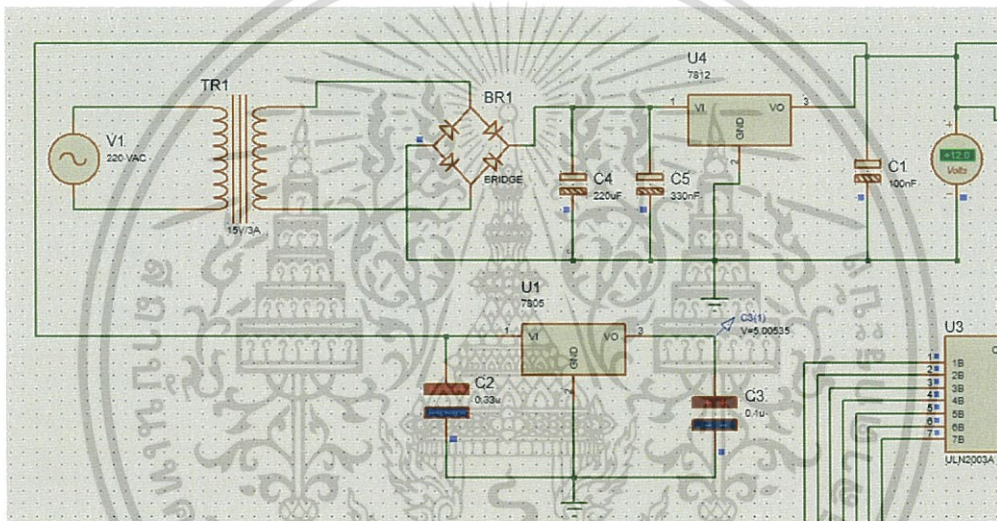


รูปที่ 4.2.1 การทำงานของวงจรขับ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจาก 220 โวลต์ เป็นไฟกระแสตรง 12 โวลต์

ในงานวิจัยนี้ต้องการใช้แหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์ DC โดยการแปลงจากไฟบ้าน 220 โวลต์ AC เพื่อนำแรงดันและกระแสไฟฟ้าไปเลี้ยงการทำงานให้กับวงจรขับ LED (light emitting diode) และวงจรแสดงผล 7-Segments อีกด้วย จากการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟพบว่าสามารถจ่ายไฟบ้านเข้าตัวบอร์ดได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องมีบอร์ดแหล่งจ่ายไฟแยกออกไป จากวงจรจะเห็นว่าได้ทำการจ่ายไฟ 220 VAC ผ่านไอซี LM7812 ทำหน้าที่แปลงแรงดันที่สูงกว่าให้เป็นแรงดันที่ต่ำกว่าและเรียบคงที่ เมื่อเราได้แหล่งจ่ายไฟ 12 VDC แล้วจึงจ่ายไฟไปยัง ไอซี LM7805 ทำหน้าที่เป็นแปลงไฟจาก 12 VDC เป็น 5 VDC ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1



รูปที่ 4.3.1 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจาก 220 โวลต์ เป็นไฟกระแสตรง 12 โวลต์ และแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ทดสอบการใช้งานบอร์ด STM32F767ZI Nucleo-144

ตัวบอร์ดแยกเป็น 2 ส่วนคือ

1. เครื่องโปรแกรม ST link V2 ใช้สำหรับโปรแกรม MCU บนบอร์ดเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB หรือใช้เป็นเครื่องโปรแกรมให้กับบอร์ดอื่น โดยใช้ Pin Header ที่อยู่ด้านข้าง
2. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F401RET6 ขาต่างๆ ออกแบบมาให้ สามารถใช้ร่วมกับ Shield ของ Arduino ได้ ขาที่เหลือจัดเป็น Pin Header ด้านข้างของบอร์ด ปุ่มกดสำหรับรับค่าจากผู้ใช้ และปุ่ม reset ดังภาพ

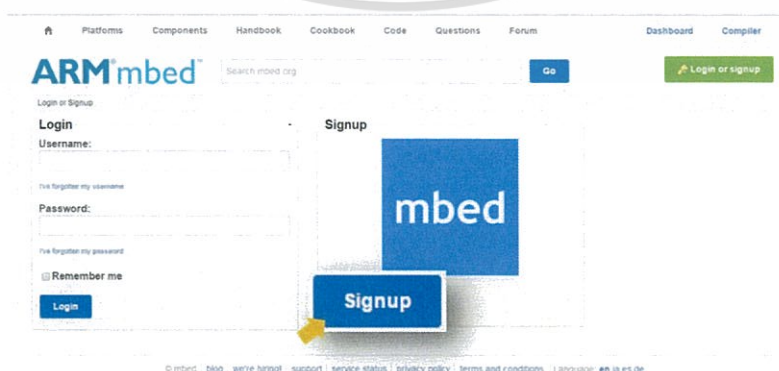
เริ่มใช้งาน STM32 Nucleo



รูปที่ 4.4.1 แสดงหน้าเว็บไซต์ <http://developer.mbed.org/>

ขั้นตอนที่ 1 Login หรือสมัครสมาชิก

ในขั้นแรก เราต้องเข้าสู่ชื่อเข้าใช้ หรือถ้าใช้งานครั้งแรกให้สมัครสมาชิกก่อน โดยเข้าเว็บไปที่ <http://developer.mbed.org/> คลิกที่ Login or signup สำหรับผู้ที่ใช้งานครั้งแรก โดยกดที่ Signup



รูปที่ 4.4.2 แสดงวิธีการสมัครสมาชิกเว็บไซต์ <http://developer.mbed.org/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Let's get started!

Just one question first, though.

Have you ever signed up on developer.mbed.org before?

Complete the form below to sign up to mbed!

Signup

Enter your email address:

I already have an account!

Choose a username:

Choose a password:

Confirm your password:

First name:

Last name:

I agree to the terms and conditions

Search...

