# บทที่ 1
# บทนำ

การพัฒนาของจอภาพก็จะมีหลายรูปแบบเริ่มต้นตั้งแต่จอภาพแบบหลอดแก้ว จอภาพแบบไดโอดเปล่งแสง จนทุกวันนี้ได้พัฒนาคุณภาพของสีและความคมชัดมาจนเป็นจอภาพแบบไดโอดเปล่งแสง ที่สามารถให้ความละเอียดของสีได้มากขึ้น จนสามารถเทียบเคียงได้กับสีจริงหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าไดโอดเปล่งแสง 3 สีและก็นำมาพัฒนาเป็นจอภาพแบบไดโอดเปล่งแสงซึ่งให้ความละเอียดและสีได้ดีที่สุด ณ ปัจจุบันนี้

## 1.1 ความสำคัญของปัญหา

การผลิตจอภาพภาพไดโอดเปล่งแสงที่ใช้เป็นป้ายโฆษณาทั่วไปนั้น จะใช้งบประมาณที่สูงและการทำที่ยุ่งยาก และยังเป็นการสิ้นเปลืองทางพลังงาน เพราะต้องใช้ไดโอดเปล่งแสงจำนวนมากในการสร้างจอ เช่นถ้าต้องการความละเอียดที่ขนาด 120x320 พิกเซล ทำให้ต้องใช้ไดโอดเปล่งแสงถึง 38,400 ดวงรวมทั้งต้องมีอุปกรณ์และวงจรที่จะรอบรับการทำงานของไดโอดเปล่งแสงทั้งหมด 38,400 ดวง ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและพลังงานที่ใช้ในการเปิด-ปิดไดโอดเปล่งแสงทั้ง 38,400 ดวงโดยใช้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของจอภาพแบบไดโอดเปล่งแสงให้ใช้ไดโอดเปล่งแสงเพียงแถวเดียว แล้วจึงนำการหมุนมาแสกนแทนไดโอดเปล่งแสงในการหมุนแนวนอน จึงทำให้ลดพลังงานที่จะใช้กับไดโอดเปล่งแสงที่อยู่ในแนวแกนนอนทั้งหมด

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาและพัฒนาป้ายโฆษณาที่เป็นแบบไดโอดเปล่งแสงจึงได้แนวความคิดที่จะสร้างโครงงานการแสดงภาพสีจริงแบบหมุนรอบทิศทางที่จะช่วยลดต้นทุนและความยุ่งยากในการผลิตชิ้นงาน อีกทั้งยังเป็นการลดการสิ้นเปลืองพลังงานที่จะนำมาใช้งาน และเพิ่มลูกเล่นและมุมมองของชิ้นงานให้ดูมีความน่าสนใจยิ่งขึ้น ซึ่งได้มีการวิจัยโครงงานไดโอดเปล่งแสง 360 องศา แบบหมุนรอบทิศทางต้นทุนต่ำ ของต่างประเทศได้วิจัยไว้ [1]

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- เพื่อศึกษาการทำงานของจอภาพไดโอดเปล่งแสง
- เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรดิจิตอล Field Programmable Gate Array (FPGA)
- เพื่อศึกษาและเรียนรู้วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A)
- ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

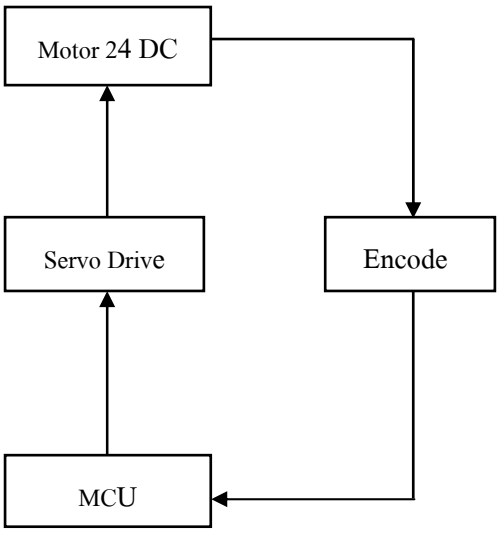
## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- สามารถแสดงภาพสีเสมือนจริงได้
- สามารถแสดงผลเทียบเท่าความละเอียด 120x320 พิกเซลได้
- ลดพลังงานได้ถึง 50 % ของระบบเดิม
- ใช้ชุดควบคุมการแสดงผล Field Programmable Gate Array (FPGA)

## 1.4 ประโยชน์ของโครงงาน

- ลดต้นทุนและความยุ่งยากในการผลิตชิ้นงานอีกทั้งยังช่วยลดพลังงานในการใช้งานของชิ้นงาน
- เพิ่มลูกเล่นและมุมมองของชิ้นงานให้เกิดความน่าสนใจและสามารถนำไปพัฒนาได้ในอนาคต
- ทำให้ได้เรียนรู้และทราบถึงการใช้งานของอุปกรณ์ FPGAเพื่อนำไปใช้งานและพัฒนาในภายภาคหน้า

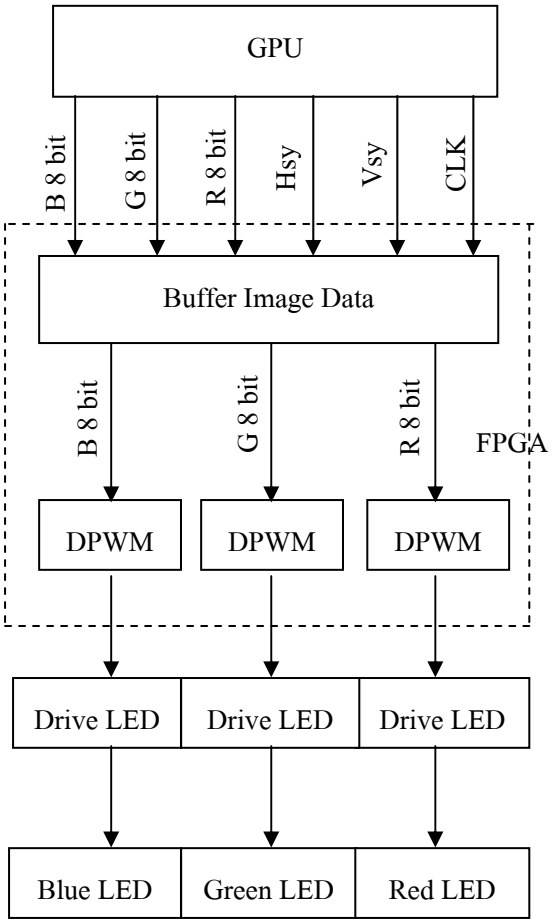
## 1.5 โครงสร้างโครงงาน




โดยที่

- Motor 24 DC : มอเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 V.
- Servo Drive : วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
- Encoder : ชุดวัดการหมุนมอเตอร์
- MCU : ชุดควบคุมโมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิต

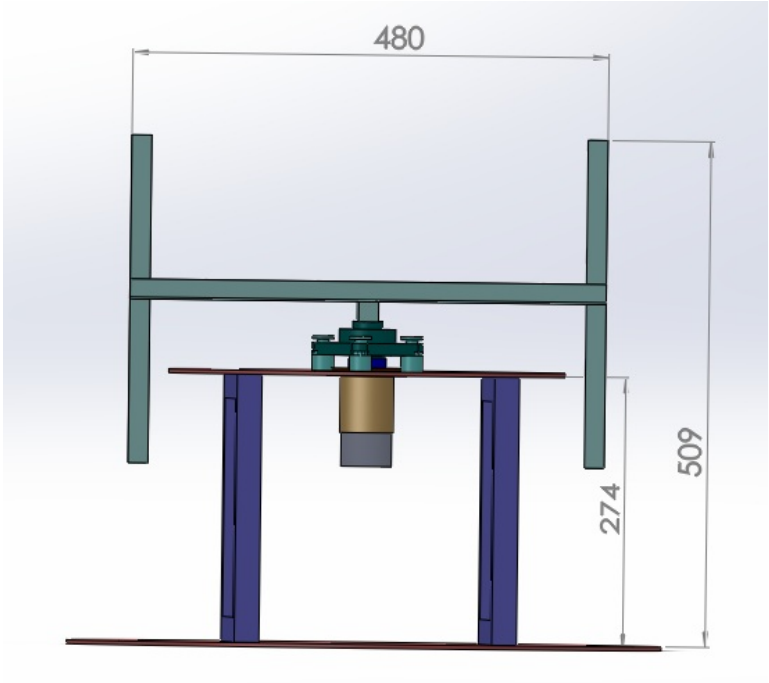
ภาพที่ 1.1 ชุดวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์



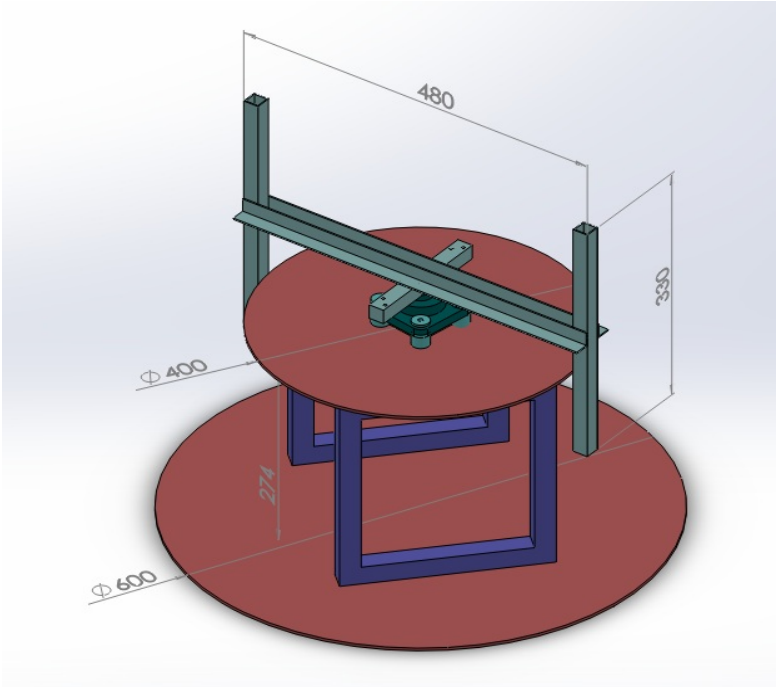

โดยที่

- GPU : ส่วนประมวลผลทางกราฟฟิก
- B 8 bit : สีข้อมูลขนาด 8 บิต สีน้ำเงิน
- G 8 bit : สีข้อมูลขนาด 8 บิต สีเขียว
- R 8 bit : สีข้อมูลขนาด 8 บิต สีแดง
- Hsy : สัญญาณภาพแนวนอน
- Vsy : สัญญาณภาพแนวตั้ง
- CLK :สัญญาณนาฬิกา
- FPGA : Field Programmable Gate Array
- Buffer Image Data : ส่วนสัญญาณรับภาพชั่วคราว
- DPWM : Digital Pulse Width Modulation
- Drive LED : ชุดขับเคลื่อนไดโอดเปล่งแสง
- Blue LED : ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน
- Green LED : ไดโอดเปล่งแสงสีเขียว
- Red LED : ไดโอดเปล่งแสงสีแดง

ภาพที่ 1.2 ชุดวงจรควบคุมการแสดงผลภาพของไดโอดเปล่งแสง 3 สี




ภาพที่ 1.3 ภาพด้านหน้าของโครงงานการแสดงภาพสีจริงแบบหมุนรอบทิศทาง
(หน่วย : มิลลิเมตร)




ภาพที่ 1.4 รูปแบบโครงสร้างของโครงงานการแสดงภาพสีจริงแบบหมุนรอบทิศทาง
(หน่วย : มิลลิเมตร)

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 เราจะอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้ ซึ่งจะมีหลายหัวข้อได้แก่ การแสดงผลของจอภาพที่จะอธิบายในหัวข้อที่ 2.1 การแสดงการผสมสีในหัวข้อที่ 2.2 ซึ่งจอภาพที่เราใช้แสดงผล เราจะใช้ไดโอดเปล่งแสงในการแสดงผล ซึ่งจะอธิบายการคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงไว้ในหัวข้อที่ 2.3 ต่อมาเราจะใช้ เอฟพีจีเอในการรับส่งภาพ ซึ่งจะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4 และเราก็ใช้พัลล์วิทมอดูเลตในการกำหนดภาพ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.5 แต่การแสดงภาพของเรา เป็นการแสดงภาพแบบหมุนรอบทิศทาง เราจะใช้มอเตอร์ดีซีในการหมุน จะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.6

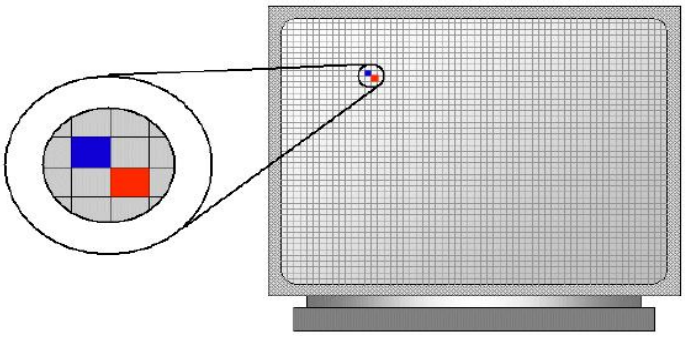
## 2.1 การแสดงผลของจอภาพ [2]