Compiler

BEEJUNGKO

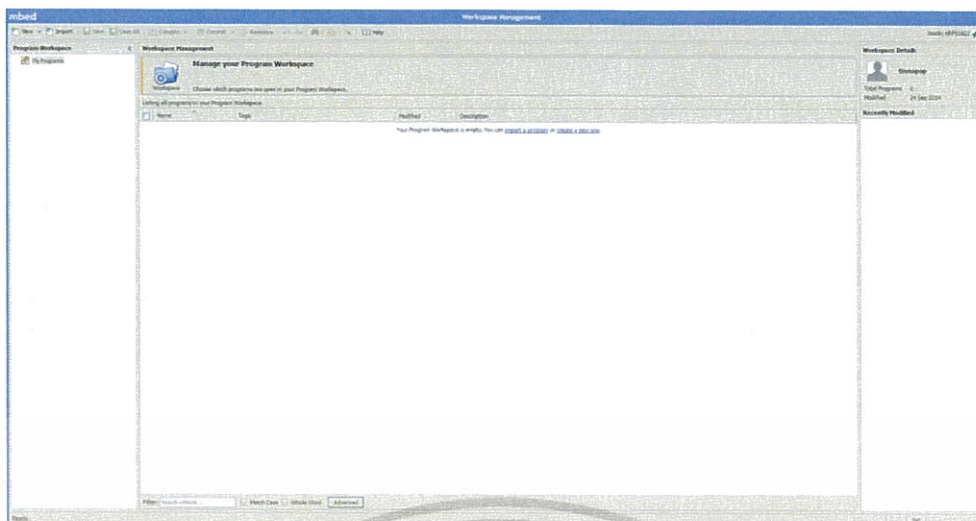
รูปที่ 4.4.3 แสดงข้อมูลที่ต้องกรอกในการสมัครสมาชิก <http://developer.mbed.org/>

กรอกรายละเอียดผู้ใช้ ทำเครื่องหมายหน้าหัวข้อ I agree to the term and condition จากนั้นกดปุ่ม Signup หรือถ้าเป็นบัญชีสมาชิกของ mbed อยู่แล้ว ใส่ชื่อล็อกอิน และพาสเวิร์ด จากนั้นกด Login

รูปที่ 4.4.4 แสดงหน้าเว็บ <http://developer.mbed.org/> สำหรับการ Compiler

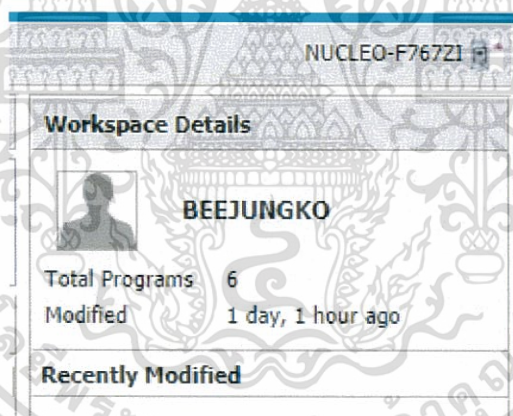
เมื่อล็อกอินแล้วจะปรากฏชื่อล็อกอินที่ด้านบนหน้าเว็บกดปุ่ม Compiler เพื่อเข้าสู่หน้าโปรแกรม Compiler ของ mbed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.5 แสดงหน้าเว็บไซต์ Compiler

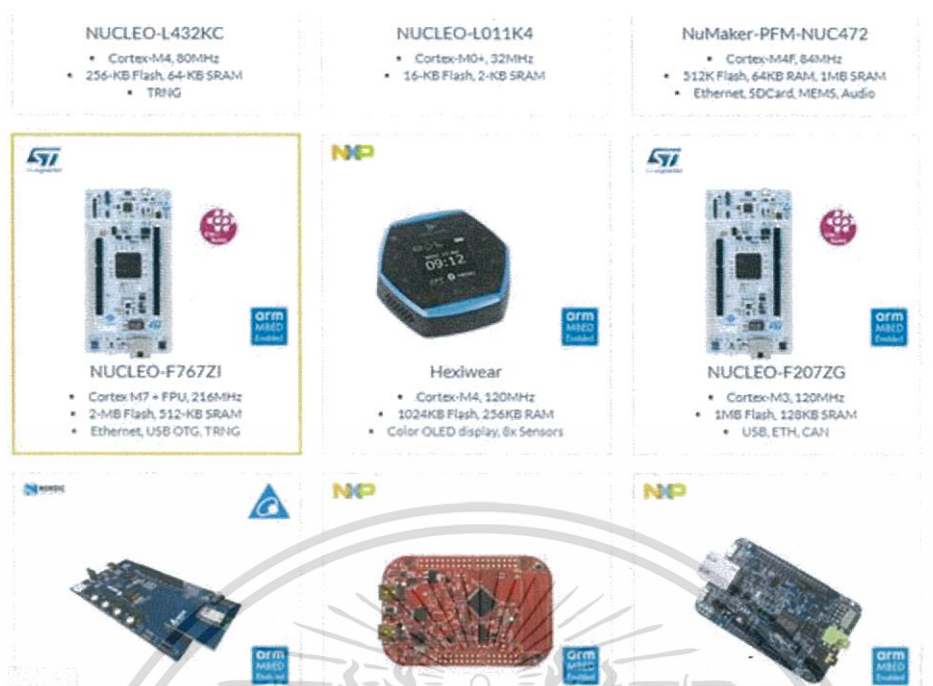
ขั้นตอนที่ 2 เลือกบอร์ดที่ต้องการใช้



รูปที่ 4.4.6 แสดงแถบบอร์ดที่เลือกใช้งาน

ให้ผู้ใช้สังเกตที่มุมบนขวาของหน้าเว็บแสดงข้อความ “No device select” คือยังไม่ได้เลือกบอร์ดใช้งาน หากขึ้นชื่อบอร์ดแสดงว่าเลือกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.7 แสดงบอร์ดที่มีให้เลือกใช้งานในเว็บไซต์ <http://developer.mbed.org/platforms/> ให้ผู้ใช้เลือกบอร์ดใช้งานโดยเข้าไปที่ <http://developer.mbed.org/platforms/> ให้เลือกบอร์ด ST Nucleo F767ZI ดังภาพด้านบน



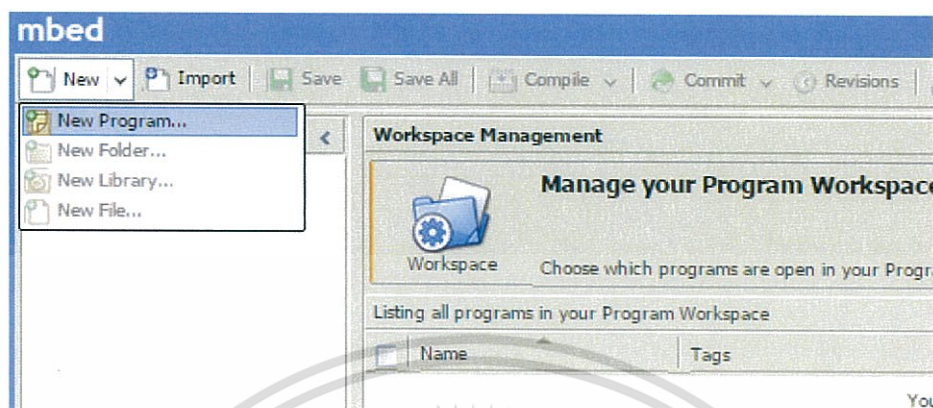
รูปที่ 4.4.8 แสดงบอร์ดที่เลือก

จากนั้นจะเข้าสู่หน้าข้อมูลของบอร์ด Nucleo F767ZI ให้กดปุ่ม “Add to your mbed Compiler” จะเห็นข้อความ “Platform ‘ST Nucleo F767ZI’ is now added to your account!” ด้านบน แสดงว่าผู้ใช้ได้ทำการเลือกบอร์ดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

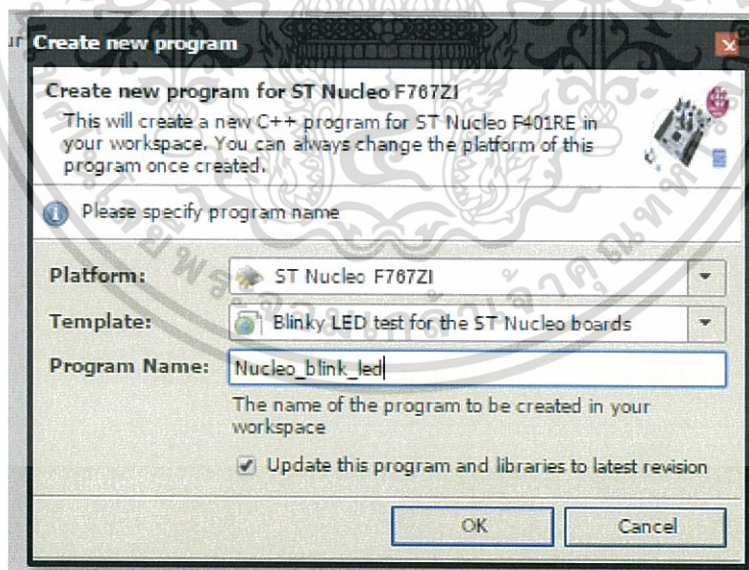
ขั้นตอนที่ 3 เขียนโปรแกรม

กลับมาที่หน้า Compiler เลือกที่หัวข้อ New > New Program... เพื่อสร้างโปรเจกใหม่



รูปที่ 4.4.9 แสดงการสร้างโปรเจกใหม่ที่หน้า Compiler

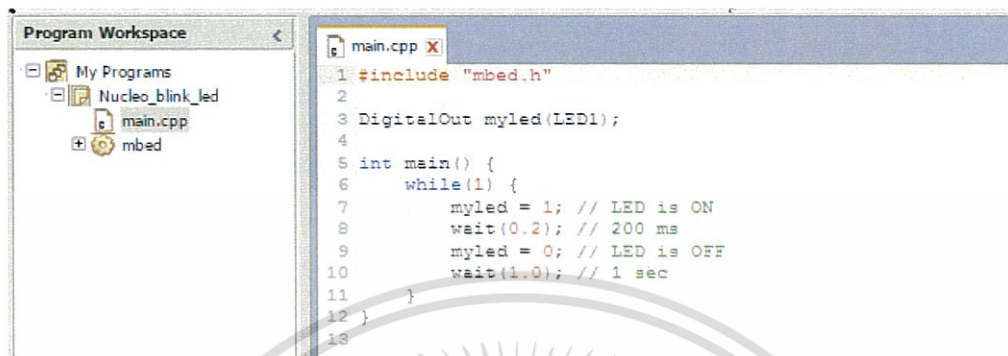
เว็บจะแสดงหน้าต่าง Create new program ที่ช่อง Platform เลือกเป็น ST Nucleo F767ZI ในช่อง Template เลือกเป็น “Blinky LED test for ST Nucleo board” โดยโปรแกรมนี้ทำไฟกระพริบ LED บนบอร์ด ตั้งชื่อ Program Name จากนั้นกดปุ่ม OK



รูปที่ 4.4.10 แสดงหน้าต่าง Create new program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะแสดงหน้าโค้ดโปรแกรมจะเห็นได้ว่าในไฟล์ main.cpp กำหนดให้ขา LED1 คือขาที่ PA5 เป็น Output จากนั้นกำหนดให้ขา LED1 เป็น High จากนั้น Delay 0.2 วินาที กำหนดขา LED1 เป็น Low และ Delay 1 วินาที



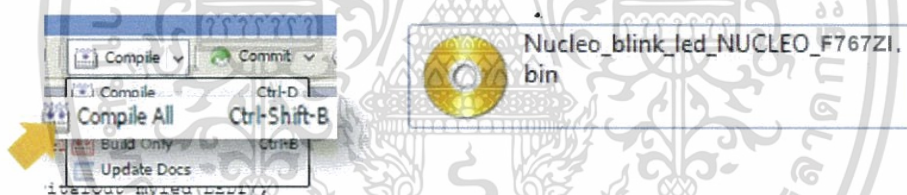
```

1 #include "mbed.h"
2
3 DigitalOut myled(LED1);
4
5 int main() {
6     while(1) {
7         myled = 1; // LED is ON
8         wait(0.2); // 200 ms
9         myled = 0; // LED is OFF
10        wait(1.0); // 1 sec
11    }
12 }
13

```

รูปที่ 4.4.11 แสดงหน้าโค้ดโปรแกรม

จากนั้นกดปุ่ม Compile All ถ้าไม่ข้อผิดพลาดอะไร จากหน้าเว็บจะให้ดาวน์โหลดไฟล์ Nucleo_blink_led_NUCLEO_F767ZI.bin

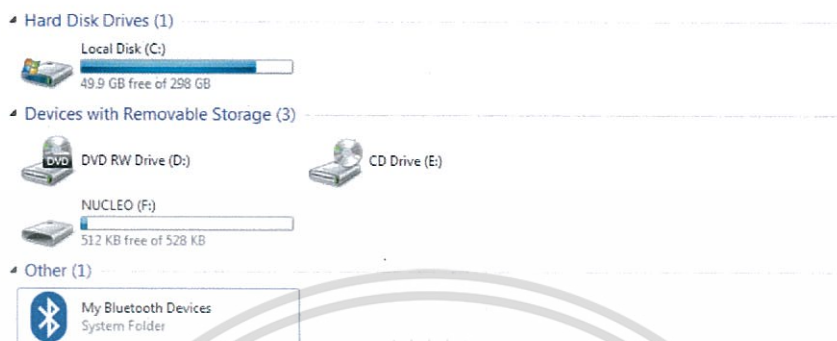


รูปที่ 4.4.12 แสดงแถบปุ่ม Compile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