### 2.1.1 พิกเซล

พิกเซลเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของภาพบิตแมปซึ่งองค์ประกอบย่อยๆเหล่านี้ถูกรวมเข้ากันทำให้เกิดภาพ ซึ่งคงคุ้นเคยกับการที่ส่วนประกอบย่อยๆมารวมกัน เพื่อประกอบเป็นรายการสิ่งของต่างๆเป็นต้น ว่าเอาแต่ละชิ้นของบล็อกกระจกมาประกอบกันเป็นหน้าต่าง แต่ละเข็มของการเย็บปักถักร้อยประกอบกันกลายเป็นผลงานทางด้านเย็บปักถักร้อย 1 ชิ้น หรือแต่ละจุดของโลหะเงินประกอบกันเป็นรูปภาพ 1 รูปนั้นคือองค์ประกอบอาจจะเป็นแก้วชิ้นใหญ่บนหน้าต่างหรือจุดโลหะเงินเล็กๆบนแผ่นฟิล์มก็ได้ โดยแต่ละชิ้นเป็นองค์ประกอบที่แยกจากกันเปรียบเทียบได้กับพิกเซล ซึ่งถือเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของรูปภาพ พิกเซลมีความสำคัญต่อการสร้างกราฟิกของคอมพิวเตอร์มาก เพราะทุกๆส่วนของกราฟิกเช่นจุดเส้นแบบลายและสีของภาพล้วนเริ่มจากพิกเซลทั้งสิ้น พิกเซลหนึ่งๆอาจจะมีขนาดความเข้มและสีแตกต่างกันได้ในโลกแห่งดิจิตอลของรูปภาพคอมพิวเตอร์ พิกเซลได้ถูกใช้สำหรับสิ่งต่างๆเป็นต้นว่าจุดแต่ละจุดบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จุดแสดงความละเอียดของเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์หรืออุปกรณ์แสดงผลประเภทกราฟิกอื่นๆของระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งบางครั้งอาจทำให้เราสับสนได้ เพื่อให้เกิดความชัดเจนขอให้คำจำกัดความดังต่อไปนี้

- พิกเซลหมายถึงองค์ประกอบย่อยในไฟล์กราฟิกแบบบิตแมปวิดีโอ
- พิกเซลหมายถึงองค์ประกอบย่อยของภาพในหน้าจอคอมพิวเตอร์

- จุดหรือดอตหมายถึงความละเอียดของภาพที่พิมพ์โดยเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์



ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงพิกเซลของจอภาพ

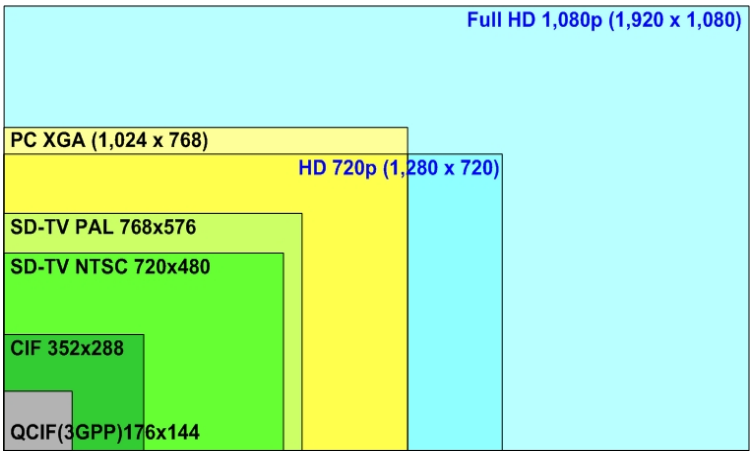
**2.1.2 รีโซลูชั่น**

รีโซลูชั่น (Resolution)หมายถึง รายละเอียดที่อุปกรณ์แสดงกราฟิกชนิดหนึ่งที่มีอยู่ ค่ารีโซลูชั่นมักจะระบุจำนวนพิกเซลในแนวนอนคือ แนวแกน X และจำนวนพิกเซลในแนวตั้งคือแนวแกน Y ดังนั้น รีโซลูชั่น 800 x 600 จึงหมายความว่า อุปกรณ์แสดงกราฟิกชนิดนี้สามารถแสดงพิกเซลในแนวนอนได้ไม่เกิน 800 พิกเซล และแสดงพิกเซลในแนวตั้งได้ไม่เกิน 600 พิกเซล ผู้ผลิตอุปปกรณ์แสดงกราฟิกบางรายจะระบุค่ารีโซลูชั่นเป็นระดับสูง (High Resolution) ปานกลาง (Medium Resolution) และระดับต่ำ (Low Resolution)โดยพิจารณาจากจำนวนพิกเซลในแนวนอนอย่างเดียว ซึ่งมีหลักว่า ถ้ามีค่าน้อยกว่า 128 เป็นระดับต่ำ ค่าระหว่าง 128 ถึง 512 เป็นระดับกลาง ค่าสูงกว่า 512 เป็นระดับสูง สำหรับจอภาพขนาดปกติถ้ามีค่ารีโซลูชั่นมากกว่า 1500 ตาจะมองไม่เห็นแต่ล่ะพิกเซลคือจะมองเห็นเป็นภาพที่มีความละเอียดคมชัดสูงมาก

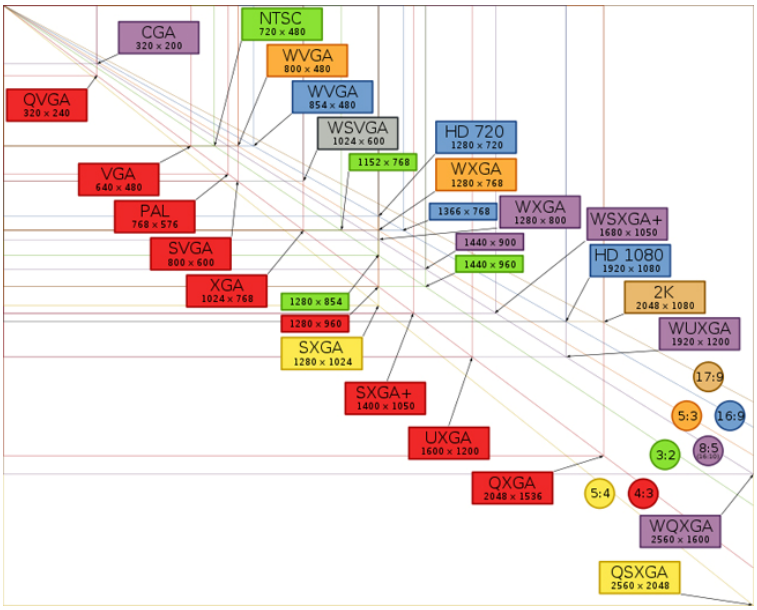
**2.1.3 อัตราส่วนของจอภาพ**

อัตราส่วน 4:3 คือ เป็นจอภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอัตราส่วนแนวนอนกับแนวตั้งเป็น 4:3 เราเรียกค่านี้ว่าค่าอัตราส่วนเอสเป็กเรโชตัวเลข 4:3 นี้ไม่มีอะไรเป็นพิเศษนอกจากการปรับค่าอัตราส่วนให้เป็นเลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุดเราจะเรียก 4:3 นี้ว่า 12:9 ก็ได้ โดยเฉพาะเมื่อเราต้องการเปรียบเทียบอัตราส่วนลักษณะอื่นซึ่งมีเลขจำวนวนเต็มทางแนวตั้งเป็น 9 เหมือนเช่นกัน เนื่องจากมีอัตราส่วนลักษณะที่แตกต่างกันอยู่มากมาย ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบจึงนิยมปรับให้ทุกแบบมีอัตราส่วนทางแนวตั้งเป็น 1 เหมือนกันหมด (Mathematical Ratio) เช่น แบบ 4:3 ก็จะเป็น 1.33:1 หรือแบบ 16:9 ก็จะเป็น 1.78:1 ด้วยวิธีนี้สามารถเรียกสั้นๆ ว่า 1.33 หรือ 1.78 ได้ทันทีเนื่องจากอีกข้างหนึ่งจะเป็น 1 เหมือนกันหมด

เนื่องจากอัตราส่วนลักษณะ 1.33 นี้ได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการโดย Academy of Motion Picture Arts and Sciences ตั้งแต่ปี 1930 จึงเรียกกันว่าอัตราส่วนลักษณะแบบ Academy Standard หรือ Academy Format ได้อีกอย่างหนึ่งจนถึงยุคของระบบโทรทัศน์หรือประมาณปี 1950 ก็มีการพิจารณาสัดส่วนของจอโทรทัศน์ว่าจะใช้แบบไหน เพื่อให้สอดคล้องกับระบบของฟิล์มซึ่งใช้ผลิตภาพยนตร์ทุกเรื่องในสมัยนั้น NTSC จึงได้เลือกเอามาตรฐานตามแบบของ Academy มาเป็นอัตราส่วนลักษณะอย่างเป็นทางการของการออกอากาศโทรทัศน์ในอเมริกาตั้งแต่นั้นมา




ภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนการแสดงผลของจอภาพมาตรฐานต่างๆ




ภาพที่ 2.3 แสดงอัตราส่วนของจอภาพ

XGA (Extended Graphics Array) คือคำที่เรียกการแสดงผลของจอภาพคอมพิวเตอร์ (Monitor

- VGA (Video Graphics Array)
- SVGA (Super Video Graphics Array)
- SXGA (Super Extended Graphics Array)
- UXGA (Ultra Extended Graphics Array)

มีความละเอียดตั้งแต่

- VGA คือ ขนาดภาพ 640x480 พิกเซล (4:3)
- SVGA คือ ขนาดภาพ 800x600 พิกเซล (4:3)
- XGA คือ ขนาดภาพ 1024x768 พิกเซล (4:3)
- SXGA คือ ขนาดภาพ 1280x1024 พิกเซล (4:3)
- SXGA+ คือ ขนาดภาพ 1400x1050 พิกเซล (4:3)
- UXGA คือ ขนาดภาพ 1600x1200 พิกเซล (4:3)

แล้วยังมีขนาดอัตราส่วนอื่นๆ อีก ที่ขึ้นต้นด้วย W เรียกว่า Wide Screen (จอกว้าง) คือ

- WVGA คือ ขนาดภาพ 840x480 พิกเซล (16:10)
- WXGA คือ ขนาดภาพ 1280x800 พิกเซล (16:10)
- WXGA+ คือ ขนาดภาพ 1440x900 พิกเซล (16:10)
- WSXGA คือ ขนาดภาพ 1680x1050 พิกเซล (16:10)
- WUXGA คือ ขนาดภาพ 1920x1200 พิกเซล (16:10)
- WXGA (HD-Ready) คือ ขนาดภาพ 1366x768 พิกเซล (16:9)
- WSVGA (Full HD) คือ ขนาดภาพ 1920x1080 พิกเซล (16:9)

## 2.2 การกำหนดมาตรฐานลำดับชั้นสีในปัจจุบันนิยมใช้ระบบ CIE 1976 L×a×b (CIELAB) ซึ่งเป็นการกำหนดค่าโคออดิเนตของสีใน 3 มิติ [3,4]

การกำหนดมาตรฐานลำดับชั้นสีในระบบ CIE (Commission International de I'Eclairage) คือ การเปรียบเทียบความจุความเข้มของสีในแกน x, y จากภาพที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าความเข้มของสีขาวจะอยู่ในช่วงกลางของกราฟ ซึ่งบอกช่วงของการลำดับสีระหว่าง สีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงิน นั้นอยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นด้วยสายตาได้ โดยกำหนดค่าต่างๆดังนี้

L ใช้กำหนดค่าความสว่าง ของเนื้อสี

L = 0 จะมองเห็นเป็นสีดำ

L = 100 จะมองเห็นเป็นสีขาว

(ค่าที่ทำให้มองเห็นเนื้อสีเด่นชัดจะเป็นค่ากลาง ๆ ประมาณ 50 – 60ถ้าต่ำกว่านี้เนื้อสีจะค่อนข้างไปทางสีดำมืด แต่ถ้าสูงกว่านี้เนื้อสีจะค่อนข้างสว่าง หรือจางลง)

a ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างสีแดงกับสีเขียว

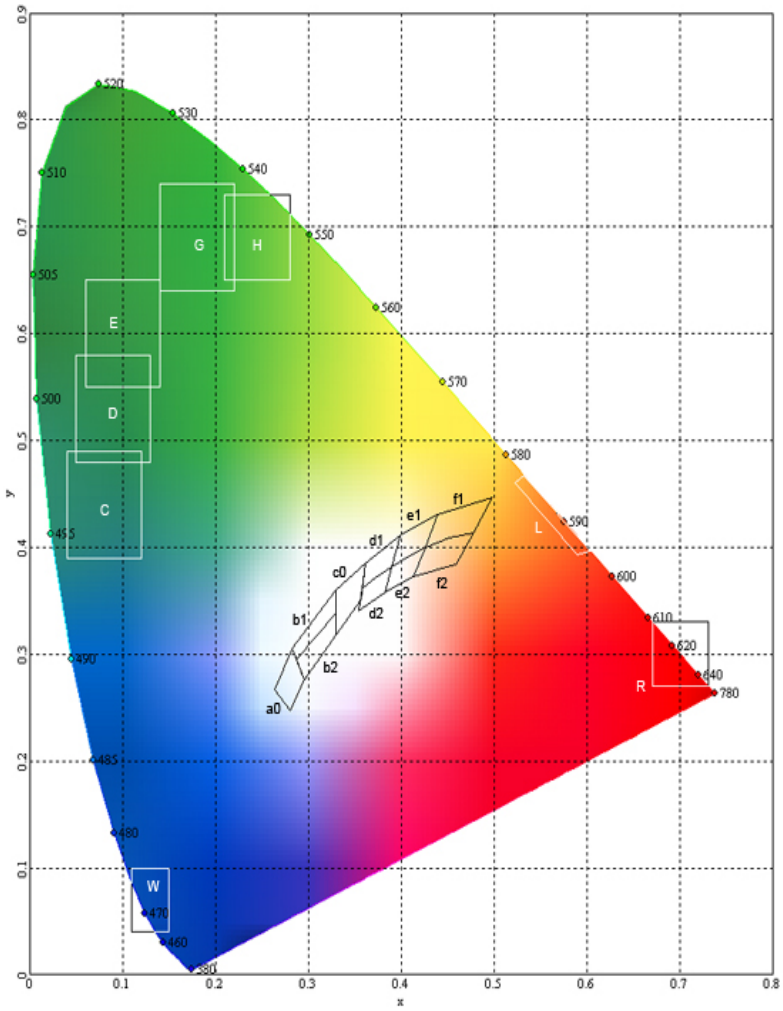
ถ้า a มีค่า + สีจะไปในทิศทางของสีแดง

ถ้า a มีค่า - สีจะไปในทิศทางของสีเขียว

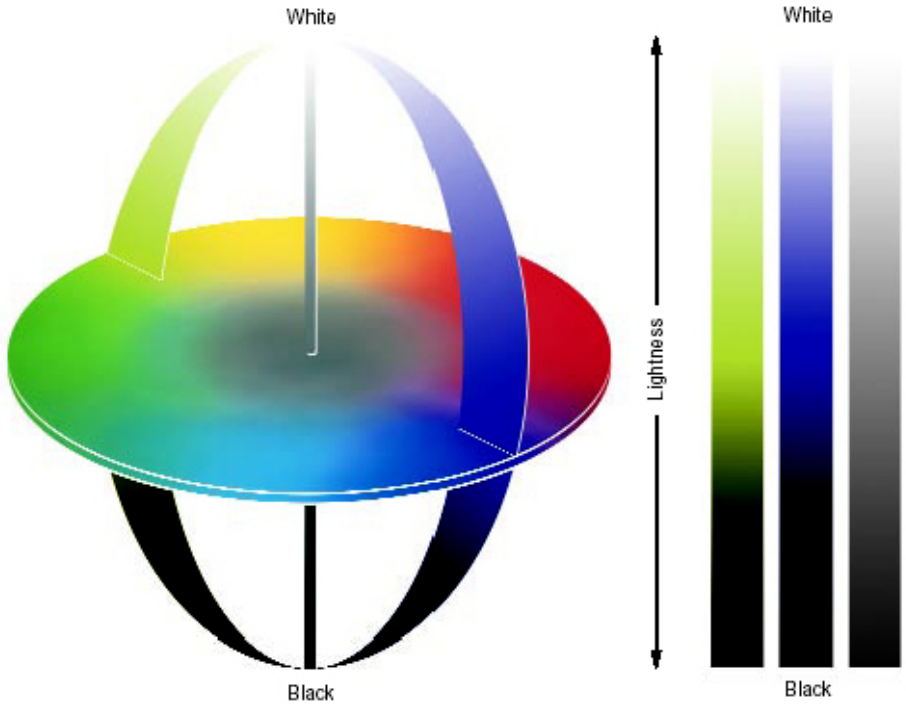
b ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงิน

ถ้า b มีค่า + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง

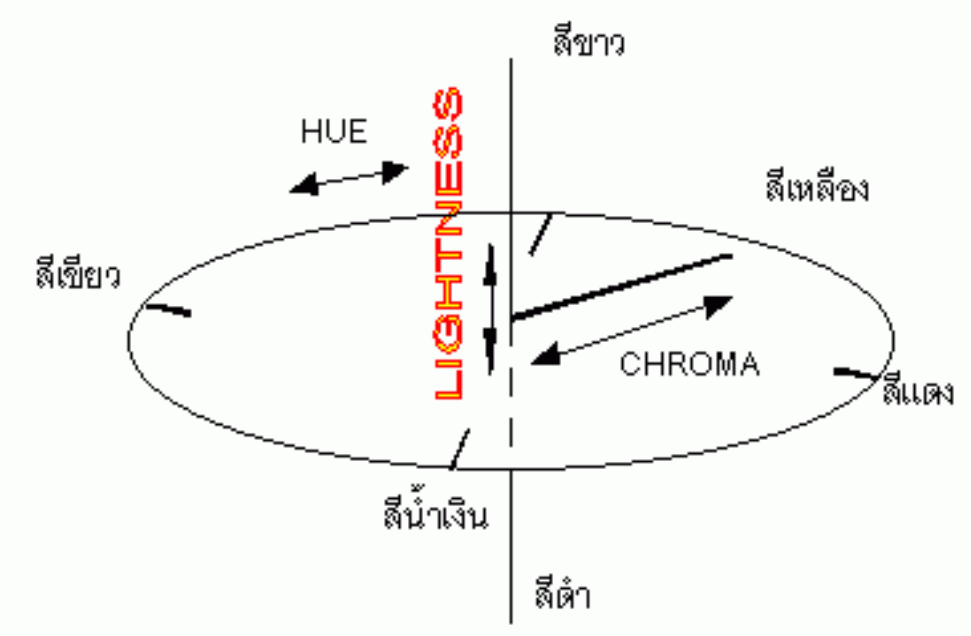
ถ้า b มีค่า – สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน




ภาพที่ 2.4 กราฟเปรียบเทียบความจุความเข้มของสี




ภาพที่ 2.5 การแสดงผสมสีแกนภาพขาวดำ

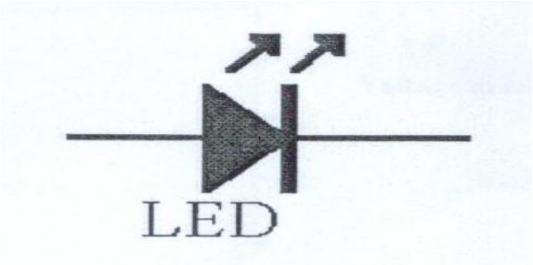



ภาพที่ 2.6 แสดงแกนกลางของแม่สี

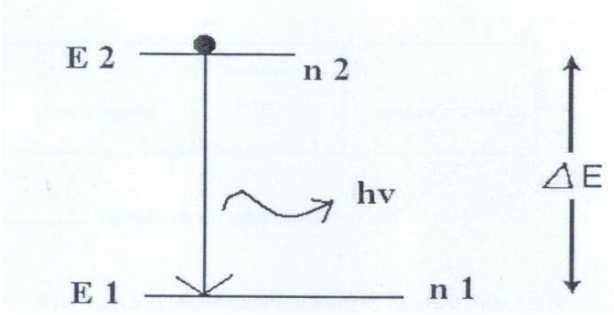
**2.3 คุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสง [5]**

จอแสดงผลในโครงงานนี้ ส่วนแสดงผลจะประกอบด้วยไดโอดเปล่งแสงเป็นหัวใจสำคัญ ดังนั้นจึงต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติและการทำงานของหลอดแอลอีดีให้เข้าใจเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

ไดโอดเปล่งแสงเป็นไดโอดชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปล่งแสงได้ ซึ่งในโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงมีลักษณะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด พี (P-type) และชนิด เอ็น (N-type) ต่อกันเป็น พี-เอ็น จังชั่น (P-N junction) ไดโอดเปล่งแสงสามารถเปล่งแสงออกมาได้ เมื่อมีการจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดไบแอส (Forward Biased Current) ให้กับไดโอดเปล่งแสงกระแสฟอร์เวิร์ดไบแอสนี้ได้ไปกระตุ้นอิเล็กตรอน (Electron) และโฮล (Hold) ข้าม พี-เอ็นจังชั่นเพื่อมารวมตัวกัน ในการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลนี้มีการแพร่พลังงานในรูปของ โฟตอน (Photon) ซึ่งเป็นอนุภาคของแสง ซึ่งต่างจากอุปกรณ์อื่นๆ ที่แพร่พลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อน สำหรับสารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงใช้แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium Arsenide Phosphied :GaAsp) หรือ แกลเลี่ยมฟอสไฟล์ (Gallium Phospide : GaP) ซึ่งสารทั้งสองนี้ใช้กระแสไฟฟ้าไม่มากในการไบแอสเพื่อให้เกิดการแพรโฟตอนออกมา การให้แสงของไดโอดเปล่งแสงในการจ่ายกระแสไฟฟ้า เรียกว่า อิเล็กโตรลูมิเนเซนล์ (Electro Luminascence) ดังแสดงในภาพที่ 2.7

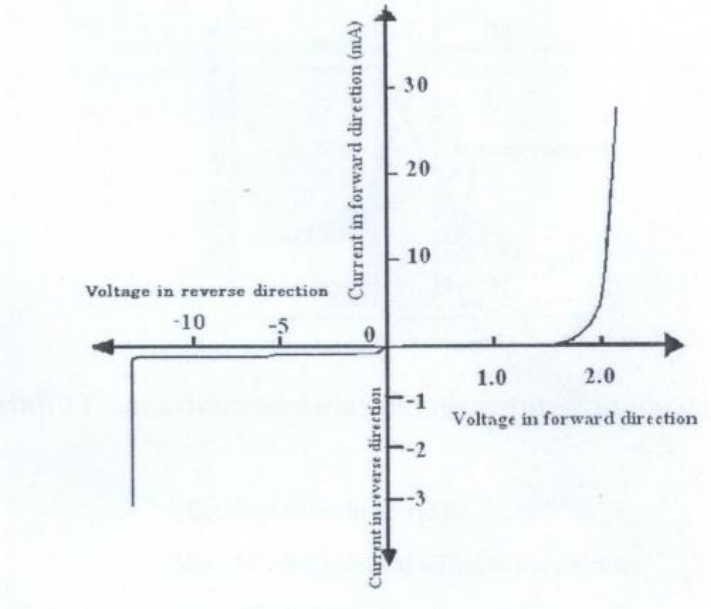



ภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของของไดโอดเปล่งแสง

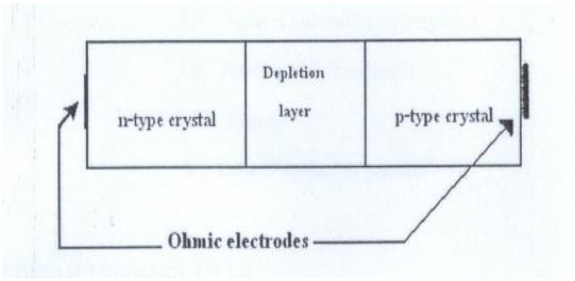



ภาพที่ 2.8 แสดงระดับพลังงานของการรวมตัวของอิเล็กตรอน

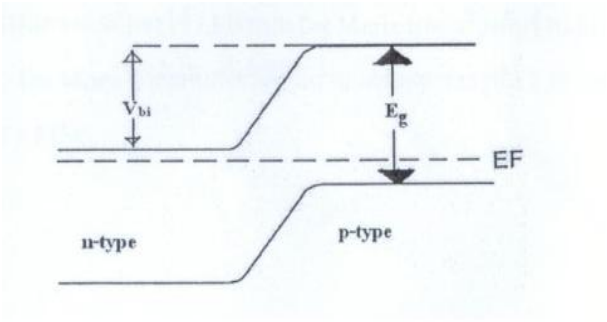
ไดโอดเปล่งแสงเป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สามารถเปล่งแสงออกมาได้ ซึ่งเป็นแสงที่อยู่ในช่วงที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหลอดไฟชนิดทังสเตนแล้ว หลอดแอลอีดีจะมีประสิทธิรูปที่สูงกว่า 10-15 เท่า และสามารถแสดงผลได้เร็วกว่าคือ ใช้เวลาในการแสดงผล 0.1 ไมโครวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟชนิดทังสเตน ซึ่งใช้เวลาในระดับมิลลิวินาที ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วไดโอดเปล่งแสงจึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวแสดงผลหรือใช้เป็นไฟกระพริบ




ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงคุณลักษณะของไดโอดเปล่งแสง




ภาพที่ 2.10 ภาพตัดขวางรอยต่อ พี-เอ็น ของไดโอดเปล่งแสง




ภาพที่ 2.11 แสดงแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงเมื่อมีการจ่ายศักดาไฟฟ้าให้ไดโอดเปล่งแสง

## 2.4 ทฤษฎีเอฟพีจีเอ [6]

เอฟพีจีเอ (FPGA ย่อมาจาก Field Programmable Gate Array) ก็ได้ทำการออกแบบและจัดทำวงจรรวมขนาดใหญ่ ที่มีความซับซ้อนน้อยลงและออกแบบได้ง่าย ทำให้ลดเวลาที่ใช้ในการออกแบบได้อย่างมาก และในระยะหลังนี้เทคโนโลยีทางด้านเอฟพีจีเอ ก็ได้ก้าวหน้าไปมากโดยสามารถออกแบบวงจร โดยใช้ เอฟพีจีเอ ที่มีความซับซ้อนเทียบเท่ากับวงจรลอจิกขนาด 100,000 ตัว และสามารถทำความเร็วได้สูงมากกว่า 100 เมกะเฮิร์ทซ ทำให้เราสามารถจะออกแบบวงจรรวมขนาดใหญ่อย่างไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ได้ด้วยชิพเอฟพีจีเอเพียงอย่างเดียว

ในปัจจุบันมีเอฟพีจีเออยู่ 4 ชนิดที่วางขายในท้องตลาด ได้แก่ Symmetrical Array, Row-based, Hierachical PLD และ Sea-of-Gate ซึ่งแต่ล่ะชนิดมีลักษณะการเชื่อมต่อภายในและการโปรแกรมที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้การแบ่งประเภทของเอฟพีจีเอ อาจแบ่งได้ตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการโปรแกรม ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ การโปรแกรมโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของตัวชิพ และการโปรแกรมโดยใช้หน่วยความจำ

**2.4.1 การโปรแกรมโดยการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ**

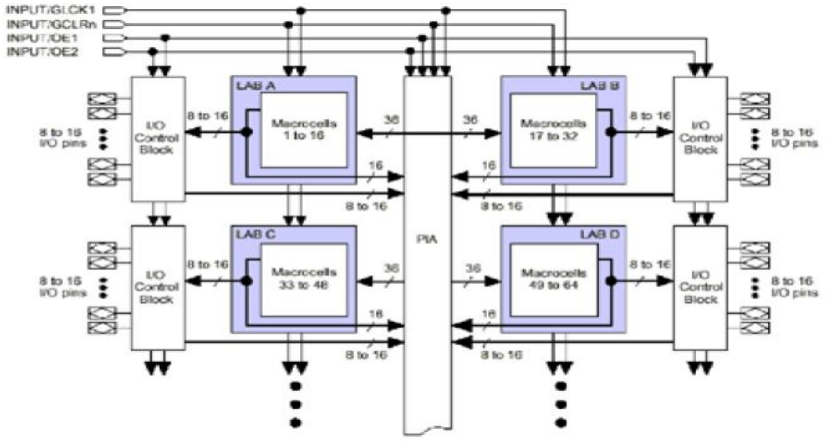
- Fuse เป็นวิธีการโปรแกรมที่สามารถทำได้เพียงครั้งเดียว ซึ่งหลังจากที่โปรแกรมแล้ว จุดเชื่อมต่อจะขาดจากกัน
- Anti Fuse เป็นวิธีการโปรแกรมที่คล้ายกับแบบ Fuse แต่ต่างกันที่หลังจากการทำโปรแกรมแล้ว จุดเชื่อมต่อจะถึงกัน