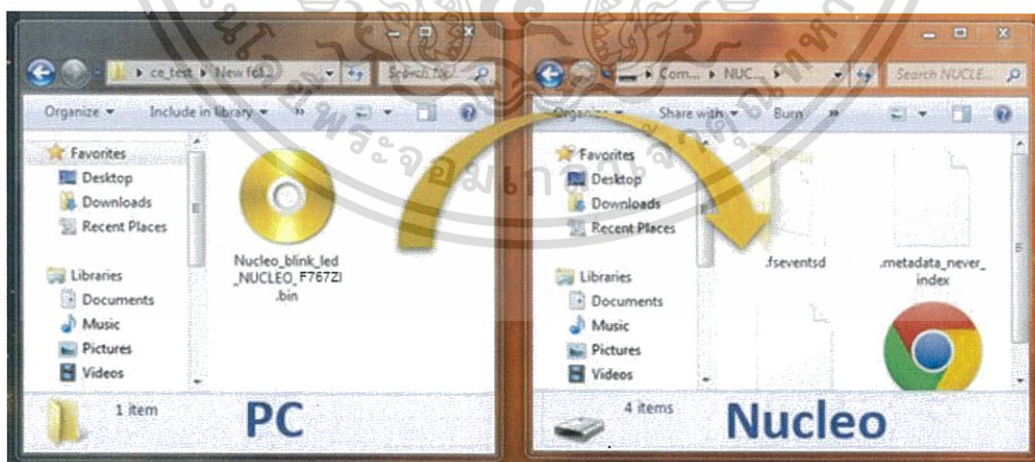
ขั้นตอนที่ 4 โปรแกรมบอร์ด Nucleo

เชื่อมต่อบอร์ด Nucleo ผ่านพอร์ต USB เข้าคอมพิวเตอร์ เมื่อดูที่ My Computer จะเห็นบอร์ดเป็น Drive ตัวหนึ่ง



รูปที่ 4.4.13 แสดง Drive ของบอร์ดที่หน้าต่าง My Computer

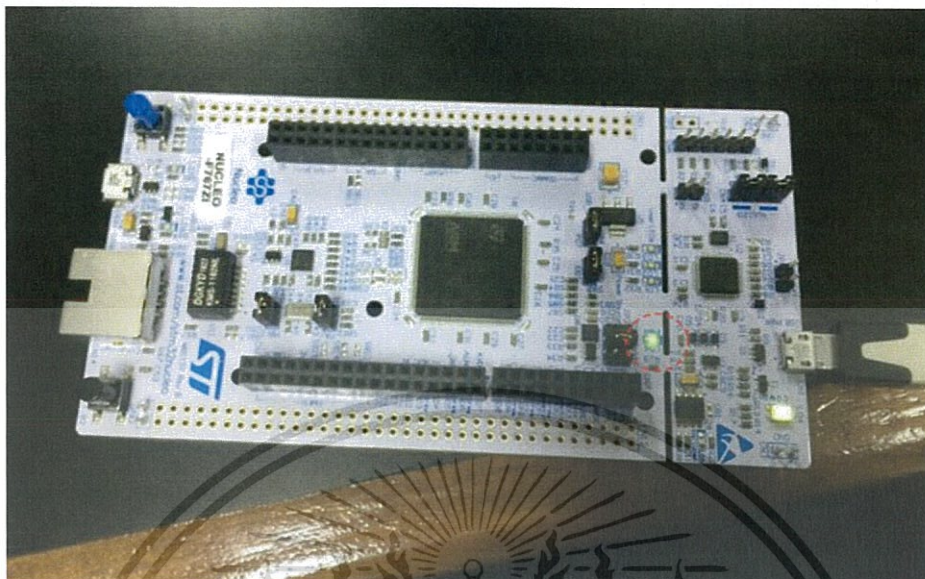
คัดลอกไฟล์บนเครื่องไปยังบอร์ด



รูปที่ 4.4.14 แสดงการ Copy ไฟล์ที่ Compile มาลงไปในตัวบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าโปรแกรมไฟกระพริบที่ผู้ใช้โปรแกรมลงไปบอร์ดได้ทำงานแล้ว



รูปที่ 4.4.15 การทำงานของบอร์ดที่ได้ทำการโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินงานในเรื่องการออกแบบบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 หลัก ด้วยไดโอดเปล่งแสง 2 สี สามารถสรุปได้ว่าในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจร 3 วงจรด้วยกัน คือ 1) วงจรแสดงผล 7-Segments โดยใช้ LED 2 สี ชนิด SMD จำนวน 630 ตัว ในการออกแบบ 2) วงจรขับ LED โดยใช้ไอซี CD4543 ในการรับข้อมูล BCD จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นตัวเลข และส่งต่อไปยังไอซี ULN2003A เพื่อเพิ่มกระแสขับให้กับ LED 3) วงจรแหล่งจ่ายไฟ 220 VAC ไปยัง 12 VDC โดยใช้หม้อแปลง 15V 3A และใช้ไอซี 7812 ในการแปลงไฟ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.2.1 เนื่องจากโปรแกรม Proteus และ Altium Desingner ไม่สามารถทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์บางรุ่นได้ทำให้เกิดปัญหาในการใช้งานโปรแกรมที่ไม่มีเสถียรภาพและเกิดข้อผิดพลาดระหว่างการทำงาน จึงทำให้การทำงานล่าช้า

5.2.2 การเขียน Schematic และการ Simulation ของวงจร อุปกรณ์บางชนิดไม่มี library ให้จึงต้องทำการสร้าง library เอง ทำให้ใช้เวลาในการสร้างค่อนข้างนาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงานนี้อย่างละเอียดก่อนการดำเนินงาน

5.3.2 ในการทำโครงงานนี้ควรศึกษาโปรแกรม Proteus , Altium Desingner และ STM32cubeMX อย่างละเอียด หรือควรมีผู้ให้คำปรึกษาและเชี่ยวชาญด้านนี้โดยตรง

5.3.3 ควรมีการประยุกต์ใช้โครงงานนี้ทางภาคอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิสิทธิ์ แผ้วกระโทก. 2015. HOW TO INSTALL MOSQUITTO MQTT BROKER ON RPI2 (Online). Available : <http://raspberry-pi-th.blogspot.com/2015/11/how-to-install-mosquitto-mqtt-broker-on.html>.
- [2] ดร.แอนดริสแตนฟอร์ด คลาค ของ ไอบีเอ็ม และ อเลน นิฟเพอร์ ของ Arcom (now Eurotech). 1999. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) (Online). Available : <http://www.mindphp.com/3343-mqtt.html>.
- [3] Tanakorn Piamsin. 2017. ติดตั้ง MQTT SERVER (Online). Available : <https://medium.com/@tanakornpiamsin7-mqtt-server-d31bcae85d0d>.
- [4] Copyright ThaiEasyElec.com (Venus Supply Company Limited, Thailand). 2012. เรียนรู้และฝึกทดลองไปกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 Nucleo จากค่าย STMicroelectronics (Online). Available : <https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/getting-started-with-stm32-nucleo-microcontroller-board-ch-1.html>.
- [5] Harish Verma. 2017. NUCLEO-F746ZG Nucleo Dev Board (Arduino Compatible) (Online). Available : <https://www.evelta.com/boards-kits-and-programmers/embedded-development-tools/arm/stm32f746zg-nucleo-dev-board>.
- [6] Kkmonstre. 2016. การใช้งานโปรแกรม STM32CubeMX สร้างโปรเจคสำหรับ STM32 MCU (Online). Available : <http://playground.cmmakerclub.com/2016/08/micro/stm32cubemx/>
- [7] เกียรติกร ราชสาร. 2558. Introduction STM32 and STM32CubeMX (แนะนำ STM32 และ STM32CubeMX) (Online). Available : <http://st-micro4u./2015/01/introduction-stm32-and-stm32cubemx.html>.
- [8] Admin. 2016. การใช้งาน STM32CubeMX STM32CubeF4 ร่วมกับ SW4STM32 (Online). Available : <https://www.micro.in.th/การใช้งาน-stm32cubemx-stm32cubef4-ร่วมกับ-sw4stm32>.
- [9] ครูทันพงษ์ ภูรักษ์. เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น (Online). Available : http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_7.pdf.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] Dansky. 2017. 7-segment LCD transistor calculations (Online). Available : <http://www.avrfreaks.net/forum/7-segment-lcd-transistor-calculations>.
- [11] Mindphp. 2559. 7 Segment (7 เซ็กเมนต์) (Online). Available : <http://www.mindphp.com/3634-7-segment-7.html>.
- [12] เจ้าของร้าน. 2559. การใช้งาน 7-Segment กับ Arduino ตอนที่ 1 7-Segment หลักระเดียว (Online). Available : <https://www.ioxhop.com/article/32/การใช้งาน-7-segment-กับ-arduino-ตอนที่-1-7-segment-หลักเดียว>.
- [13] Chaiyaporn Silawatchananai. 2014. การขับ 7-Segment LED (Online). Available : <http://aimagin.com/blog/driving-7-segments-led/?lang=th>.
- [14] Witoon Saraphadmarkying. 2556. Electronics Knowlege (Online). Available : <http://engineeringknowlege.blogspot.com/2013/03/led-7-segment-micro-controller-pic-pic.html>.
- [15] Montien Ngamkaew. 2559. เริ่มต้นใช้งาน 7-Segment (1 Digit) (Online). Available : <http://montienfocus.blogspot.com/2016/10/7-segment-1-digit.html>.
- [16] Nattawut R. 2017. หลอดไฟ LED กินไฟน้อยลงแต่สว่างมากขึ้นจริงหรือไม่ (Online). Available : <http://www.wemall.com/blog/1178/led-101/>.
- [17] TAIWAN OASIS TECHNOLOGY CO.,LTD. 2005. TO-3227BC-MRMGEE Surface Mount Device LED (Online). Available : <https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/TO-3227BC-MRMGEE.PDF>.
- [18] อาสาสมัครวิกิพีเดีย. 2018. แหล่งจ่ายไฟ (Online). Available : <https://th.wikipedia.org/w/index.php?title=แหล่งจ่ายไฟ&oldid=7592481>.
- [19] ภูวดล เทศะศิลป์. 2549. “การศึกษาความคุ้มค่าในการนำ LED มาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอาคารพักอาศัย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [20] Tang-Jen Liu. 2016. “Circuil Design of an AC-Powered LED Lamp for both illumination and Data Transmission” Electrical engineering National Cheng Kung University.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

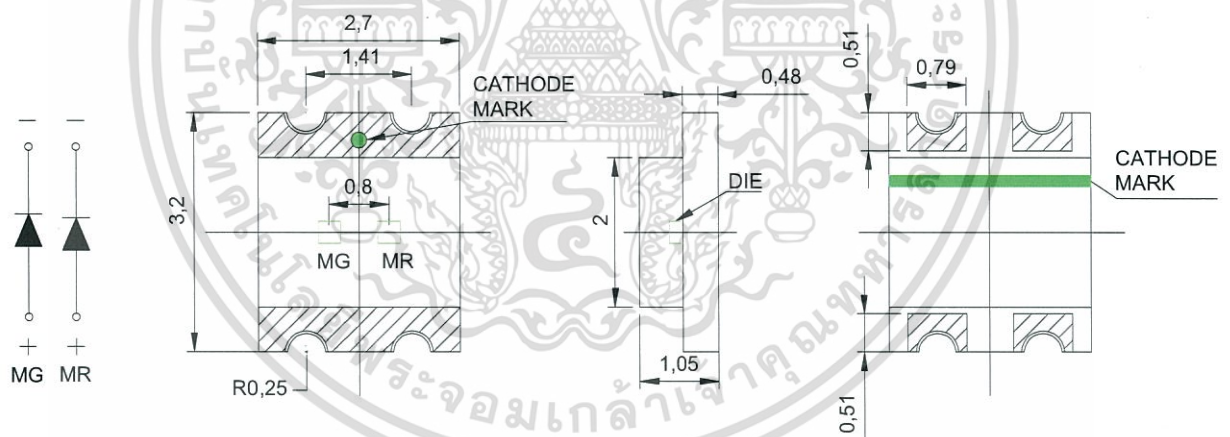


TO-3227BC-MRMGEE Surface Mount Device LED

Features

- IC compatible.
- Compatible with automatic placement equipment.
- Compatible with infrared and vapor phase reflow solder process.
- Dual-color type.
- Package in 8mm tape on 7" diameter reel.
- Lead-Free Package (According to RoHS).