**2.4.2 การโปรแกรมโดยใช้หน่วยความจำ**

- EEPROM Based ซึ่งเอฟพีจีเอที่ใช้ในการโปรแกรมแบบนี้มักเรียกว่า ซีพีแอลดี ซึ่งเทคโนโลยีจะใช้เหมือนกับ EEPROM ทำให้มีความจุของเกทต่ำ โดยทั่วไปจะน้อยกว่า 20,000 เกท แต่ข้อดีของ EEPROM Based คือสามารถเก็บข้อมูลที่โปรแกรมไปได้โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยง และในการทำโปรแกรมจะใช้ทรานซิสเตอร์1 ตัว ต่อ 1 บิต ซึ่งในการโปรแกรมสามารถทำได้ประมาณ 10,000 ครั้ง
- SRAM Based ซึ่งเอฟพีจีเอแบบนี้จะใช้เทคโนโลยีในการโปรแกรมเหมือนกับ SRAM ทำให้สามารถโปรแกรมซ้ำได้โดยไม่จำกัดจำนวนครั้ง นอกจากนี้ยังมีความจุของเกทในระดับปานกลางถึงระดับสูงมาก (ประมาณ 10,000 – 100,000 ครั้ง) ซึ่งข้อดีของ SRAM Based คือใช้เวลาในการโปรแกรมน้อย (ระดับนาโนวินาที) การโปรแกรมทำได้ง่ายเทียบกับการเขียน SRAM ทั่วไป และเหมาะสำหรับการออกแบบวงจรที่มีความสลับซับซ้อน ส่วนข้อเสีย คือ ไม่สามารถเก็บโปรแกรมในสภาวะที่ไม่มีไฟเลี้ยง ดังนั้นเอฟพีจีเอชนิดนี้จึงมักใช้ควบคู่กับรอมเพื่อเก็บโปรแกรมและทำการโหลดโปรแกรมลงในตัวชิพในขณะที่เริ่มต้นใช้งาน

**2.4.3 โครงสร้างภายในของเอฟพีจีเอ**

ลักษณะโครงสร้างภายในของเอฟพีจีเอ จะเป็นอะเรย์ของบล็อกลอจิก ที่สามารถโปรแกรมได้ดังภาพที่ 2.12




ภาพที่ 2.12 โครงสร้างภายในของเอฟพีจีเอ ตระกูล MAX700S

**2.4.4 ปัจจัยที่ทำให้การออกแบบเอฟพีจีเอ ทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว**

- ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องทราบถึงโครงสร้างภายในของตัวชิพเพียงแต่มีความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการออกแบบลอจิกก็เพียงพอแล้ว ต่างจากการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาโครงสร้างภายในรวมถึงภาษาแอสแซมบี้ของไมโครโปรเซสเซอร์ตัวนั้นด้วย

- มีการออกแบบโดยใช้ภาษาในการอธิบายการทำงานของวงจรหรือ HDL (Hard Description Language) เป็นเครื่องมือในการออกแบบ ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความยืดหยุ่นสูง ทำได้รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องทราบถึงลักษณะของวงจรที่ต้องการว่าจะเชื่อมต่อกันอย่างไร เพียงแต่กำหนดลักษณะการทำงานให้มันจากนั้นตัวซอฟต์แวร์จะทำ Synthesis and Optimize ให้ทั้งหมด นอกจากนี้ภาษาที่ใช้ยังเป็นมาตรฐานเดียวกันสามารถใช้ได้กับชิพทุกตัวและทุกบริษัท

- การโปรแกรมสามารถทำได้เองและใช้เวลาไม่นาน เพียงแค่ส่งข้อมูลผ่านสายดาวน์โหลดออกพอร์ตของคอมพิวเตอร์ก็สามารถโปรแกรมชิพขณะที่อยู่ในระบบได้ โดยไม่จำเป็นต้องถอดมาโปรแกรมข้างนอก ที่สำคัญสามารถโปรแกรมได้หลายครั้ง จึงทำให้ง่ายในการแก้ไขและพัฒนาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มแต่อย่างใด

**2.4.5 ความหน่วงด้านเวลา (Delay)**

ในการทำเอฟพีจีเอนั้นความหน่วงที่เกิดขึ้นเป็นความหน่วงที่เกิดจากการวางตำแหน่ง (Layout) ของอุปกรณ์ซึ่งผู้ออกแบบไม่สามารถเข้าไปแก้ไขได้แต่สามารถทำให้มีความหน่วงน้อยที่สุดได้สำหรับความหน่วงที่เกิดขึ้นนั้นแยกได้เป็น 2 ประเภทคือ

- ความหน่วงลอจิก (Logic delay) เป็นความหน่วงภายในองค์ประกอบของอุปกรณ์เอฟพีจีเอเอง
- ความหน่วงที่เกิดจากการเชื่อมต่อสัญญาณ (Routing Delay) เป็นความหน่วงที่เกิดจากการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างองค์ประกอบภายในอุปกรณ์เอฟพีจีเอ

โดยปกติแล้วค่าความหน่วงลอจิกไม่ควรเกิน 50% ของค่าความหน่วงที่ยอมรับได้เพราะความหน่วงที่เกิดจากการเชื่อมต่อสัญญาณมักจะมีค่ามากกว่าค่าความหน่วงลอจิกดังนั้นในการวางอุปกรณ์และเชื่อมต่อสัญญาณผู้ออกแบบควรกำหนดข้อบังคับทางเวลาเพื่อให้ซอฟต์แวร์ได้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นค่าความหน่วงที่ได้หลังจากการวางอุปกรณ์และเชื่อมต่อสัญญาณแล้วจะมีค่าความหน่วงที่ค่อนข้างแน่นอนซึ่งผู้ออกแบบสามารถทราบได้ว่าโมเดลที่ออกแบบนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่

### 2.4.6 การจำลองการทำงานของวงจร (Simulation)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งเพราะเป็นขั้นตอนที่ผู้ออกแบบตรวจสอบฟังก์ชันการทำงานของโมเดลว่าถูกต้องหรือไม่มีข้อผิดพลาดตรงไหนเพื่อจะได้ทำการแก้ไขให้ถูกต้องในขั้นตอนนี้จะมีซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับทำการจำลองการทำงานของวงจรที่ใช้อยู่เช่น Model Sim ของบริษัท Model Technology หรือ Max Plus II ของบริษัท Altera ในการจำลองการทำงานของวงจรควรทำทุกครั้งหลังจากที่มีการทำแต่ละขั้นตอนหลักเสร็จแล้วเพื่อจะได้ทราบว่าข้อผิดพลาดของโมเดลเกิดขึ้นตอนไหนจะได้แก้ไขข้อผิดพลาดตรงขั้นตอนนั้นๆได้เลยไม่ต้องมาคอยตรวจหาขั้นตอนที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดนั่นคือการทำการจำลองการทำงานของวงจรต้องทำทั้งหลังการเขียนโค้ด, การสังเคราะห์วงจรและการทำ PPR การจำลองการทำงานของวงจรหลังจากที่เขียนโค้ดเสร็จแล้วนั้นผู้ออกแบบสามารถทราบได้แค่โมเดลทำงานถูกต้องหรือไม่เท่านั้น (Functional test) ยังไม่สามารถตรวจสอบการทำงานในเชิงเวลาได้ถูกต้องในการจำลองการทำงานของวงจรหลังจากที่สังเคราะห์เป็นวงจรแล้วเพื่อตรวจสอบว่าฟังก์ชันการทำงานยังคงถูกต้องหรือไม่และค่าความหน่วงที่เกิดขึ้นเป็นไปตามข้อบังคับหรือไม่ ถ้ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นก็จะต้องทำการแก้ไขให้ถูกต้อง

ในการจำลองการทำงานของวงจรหลังจากที่ทำการวางอุปกรณ์การเชื่อมต่อสัญญาณ (Post layout simulation) แล้วก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรในตอนนี้จะเป็นผลลัพธ์ของโมเดลเลยซึ่งผู้ออกแบบนอกจากจะตรวจสอบฟังก์ชันการทำงานแล้วยังต้องตรวจสอบคุณสมบัติอื่นๆเช่นความหน่วงที่ได้จากการทำ PPR ในรูปแบบค่าความหน่วงมาตรฐาน (Standard Delay Format : SDF) ว่าตรงตามที่กำหนดหรือไม่หรือตรวจสอบว่าวงจรรวม

### 2.4.7 การโปรแกรมอุปกรณ์เอฟพีจีเอ (Configuration)

หลังจากที่โมเดลผ่านขั้นตอนต่างๆจนกระทั่งผ่านการทำ PPR (Partitioning, Placement & Routing) แล้วนั้นถึงตอนนี้ก็สามารถที่จะดาวน์โหลด (download) ลงในอุปกรณ์เอฟพีจีเอแล้วในการดาวน์โหลดนี้ก่อนอื่นต้องแปลงแบบวงจรรวมที่ได้เป็นข้อมูลวงจร (configuration data) ซึ่งอยู่ในรูปของบิตสตรีม (bit stream) ก่อนแล้วจึงดาวน์โหลดลงไปเพื่อให้อุปกรณ์เอฟพีจีเอมีฟังก์ชันการทำงานตามโมเดลที่ผู้ออกแบบต้องการซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีที่แตกต่างกันออกไปสำหรับอุปกรณ์เอฟพีจีเอของแต่ละบริษัทผู้ผลิตคือในกรณีที่เป็นอุปกรณ์เอฟพีจีเอ ชนิดที่ต้องโปรแกรมโดยวิธี SRAM นั้นในการใช้งานผู้ออกแบบจะต้องเก็บข้อมูลวงจรไว้ในหน่วยความจำประเภท EPROM หรือ serial PROM ด้วยเพื่อจะใช้งานสะดวกขึ้นคือในการใช้งานโมเดลครั้งต่อไปไม่ต้องดาวน์โหลดข้อมูลวงจรจากเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเพราะมีข้อมูลวงจรเก็บอยู่ในหน่วยความจำอยู่แล้ว แต่กรณีที่อุปกรณ์ เอฟพีจีเอ เป็นชนิดที่โปรแกรมโดยใช้วิธี EPROM หรือ Anti Suse ก็ไม่จำเป็นต้องมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลวงจร เพราะว่าอุปกรณ์ เอฟพีจีเอ ชนิดนี้เมื่อดาวน์โหลดข้อมูลวงจรลงไป ข้อมูลที่ดาวน์โหลดลงไปก็จะยังอยู่ในอุปกรณ์ เอฟพีจีเอ และครั้งต่อไปก็ใช้งานโมเดลที่ออกแบบไว้ได้เลย

### 2.4.8 เครื่องมือสำหรับการออกแบบเอฟพีจีเอ

จะเห็นได้ว่าการออกแบบเพื่อทำเอฟพีจีเอนั้น ทำได้สะดวกกว่า ASIC มากเพราะใช้เวลาน้อยกว่ามากด้วย ส่วนสำคัญที่ใช้ในการทำเอฟพีจีเอ คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ตั้งแต่เขียนโค๊ดอธิบายฮาร์ดแวร์ จนกระทั่งดาวน์โหลดลงในอุปกรณ์เอฟพีจีเอ ซึ่งซอฟต์แวร์ที่ใช้ต้องเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานต่อเนื่องกันได้ สำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรนั้น ต้องสามารถใช้งานต่อเนื่องกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ทั้งระบบ เพราะโมเดลที่ได้จากการทำขั้นตอนต่างๆ (ด้วยซอฟต์แวร์ต่างๆ) ต้องเอามาจำลองการทำงานได้ และในการจำลองการทำงานของวงจรควรใช้ซอฟต์แวร์ตัวเดียวกันตลอดทั้งระบบ เพื่อจะได้เปรียบเทียบผลได้ง่าย ในอดีตซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่จะใช้งานอยู่บนคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงอย่างเวิร์คสเตชั่นในปัจจุบันมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้บนพีซีมากขึ้นซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ลง

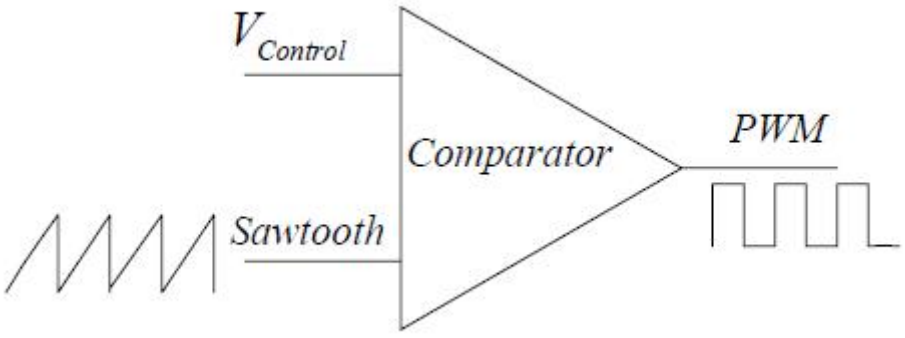
## 2.5 พัลซ์วิทมอดูเลต (PWM) [7]