Package Dimensions



Note:

1. All dimensions are in millimeters.
2. Tolerance is ± 0.1 mm unless otherwise noted.



TAIWAN OASIS

Http://www.taiwanoasis.com.tw

Technical Data

Absolute Maximum Ratings at T_A=25°C

Parameter	Maximum Rating		Unit
	MR	MG	
Peak Forward Current (1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width)	80	80	mA
Power Dissipation	75	75	mW
Continuous Forward Current	25	25	mA
Reverse Voltage	5	5	V
Operating Temperature Range	-55°C to +85°C		
Storage Temperature Range	-55°C to +105°C		
IR Reflow Soldering Profile For Lead Free Soldering	260°C		

Electrical / Optical Characteristics at T_A=25°C

Parameter	Symbol	MR			MG			Unit	Test Condition
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Luminous Intensity	I _v	51		146	51		146	mcd	I _F =20mA
Viewing Angle	2θ _{1/2}	140						deg	I _F =20mA
Dominant Wavelength	λ _d	630			572			nm	I _F =20mA
Spectral Line Half-Width	Δλ	15			15			nm	I _F =20mA
Forward Voltage	V _F	1.9	2.3		2.0	2.3	V	I _F =20mA	
Reverse Current	I _R	10			10			μA	V _R =5V



BIN CODE LIST

MR:

Luminous Intensity		Unit: mcd@20mA	
Bin Code	Min	Max	
E1	51	66	
E2	66	86	
E3	86	112	
E4	112	146	

MG:

Luminous Intensity		Unit: mcd@20mA	
Bin Code	Min	Max	
E1	51	66	
E2	66	86	
E3	86	112	
E4	112	146	

Tolerance on each Intensity Bin is $\pm 15\%$

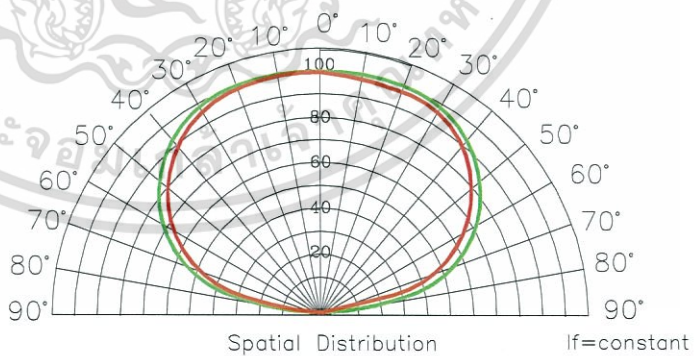
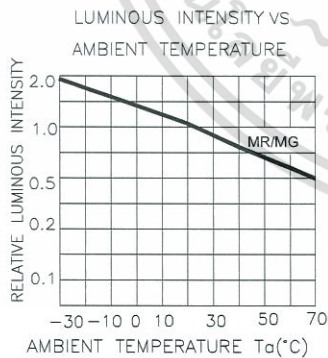
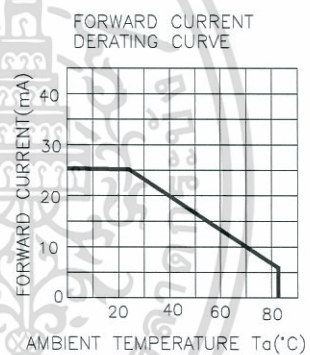
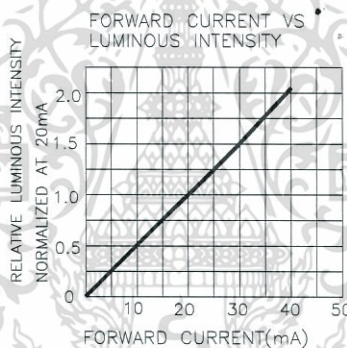
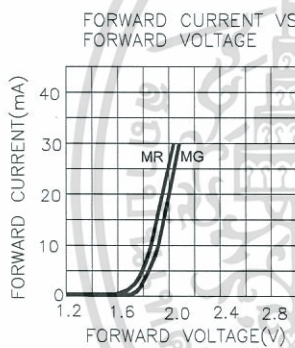
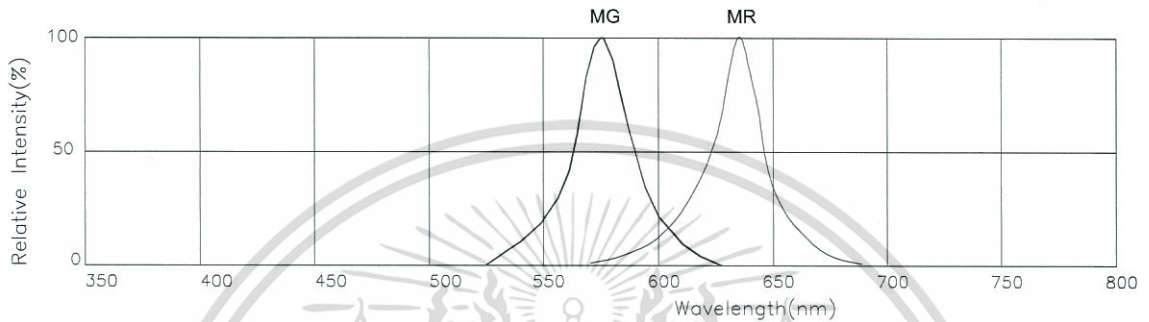
MG:

Dominant Wavelength		Unit: nm@20mA	
Bin Code	Min	Max	
570572	570	572	
572574	572	574	
574576	574	576	
576578	576	578	