### 2.5.1 ทฤษฎี

สัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตเป็นสัญญาณที่นำมาใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตที่สามารถปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณสามารถทำได้ทั้งวงจรอนาล็อกและวงจรดิจิตอลซึ่งการใช้วิธีทางดิจิตอลมาสร้างสัญญาณที่เรียกว่าสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตแบบบิจิตอล จะช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัววงจรอนาล็อกแต่การใช้วงจรดิจิตอลเพื่อสร้างสัญญาณที่ความละเอียดสูงๆจะพบปัญหาเกี่ยวกับจำนวนบิตของอุปกรณ์ที่ต้องใช้จำนวนบิตที่สูงวงจรมีขนาดใหญ่แต่การใช้เทคนิคการโปรแกรมค่าสัญญาณใน ROM สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับขนาดของแผ่นวงจรทางฮาร์ดแวร์ได้

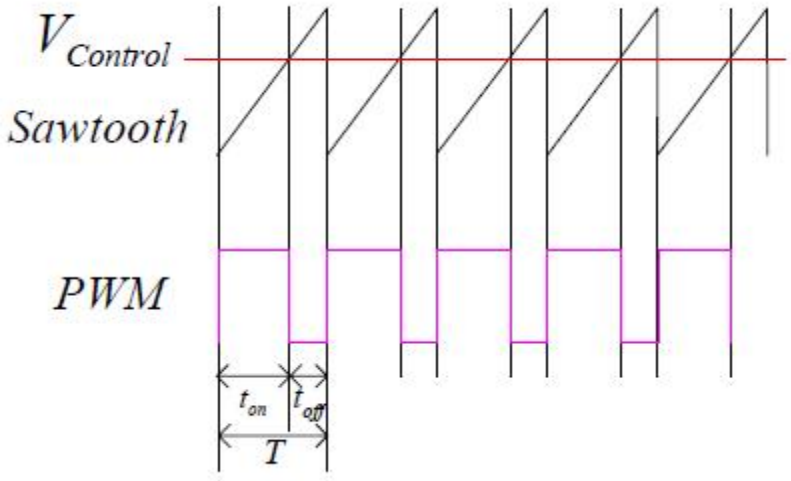
### 2.5.2 การสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต

การสร้างสัญญาพัลซ์วิทมอดูเลตด้วยวงจรอนาล็อกจะใช้การสร้างสัญญาณฟันเลื่อยหรือสัญญาณแบบขั้นบันไดมาเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงที่เป็นระดับสัญญาณกระแสตรงหรือสัญญาณซายน์ตามรูปแบบของสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตที่ต้องการการสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตแบบอนาล็อกแสดงได้ดังภาพที่ 2.13




ภาพที่ 2.13 วงจรสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตแบบอนาล็อก

จากรูปสัญญาณสามเหลี่ยมฟันเลื่อยจะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุมแรงดัน ผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณตามภาพที่ 2.13




ภาพที่ 2.14 การสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต

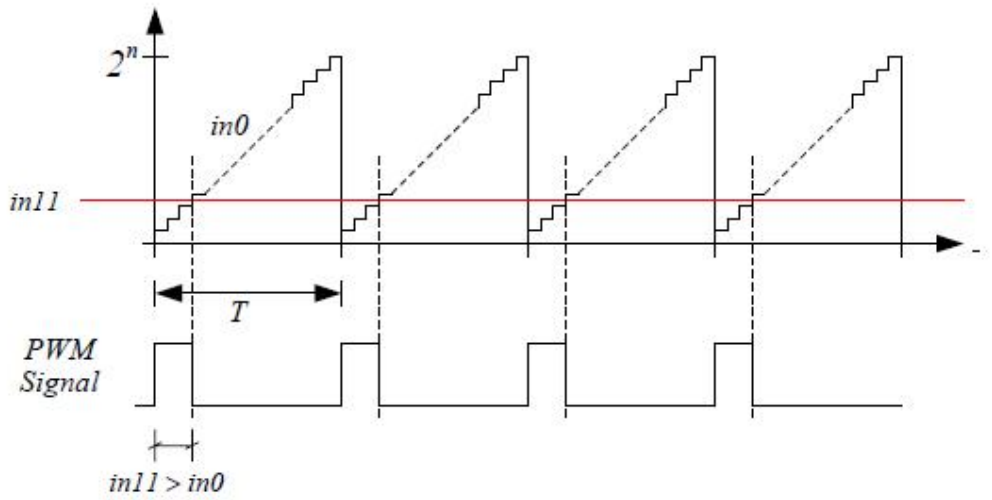
ภาพที่ 2.14 แสดงสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตที่ได้จากสัญญาณสามเหลี่ยมฟันเลื่อยกับควบคุมแรงดันที่เปรียบเทียบกันผลของการเปรียบเทียบเมื่อระดับของสัญญาณควบคุมแรงดันสูงกว่าระดับของสัญญาณสามเหลี่ยมฟันเลื่อยจะทำให้ได้ระดับของพัลซ์วิทมอดูเลตเป็นสูงสุดแต่เมื่อระดับของสัญญาณควบคุมแรงดันต่ำกว่าระดับของสัญญาณสามเหลี่ยมฟันเลื่อยจะทำให้ได้ระดับของพัลซ์วิทมอดูเลตเป็นต่ำสุดซึ่งคำนวณค่าดิวตี้ไซเคิลได้เท่ากับ

$$D = \frac{T_{on}}{T} + 100\%$$

โดยที่

- D : เปอร์เซ็นค่าดิวตี้ไซเคิล
- $T_{on}$ : ช่วงเวลาในสภาวะสูงสุด
- T : คาบเวลา

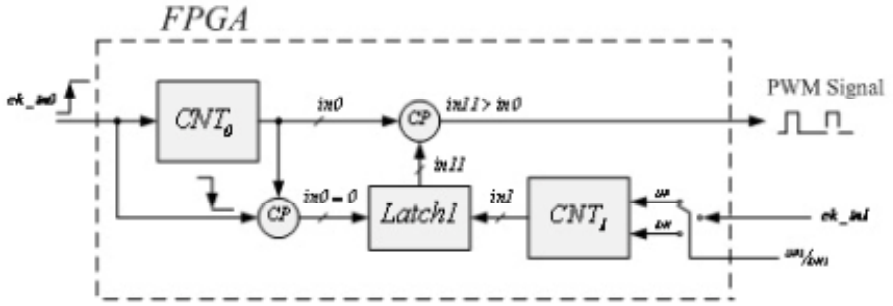
การสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตด้วยวงจรดิจิตอลจะใช้วงจรนับเป็นตัวนับสัญญาณนาฬิกา in0 ที่เข้ามาซึ่งค่าที่นับได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นรูปขั้นบันไดตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปและนำสัญญาณขั้นบันไดดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณอ้างอิง in11 ที่กำหนดผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตเป็นระดับลอจิกสูงสุดและต่ำสุดตามภาพที่ 2.15




ภาพที่ 2.15 การสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตด้วยหลักการทางดิจิตอล

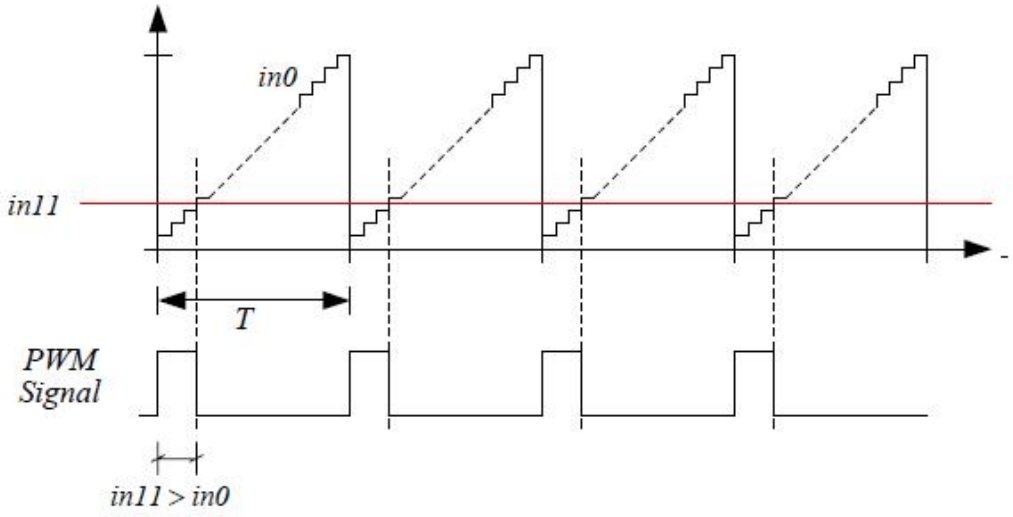
**2.5.3 การออกแบบระบบ**

ระบบที่ใช้จะออกแบบให้สัญญาณนาฬิกา ck _ in0 ป้อนเข้าสู่วงจรนับ CNT ซึ่งในนี้ใช้เป็นวงจรนับขึ้นขนาด 10 บิตสัญญาณเอาต์พุต in0 จะถูกนำไปเปรียบเทียบที่ CP กับค่า in11 ที่ได้จากวงจรนับ1 CNT ทุกๆรอบการนับที่ in0 = 0



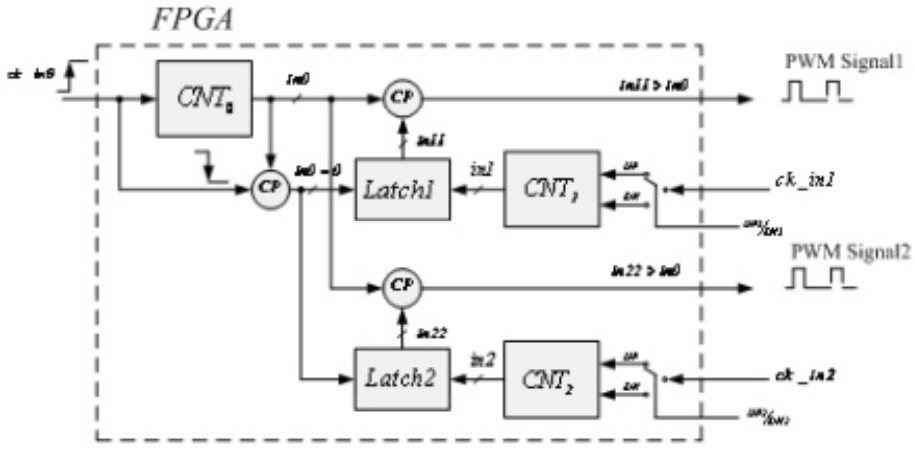

ภาพที่ 2.16 ระบบที่ได้ออกแบบไว้

วงจรนับ 1 CNT สามารถเลือกให้นับขึ้นหรือลงได้เพื่อกำหนดระดับสัญญาณอ้างอิงไปยังวงจร Latch1 เมื่อ in0 = 0 เพื่อรอการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวงจรนับ 0 CNT ซึ่งผลที่ได้จากการนำค่าของวงจรนับทั้งสองมาเปรียบเทียบกันทุกๆรอบ in0 = 0 จะได้ผลของการเปรียบเทียบ 3 ค่าคือ มากกว่าเท่ากับและน้อยกว่าในโครงงานนี้จะนำผลของสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบที่ค่า in11 มากกว่า in0 มาเป็นเอาต์พุตที่เป็นลอจิกสูงสุดดังแสดงในภาพที่ 2.16



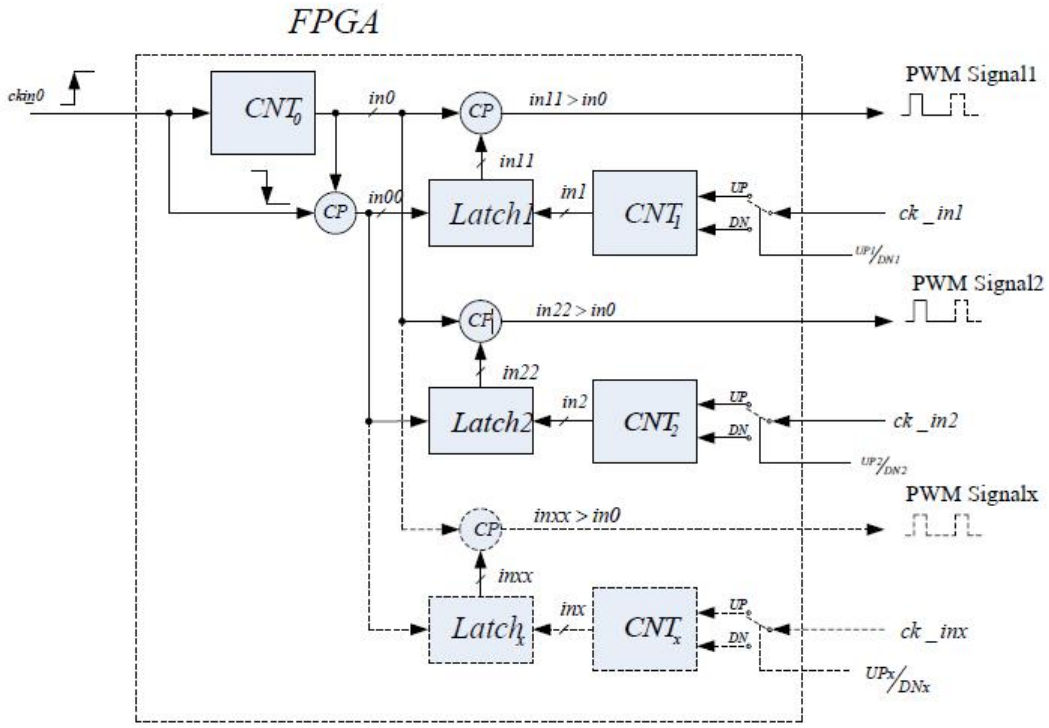

ภาพที่ 2.17 สัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้

จากภาพที่ 2.17 สามารถปรับความกว้างของพัลส์หรือดิวตี้ไซเคิลได้โดยการปรับระดับของค่า in 11 และสามารถปรับความถี่ของสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตได้ด้วยการปรับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ck _ in0 เพื่อให้มีรอบการนับต่อคาบเวลาน้อยลงในกรณีที่ต้องการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตเป็น 2 ช่องสัญญาณสามารถทำได้ดังภาพที่ 2.18