Tolerance for each Dominate Wavelength Bin is $\pm 1\text{nm}$



Typical Electrical / Optical Characteristics Curves



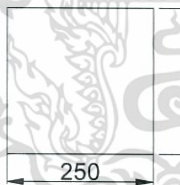
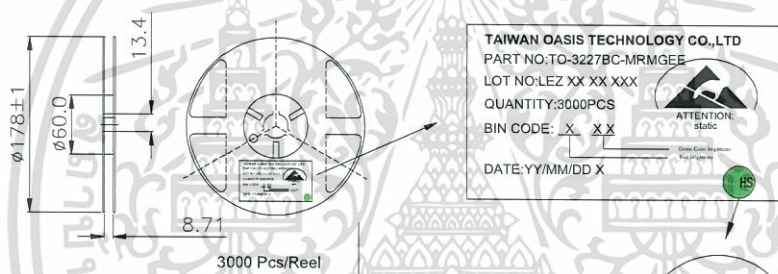
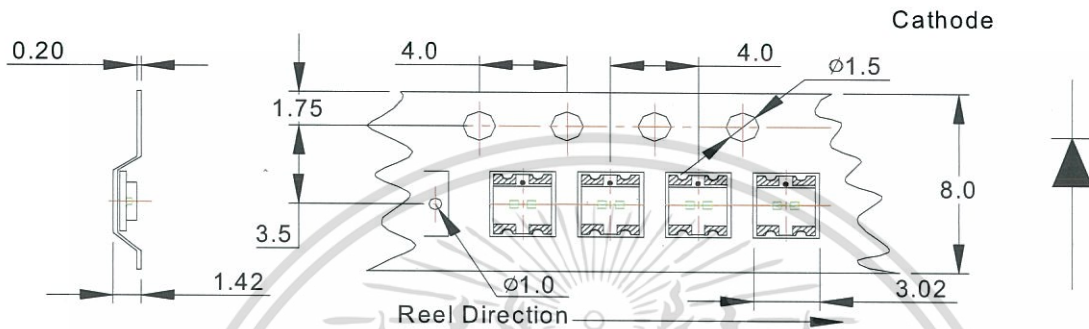


TAIWAN OASIS

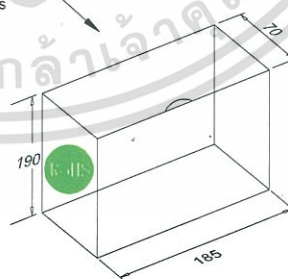
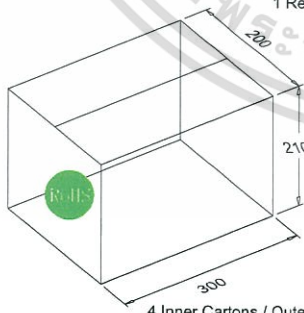
Http://www.taiwanoasis.com.tw

Technical Data

Package Dimensions of Tape and Reel (Units: mm)



Side Green





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Circuit Design of an AC-Powered LED Lamp for both Illumination and Data Transmission

Tang-Jen Liu

Abstract—This study optimizes the lighting of 38 LED chips connected in series with 14 switches to bypass parts of them according to the alternating voltage level across the LED string. Furthermore, the illumination produced by the light will not become unstable while the light is used as binary signals at the same time, to transmit data by controlling another switch.

I. INTRODUCTION

For wireless communication, light is directional and therefore suitable for point-to-point connection [1]. Besides, light cannot penetrate the wall as RF signal does, so it is easy to block the signal carried by the light leaking from the room, that helps us to know where the light is and control where the signal will go. As a result, the signals conveyed in different rooms using the same light channel will not interfere with each other. In addition, the technology implemented with light usually has lower cost and consume lower power as compared with its counterpart performed by radio frequency [2].

More intensity of the light generated by LED is available. It can be varied in digital methods and the change on the intensity can be also detected by photodiodes. Accordingly, it is proper to convert electric signals to optical ones by LED that facilitates the progress of communications in optical fibers and free space [1], [3].

Among LED products, AC LED is designed to work with alternating current directly that makes it convenient to be used at home and public buildings. However, its light intensity changes with the sinusoidal voltage level of the AC power it is supplied. In our daily lives, the LED lamps employed for illumination, no matter supplied with DC current or AC current, are not allowed having light intensity flicker like flames.

In this paper, a circuit working with white-light LED chips for illumination and optical signal generation is proposed. The circuit design makes it available to use the wall-mounted AC power directly as AC LED does [4], [5] and offer smoother light intensity than that given by AC LED. In the meantime, it can be also used to transmit data with the light without disturbing its performance for illumination.

II. METHOD

A. Lighting optimization

Fig. 1 shows the circuit in an AC LED, with the addition of a bridge rectifier, the number of the LED chips in an AC LED can be down to half, as shown in Fig. 2. LED chips on these two circuits light up only when all of them at the same loop

are turn on together. This characteristic causes the lighting to be interrupted for almost half of the period of the AC power when its voltage level becomes insufficient to maintain the lighting. The discontinuity can be diminished further if the number of the LED chips at the same loop can be adapted to the voltage level of the AC power. In other words, leading the alternating current just flows into the LED chips that the voltage level can just afford them, the lighting will continue until the voltage level is too low to just activate one LED chip.

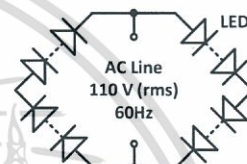


Fig. 1. Structure of AC LED.

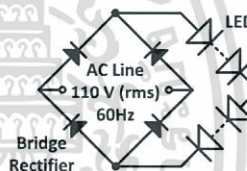


Fig. 2. A circuit for LED chips to use alternating current directly.

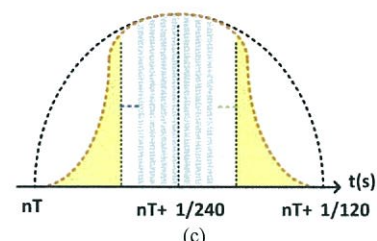
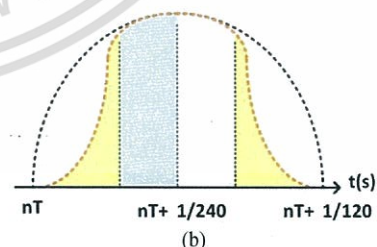
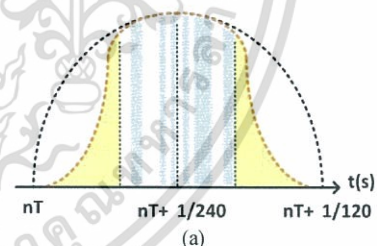


Fig. 3. Operation for data transmission to keep the light energy emitted unchanged.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B. Lighting for both illumination and data transmission

To transmit data with the light for illumination without disturbing its lighting performance, the light emitted by all LED chips in Fig. 2, before rising up to its peak, is used to represent binary data. Moreover, the light emitted by all LED chips, decreasing from its peak, is then used to compensate for the light shortened that is used to represent the low-level bits before the peak of the light intensity, as shown in Fig. 3(a). This method is to maintain the light energy emitted constant during all LED chips lighting up (colored in blue). No matter transmitting data or not, the total light energy is always equal to that shown in Fig. 3(b). If there is no data to be transmitted, as shown in Fig. 3(c), the light energy will be distributed equally in a frequency different from the baud rate used in Fig. 3(a) over the duration that all LED chips light up.

III. CIRCUIT DESIGN

To optimize the lighting performance, there are 38 LED chips connected in series with 14 switches (S_1 to S_{14}) set beside them, as shown in Fig. 4(a). These switches are implemented with optocouplers (Fig. 4(b)). Each one is used to control if the alternating current will bypass the LED chip(s) parallel with it. The operation of these switches follows the rule listed in Table I that is synchronized with the zero of the AC power.

Another switch S_0 works for data transmission. It starts to work while switches S_1 to S_{14} all become open. During the time, the voltage level of the AC power comes to larger ones and all LED chips light. The data represented with the stronger light can have better signal-to-noise ratio. The state of switch S_0 is controlled according to the content of the binary data to be transmitted and then determines if the light is emitted or not. In addition, switch S_0 has to follow the schemes mentioned in Fig. 3 to keep the light energy emitted within every half cycle of the AC power unaffected by the content of the data.

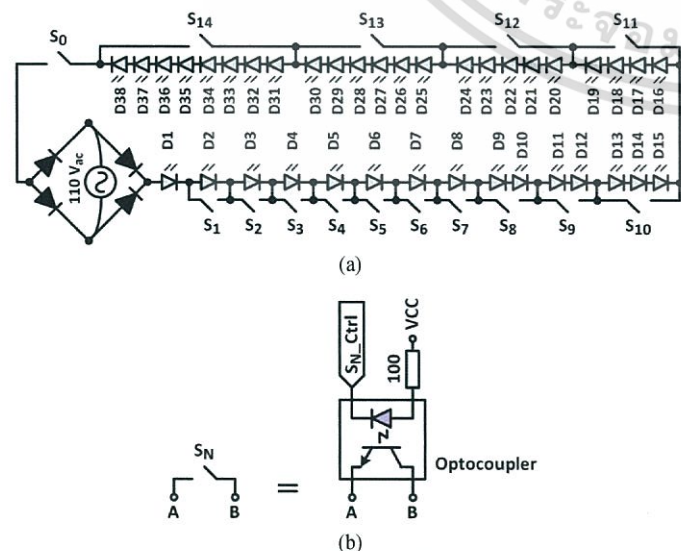


Fig. 4. An AC-Powered LED String.

TABLE I
OPERATION OF SWITCHES S_1 TO S_{14}

Voltage Level (V) across LED String		Off-Duty Switches	On-Duty LED Chips
0	↔	4.6 (none)	D_1
4.6	↔	9.2 S_1	D_1 to D_2
9.2	↔	13.8 S_1 to S_2	D_1 to D_3
13.8	↔	18.0 S_1 to S_3	D_1 to D_4
18.0	↔	21.6 S_1 to S_4	D_1 to D_5
21.6	↔	25.2 S_1 to S_5	D_1 to D_6
25.2	↔	28.8 S_1 to S_6	D_1 to D_7
28.8	↔	36.0 S_1 to S_7	D_1 to D_8
36.0	↔	43.2 S_1 to S_8	D_1 to D_{10}
43.2	↔	54.0 S_1 to S_9	D_1 to D_{12}
54.0	↔	68.4 S_1 to S_{10}	D_1 to D_{15}
68.4	↔	86.4 S_1 to S_{11}	D_1 to D_{19}
86.4	↔	108.0 S_1 to S_{12}	D_1 to D_{24}
108.0	↔	136.8 S_1 to S_{13}	D_1 to D_{30}
136.8	↔	169.7 S_1 to S_{14}	D_1 to D_{38}

IV. RESULTS

With the operation of switches listed in Table I, the light intensity produced by the LED string (Fig. 4) almost follows the sinusoidal variation of the voltage across the string, as shown in Fig. 5, that was observed by a photodiode (S6428, Hamamatsu). The steep discontinuity on the light intensity became smoother and more light energy was obtained.

In addition, there was no difference found among the light energies emitted by the LED string investigated by a luxmeter (YF-170, Yu-Fung) for transmitting nothing and ASCII codes from number "0" to "9" when these data were received by a photodiode and read by a microcontroller.

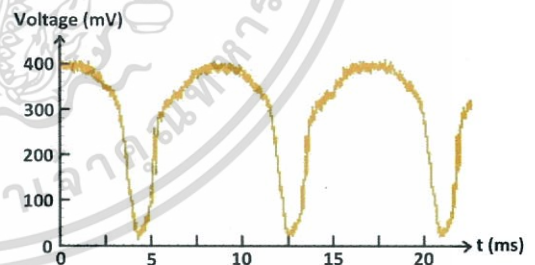


Fig. 5. Voltage output of a light intensity detector created with a photodiode (S6428, Hamamatsu). Its variation almost follows the voltage level across the LED string that comes from 110V/60Hz AC power.

REFERENCES

- [1] S. V. Kartalopoulos, *Free space optical networks for ultra-broad band services*, IEEE Press, 2011, pp. 51-69.
- [2] C. D. Knutson and J. M. Brown, *IrDA principles and protocols*, MCL Press, 2004.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible light communication system using LED lights", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 50, Feb. 2004, pp. 100-107.
- [4] D. Allen, "LED assemblies and light strings containing," U.S. Patent 20060007679A1, Jan. 12, 2006.
- [5] M. Miskin and J. N. Anderson, "AC light emitting diode and AC LED drive methods and apparatus," U.S. Patent 20070273299, Nov. 29, 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 1 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2560

ข้าพเจ้า นางสาวกาญจนา ขอนแก้ว รหัสประจำตัว 57050934

นางสาวณภัทร กาญจนสิน รหัสประจำตัว 57050956

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การออกแบบบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 หลัก ด้วยไดโอดเปล่งแสง 2 สี

ชื่อภาษาอังกฤษ DESIGN 7-SEGMENTS LIGHT-EMITTING DIODE TWO COLOURS
DISPLAYED

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น และได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 16.65 %

ลงชื่อ.....กาญจนา ขอนแก้ว..... ลงชื่อ.....ณภัทร กาญจนสิน.....

(นางสาวกาญจนา ขอนแก้ว)

(นางสาวณภัทร กาญจนสิน)

ข้าพเจ้า รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ ของ
นักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้
เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....สาทร่าย เล็กชะอุ่ม.....

(รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้