ภาพที่ 2.18 ระบบสำหรับกำเนิดสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตพร้อมกัน 2 ช่องสัญญาณ

จากรูปจะใช้วงจรนับ 0 CNT เป็นตัวกำหนดความถี่ของสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตและใช้ ck _ in1 ปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของพัลซ์วิทมอดูเลต Signal1 ใช้ ck _ in2 ปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของพัลซ์วิทมอดูเลต Signal2 การขยายช่องสัญญาณหรือเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณเป็นหลายช่องสัญญาณสามารถทำได้ดังภาพที่ 2.19

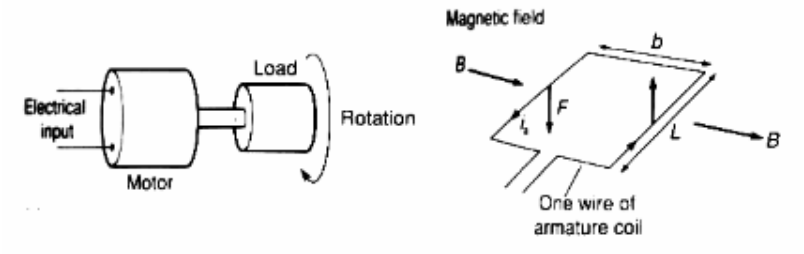



ภาพที่ 2.19 ระบบสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตแบบหลายช่องสัญญาณ

## 2.6 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง

### 2.6.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

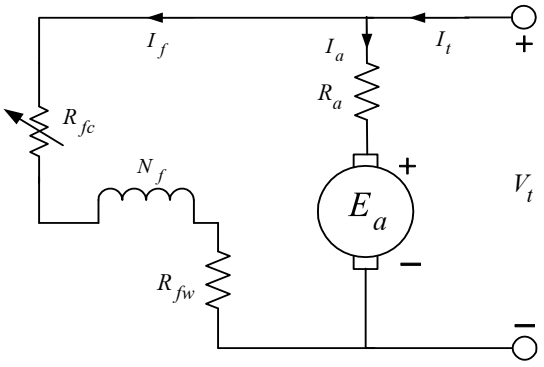
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ซึ่งส่วนที่เคลื่อนที่นี้เรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature) โดยจะมีขดลวดที่บรรจุลงในสล็อตของแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ซึ่งด้านปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ (Commentator) ซึ่งเป็นส่วนที่รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอกโดยผ่านแปรงถ่าน (Brushes) เข้ามาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ภายในมอเตอร์ แล้วสนามแม่เหล็กนี้จะกระทำร่วมกันกับกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างแรงบิดเพื่อไปหมุนอาร์มาเจอร์ เพื่อที่จะรักษา




ภาพที่ 2.20 แสดงการหมุนของอาร์มาเจอร์

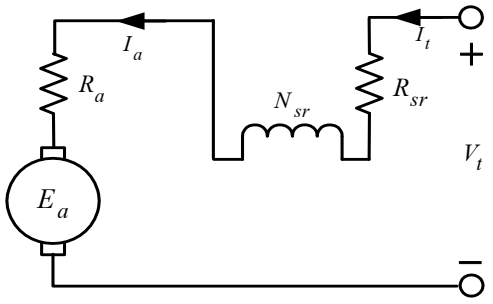
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีตรงที่สามารถจ่ายแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้มากกว่าแรงบิดขณะใช้งานปกติถึง 3เท่าหรือมากกว่าและในสถานการณ์ฉุกเฉินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่ายแรงบิดได้มากกว่าถึง 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติโดยปราศจากการหยุดกลางคัน (Stalling) (ต้นกำลังสามารถจ่ายกำลังให้ได้) การเบรคแบบ Dynamic (พลังงานที่เกิดจากมอเตอร์จะถูกป้อนเข้าไปยังขดลวดความต้านทาน) หรือการเบรคแบบ Regenerative (พลังงานที่เกิดจากมอเตอร์จะถูกป้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง) สามารถทำได้อย่างง่ายดายกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดอย่างรวดเร็วดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีเบรคทางกลหรืออาจจะลดขนาดของเบรคทางกลลงได้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะควบคุมความเร็วจนถึงศูนย์รอบต่อนาทีได้อย่างไม่มีอุปสรรคโดยการเร่งในทิศทางตรงกันข้ามอย่างทันทีทันใดโดยไม่ต้องสับเปลี่ยนวงจรกำลังและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุมได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากมันมีอัตราแรงบิดต่อความเฉื่อยสูง ขดลวดสนามแม่เหล็กมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดโดยแยกประเภทของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ออกเป็น

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor) มอเตอร์แบบนี้ขอลวดอาร์มาเจอร์จะต่อขนานกับลวดที่สเตเตอร์โดยให้ความเร็วที่ค่อนข้างคงที่ และแรงบิดขณะเริ่มเดินไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบอนุกรม



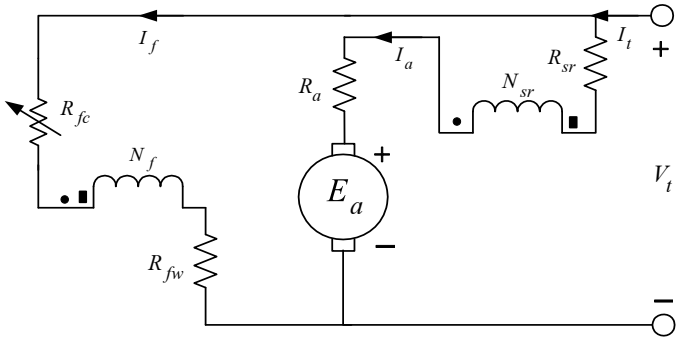

ภาพที่ 2.21 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor) มอเตอร์แบบนี้ขดลวดของอาร์มา เจอร์จะต่ออนุกรมกับขดลวดที่สเตเตอร์ ข้อดีของมอเตอร์แบบนี้ คือ ให้แรงบิดขณะเริ่มต้นสูง และมีความเร็วรอบต่ำเมื่อโหลดมากๆ และความเร็วสูงเมื่อโหลดน้อยๆ ซึ่งอาจจะทำให้มอเตอร์ได้รับอันตรายได้จึงควรต่อ (Coupling) โดยตรงกับโหลด




ภาพที่ 2.22 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Motor) มอเตอร์แบบนี้จะมีขดลวดที่สเตเตอร์ 2 ชุดและต่อเป็นแบบผสมร่วมกับขดลวดที่อาร์มาเจอร์ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือการนำมอเตอร์แบบอนุกรม และขนานมารวมไว้ในตัวเดียวกัน จึงทำให้คุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้อยู่ระหว่างมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ




ภาพที่ 2.23 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม

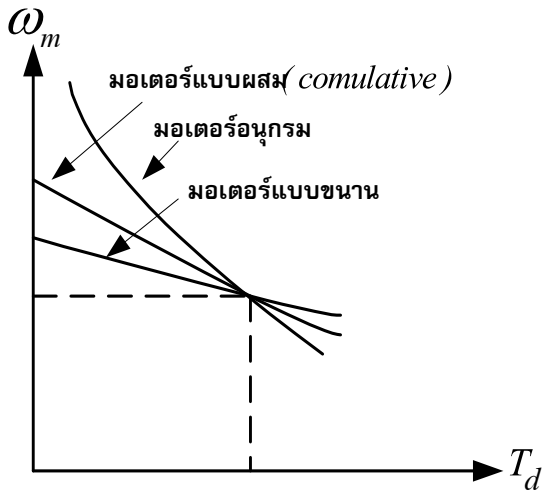
วิธีปรับความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนามแม่เหล็ก (Wound-field DC Motor) ตามพื้นฐานจะมี 2 วิธีได้แก่

- ควบคุมสนามแม่เหล็กแบบขนาน (Shunt – field Control)

การควบคุมทำได้โดยให้กระแสในขดลวดขนานของมอเตอร์มีค่าน้อย ๆเพื่อเพิ่มความเร็ว และเพื่อที่จะลดแรงบิดขาออกสำหรับกระแสในขดลวดอาร์มาเจอร์ที่กำหนดให้ เนื่องจากอัตรากระแสของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกกำหนดโดยความร้อน, กระแสในขดลวดอาร์มาเจอร์สูงสุดที่ยอมได้จะค่อนข้างคงที่ตลอดทุกช่วงความเร็วหมายความถึงที่กระแสไฟฟ้าที่ระบุไว้แรงบิดขาออกจะแปรผกผันกับความเร็วและมอเตอร์มีกำลังม้าคงที่ตลอดช่วงความเร็วระบบนี้จะดีสำหรับความเร็วที่มากกว่าความเร็วพื้นฐานเท่านั้นการลดความเร็วให้ต่ำกว่าความเร็วพื้นฐานทุกขณะทำได้โดยการเพิ่มการกระตุ้นสนามแม่เหล็กให้มากขึ้นแต่การกระตุ้นมากๆ เป็นเวลามากขึ้นจะทำให้มอเตอร์ร้อนเกินไปเช่นเดียวกับการทำให้สนามแม่เหล็กอิ่มตัวในมอเตอร์จะยอมให้ความเร็วลดลงเพียงเล็กน้อยสำหรับการเพิ่มแรงเคลื่อนเข้าไปในขดลวดมาก ๆช่วงความเร็วมาตรฐานสูงสุดโดยการควบคุมสนามแม่เหล็กคือ 3 ต่อ 1 และจะเกิดขึ้นเฉพาะกับความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วพื้นฐานเท่านั้นมอเตอร์พิเศษจะมีช่วงความเร็วมากกว่านี้ แต่ถ้าช่วงความเร็วมากกว่า 3 ต่อ 1 จะใช้วิธีควบคุมแบบอื่นสำหรับที่บางส่วนของช่วงความเร็ว

- ควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature-voltage Control) วิธีนี้

กระแสในขดลวดขนาด (Shunt-field) จากแหล่งจ่ายที่มีแยกไว้ต่างหากจะถูกรักษาให้คงที่ในขณะที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ในขดลวดอาร์มาเจอร์จะเปลี่ยนแปลงความเร็วจะเป็นสัดส่วนกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ (Counter-emf) ซึ่งเท่ากับแรงเคลื่อนที่ใช้ ลบด้วยความต้านทาน IR ตกคร่อมในวงจรอาร์มาเจอร์ที่กระแสที่ระบุไว้แรงบิดจะคงค้างอยู่อย่างคงที่โดยไม่คำนึงถึงความเร็ว (เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กคงที่)และดังนั้นมอเตอร์จึงมีปริมาณแรงบิดคงที่ตลอดทุกช่วยความเร็วได้กำลังม้าจะแปรงผันตรงกับความเร็วตามความเป็นจริงแล้วเมื่อมอเตอร์ที่มีการระบายอากาศใน




ภาพที่ 2.24 การเปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติระหว่างแรงบิด และความเร็ว ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดต่าง

การคำนวณหาค่าแรงบิด (Torque) หาได้จาก

$$T = F \times R \qquad \text{(N.M.)}$$

โดยที่

- T : แรงบิด (Torque)
- F : แรงโหลด
- R : รัศมีครึ่งวงกลม

เมื่อได้ค่าแรงแรงบิด (Torque) จะมีการคำนวณหาความเร็วเชิงมุม

$$\omega = 2\pi N/60 \qquad \text{(Rad/s)}$$

โดยที่

- $\omega$ : ความเร็วเชิงมุม
- N : ความเร็วรอบของมอเตอร์

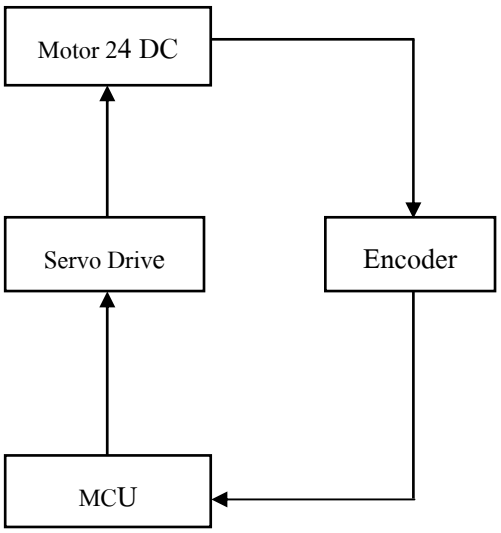
ดังนั้น ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ หาได้จาก

$$P_O = T \times \omega \qquad \text{(W)}$$

# บทที่ 3

## การออกแบบโครงงาน

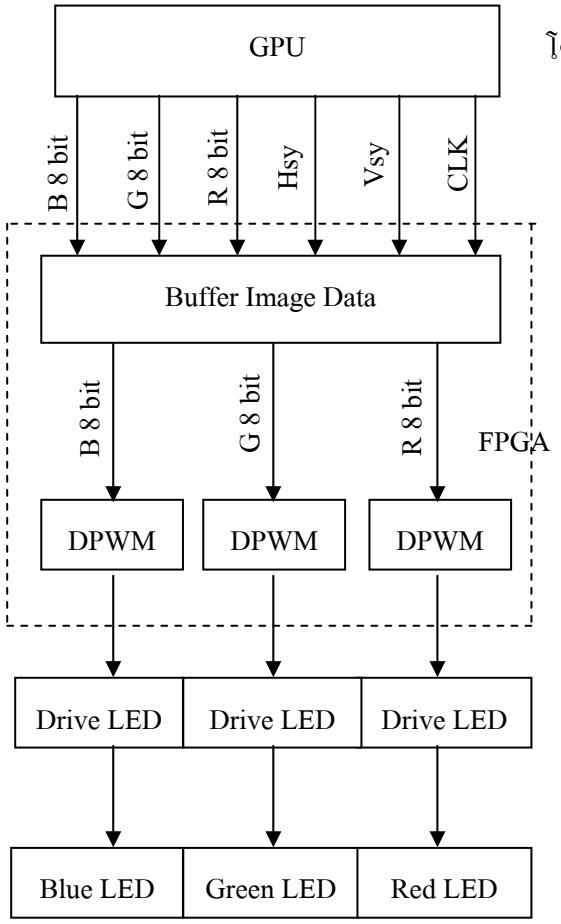
สำหรับกระบวนการในการออกแบบนี้มีอยู่ทั้งหมด 5 ส่วนด้วยกัน คือ การเลือกใช้มอเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและบอร์ดชุดควบคุมมอเตอร์, การออกแบบชุดแหล่งจ่าย, การเลือกใช้บอร์ด ARM9 MINI 2440B และการออกแบบชุดบอร์ดรองรับ MINI 2440B, การออกแบบชุดวงจรมาสเตอร์บอร์ดเอฟพีจีเอ, การออกแบบชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี โดยทั้ง 5 ส่วนนี้จะต้องทำงานเข้าด้วยกัน จึงทำการออกแบบและคำนวณแยกกันในแต่ละส่วน เพื่อลำดับการออกแบบโครงสร้างดังภาพที่ 3.1 และภาพที่ 3.2 ที่แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ได้ออกแบบกระบวนการทำงานของโครงงานแสดงภาพสีจริงบนไดโอดเปล่งแสงแบบหมุนรอบทิศทาง




โดยที่

- Motor 24 DC : มอเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 V.
- Servo Drive : วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
- Encoder : ชุดวัดการหมุนมอเตอร์
- MCU : ชุดควบคุมโมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิต

ภาพที่ 3.1 ชุดวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์




โดยที่

- GPU : ส่วนประมวลผลทางกราฟฟิก
- B 8 bit : สีข้อมูลขนาด 8 บิต สีน้ำเงิน
- G 8 bit : สีข้อมูลขนาด 8 บิต สีเขียว
- R 8 bit : สีข้อมูลขนาด 8 บิต สีแดง
- Hsy : สัญญาณภาพแนวนอน
- Vsy : สัญญาณภาพแนวตั้ง
- CLK :สัญญาณนาฬิกา
- FPGA : Field Programmable Gate Array
- Buffer Image Data : ส่วนสัญญาณรับภาพชั่วคราว
- DPWM : Digital Pulse Width Modulation
- Drive LED : ชุดขับเคลื่อนไดโอดเปล่งแสง
- Blue LED : ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน
- Green LED : ไดโอดเปล่งแสงสีเขียว
- Red LED : ไดโอดเปล่งแสงสีแดง

ภาพที่ 3.2 ชุดวงจรควบคุมการแสดงผลภาพของไดโอดเปล่งแสง 3 สี

## 3.1 การเลือกใช้มอเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและบอร์ดชุดควบคุมมอเตอร์

### 3.1.1 การเลือกใช้มอเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

สำหรับการเลือกใช้มอเตอร์ ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ มีความเร็วรอบอยู่ที่ 3000 รอบต่อนาที โดยโครงงานนี้มีความต้องการความเร็วรอบมอเตอร์อยู่ที่ 1800 รอบต่อนาที สามารถรับแรงโหลดได้ 1 กิโลกรัม จากที่ทำการคำนวณในบทที่ 2 สามารถคำนวณค่าแรงบิตได้ 1.128 นิวตันเมตร มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ 212.5 วัตต์ และสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดที่ 10.41 แอมป์ โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| แรงที่ใช้ | 0.5 | kg | มีรัศมี | 0.23 | m |
| ความเร็วรอบที่เลือกใช้ | 1800 | rpm | แรงดันที่เลือกใช้ | 24 | Vdc |

หาค่าแรงบิด(Torque) $T = F \times R$ (N.M.)

$= (0.5kg)(9.81\ N/kg)(0.23\ m)(N.M.)$

$= 1.128$ N.M.

เมื่อความเร็วเชิงมุม $\omega = 2\pi N/60$ (Rad/s)

$= ((2)(3.14)(1800))/60$ (Rad/s)

$= 188.4$ Rad/s

ดังนั้น กำลังที่เกิดขึ้น $P_O = T \times \omega$ (W)

$= (1.128\ N.M)(188.4\ Rad/s)$ (W)

$= 212.5$ W

หากระแสไฟเพื่อออกแบบแหล่งจ่าย

$I = P/(0.85 \times V)$ (A)

$= (212.5\ W)/(0.85 \times 24\ Vdc)$ (A)

$= 10.41$ A

### 3.1.2 ชุดวัดการหมุนมอเตอร์ (Encode)

ชุดวัดการหมุนมอเตอร์ที่เลือกใช้นั้นมีขนาด 200 ลูกสัญญาณต่อหนึ่งรอบ โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

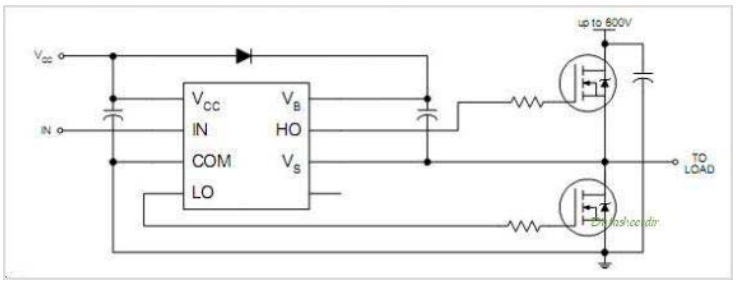
ภาพที่ 3.3 ชุดวัดการหมุนมอเตอร์ (Encode)

### 3.1.3 ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)

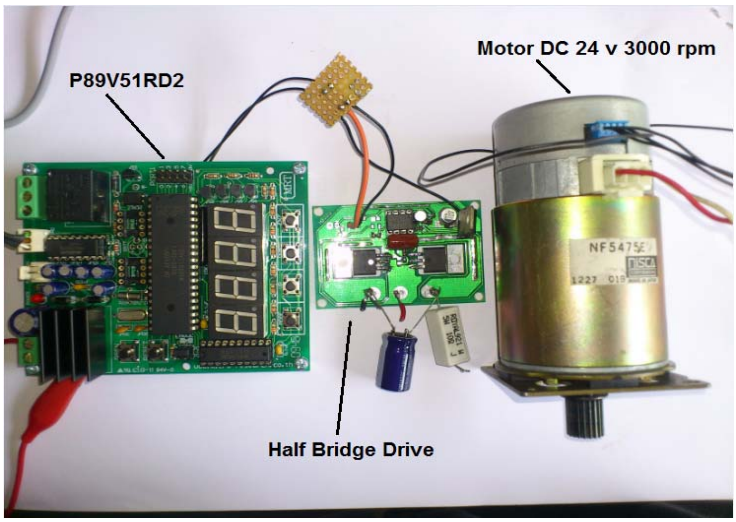
ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ชุดบอร์ด P89V51RD2 ซึ่งอยู่ในตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยสามารถสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้ได้ตามที่ต้องการ พร้อมทั้งมีชุดแสดงผล 7-segment 4 หลักเพื่อบอกความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ ซึ่งเลือกซื้อจาก บริษัท MRT บอร์ดรุ่น MCS-BASE1

### 3.1.4 ชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (Servo Drive)

ชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นแบบ Half Bridge ขนาดไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20 แอมป์ มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 24 โวลต์ ซึ่งชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์นี้สามารถขับเคลื่อนการหมุนของมอเตอร์ให้มีการหมุนไปในทิศทางเดียว ดังภาพที่ 3.4 เป็นการแสดงรูปวงจร



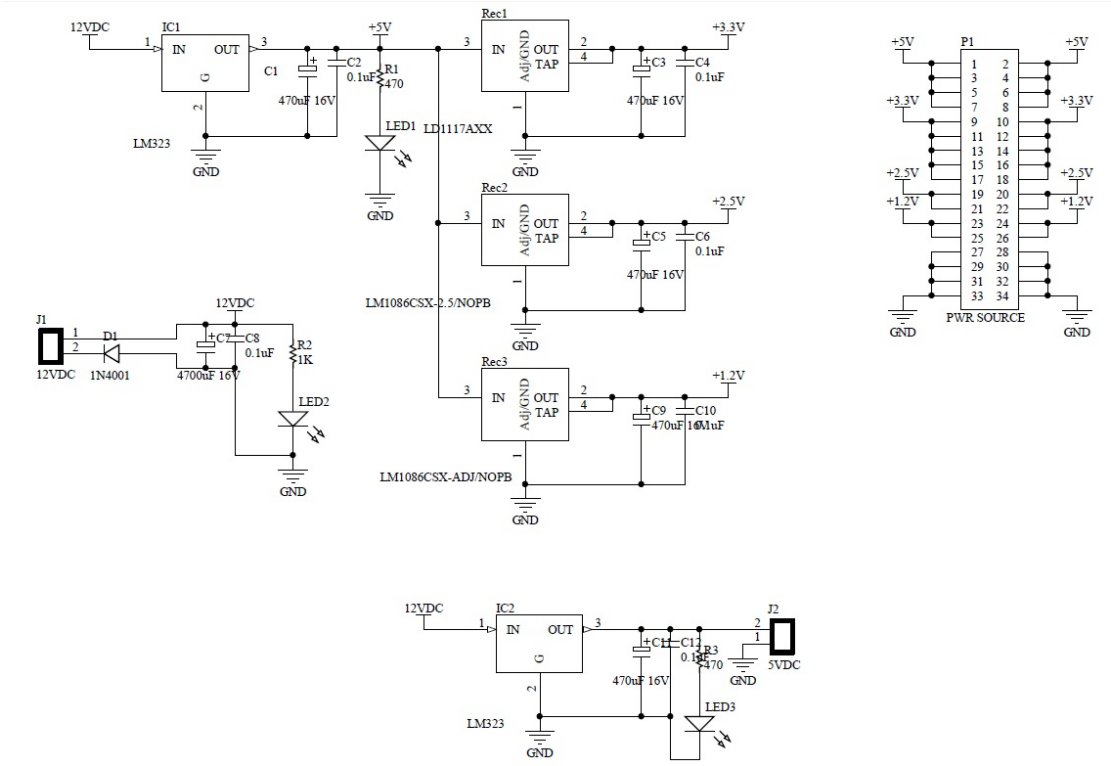

ภาพที่ 3.4 ชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (Servo Drive)




ภาพที่ 3.5 ชุดควบคุมมอเตอร์

### 3.2 การออกแบบชุดแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

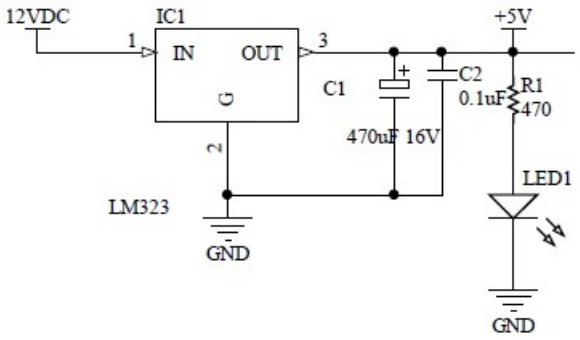
ชุดแหล่งจ่ายที่ออกแบบไว้จะมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่ใช้สำหรับจ่ายไฟให้ชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ ส่วนที่ใช้สำหรับจ่ายไฟให้ชุดบอร์ด MINI 2440B และส่วนที่ใช้สำหรับจ่ายไฟให้ชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง ดังภาพที่ 3.6 เป็นชุดวงจรไฟฟ้า และภาพที่ 3.12 เป็นชุดวงจรบอร์ดวงจร




ภาพที่ 3.6 ชุดวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

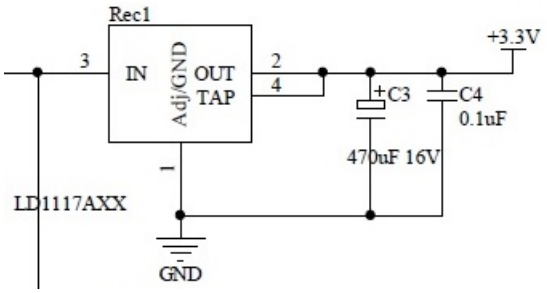
หน้าที่และการทำงานแต่ละส่วนของชุดวงจรในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

- ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ มีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา 12 โวลต์ ให้เป็น 5 โวลต์ เพื่อนำไฟฟ้าไปจ่ายให้กับชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง โดยจะให้กระแสที่ 3 แอมป์ ในชุดวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ LM323 เป็นตัวหลักในการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.7



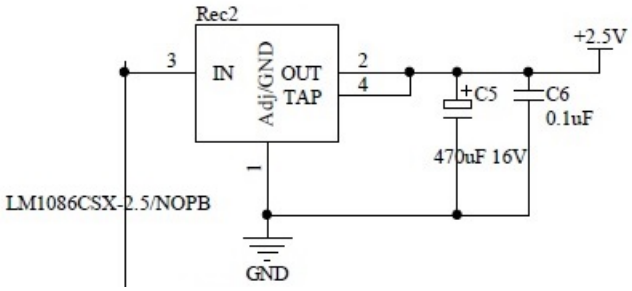

ภาพที่ 3.7 ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ สำหรับชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง

- ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เป็น 1.2 โวลต์ มีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา 5 โวลต์ ให้เป็น 1.2 โวลต์ เพื่อนำไฟฟ้าไปจ่ายให้กับชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ ในส่วนที่ 1 โดยจะให้กระแสที่ 1 แอมป์ ในชุดวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ LD1117A12 เป็นตัวหลักในการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.8



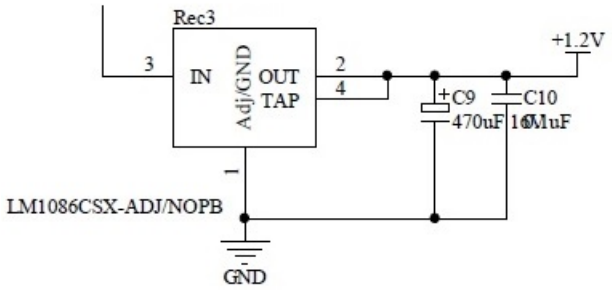

ภาพที่ 3.8 ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เป็น 1.2 โวลต์ สำหรับชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ

- ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เป็น 2.2 โวลต์ มีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา 5 โวลต์ ให้เป็น 2.2 โวลต์ เพื่อนำไฟฟ้าไปจ่ายให้กับชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ ในส่วนที่ 2 โดยจะให้กระแสที่ 1 แอมป์ ในชุดวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ LM1085CSX-25NOPB เป็นตัวหลักในการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.9



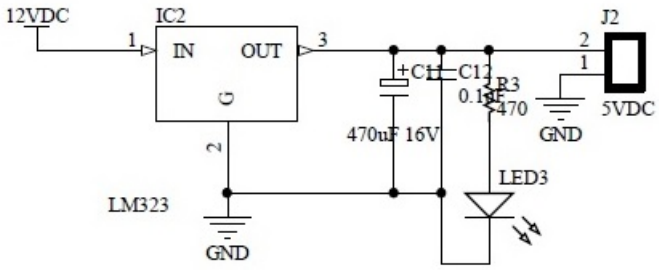

ภาพที่ 3.9 ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เป็น 2.2 โวลต์ สำหรับชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ

- ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เป็น 3.3 โวลต์ มีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา 5 โวลต์ ให้เป็น 3.3 โวลต์ เพื่อนำไฟฟ้าไปจ่ายให้กับชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ ในส่วนที่ 3 โดยจะให้กระแสที่ 3 แอมป์ ในชุดวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ LM1086CSX-33NOPB เป็นตัวหลักในการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.1จ

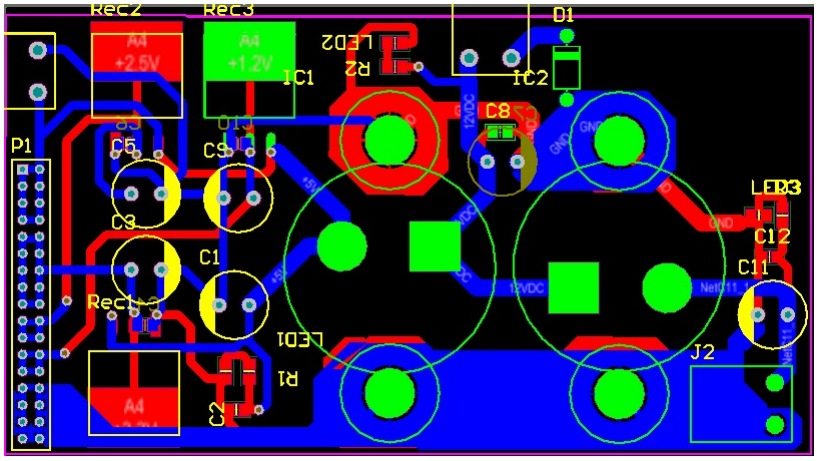



ภาพที่ 3.10 ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เป็น 3.3 โวลต์ สำหรับชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ

- ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ มีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา 12 โวลต์ ให้เป็น 5 โวลต์ เพื่อนำไฟฟ้าไปจ่ายให้กับชุดบอร์ด MINI 2440B โดยจะให้กระแสที่ 3 แอมป์ ในชุดวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ LM323 เป็นตัวหลักในการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.11



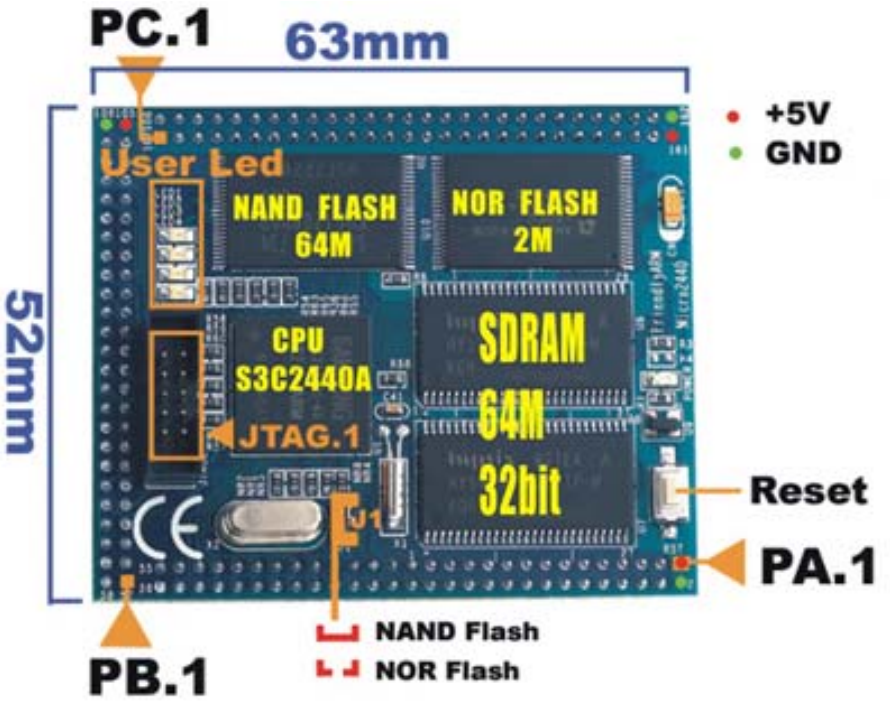

ภาพที่ 3.11 ชุดวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ สำหรับชุดบอร์ด MINI 2440B



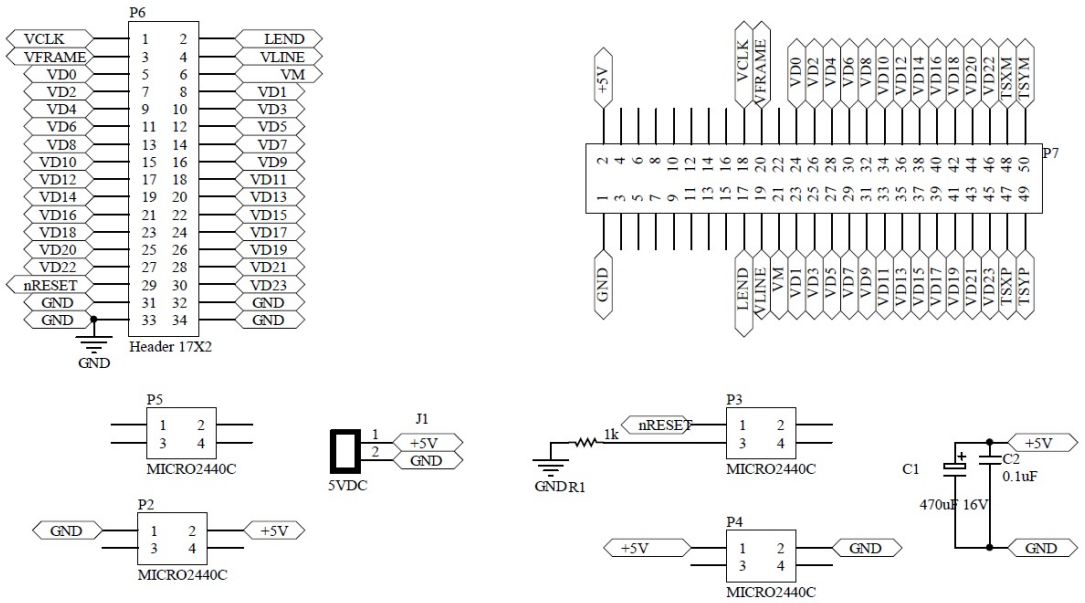

ภาพที่ 3.12 ชุดบอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

### 3.3 การเลือกใช้บอร์ด ARM9 MINI 2440B และการออกแบบชุดบอร์ดรองรับ MINI 2440B

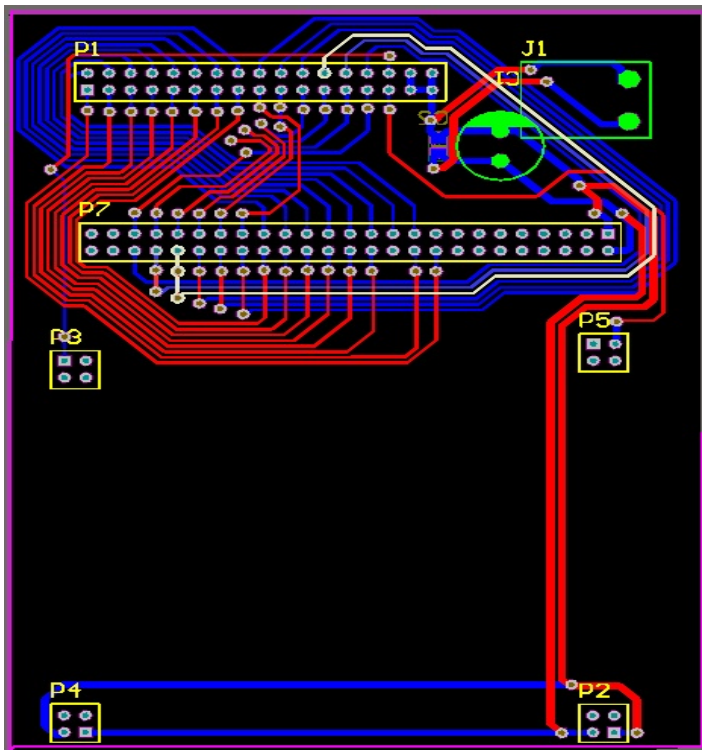
การเลือกใช้บอร์ด ARM9 MINI 2440B ของบริษัท ETT เป็นตัวประมวลผล มีระบบปฏิบัติการในตัว เป็น WinCE ที่สามารถเชื่อมต่อกับจอภาพประเภท TFT ได้โดยตรง ซึ่งในโครงงานนี้นำมาเป็นตัวประมวลผลภาพ เพื่อส่งสัญญาณภาพเข้าสู่ชุดมาสเตอร์เบอร์เอฟพีจีเอ แสดงดังภาพที่ 3.13, ภาพที่ 3.14 เป็นชุดออกแบบชุดบอร์ดรองรับขา MINI 2440B เพื่อให้ตรงกับขาที่เลือกใช้งานในการส่งสัญญาณภาพ และภาพที่ 3.20 เป็นการแสดงชุดบอร์วงจรรองรับ ARM9 MICRO2440B




ภาพที่ 3.13 ชุดบอร์ด MINI 2440B



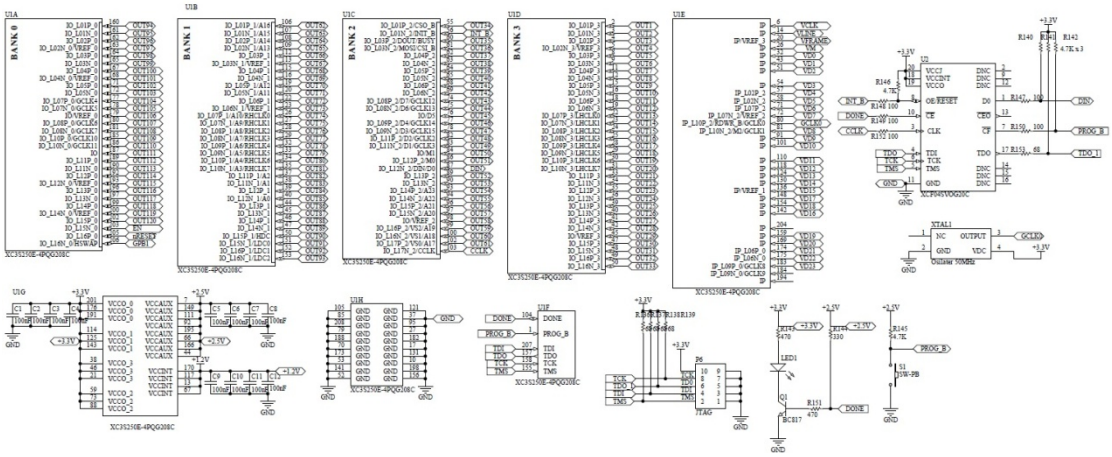

ภาพที่ 3.14 ชุดวงจร ARM9 MICRO2440B




ภาพที่ 3.15 ชุดบอร์ดวงจร ARM9 MICRO2440B

### 3.4 การออกแบบชุดวงจรมาสเตอร์บอร์ดเอฟพีจีเอ

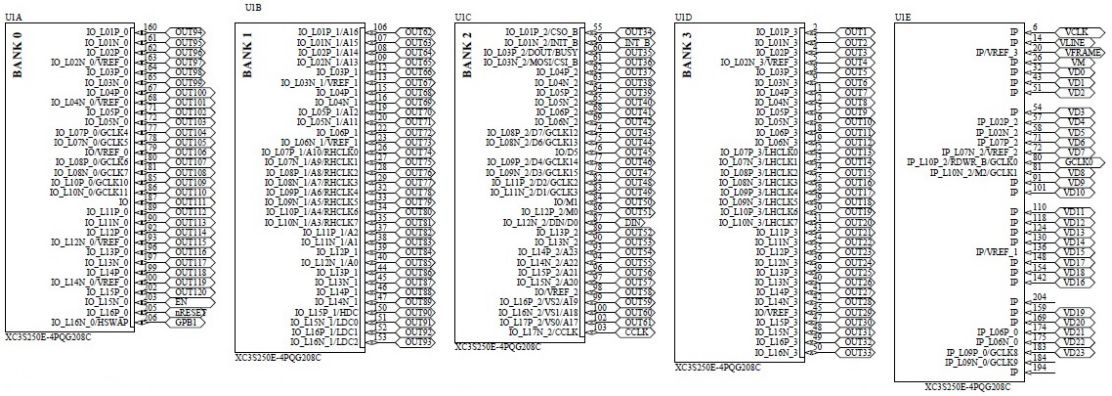
ชุดมาสเตอร์บอร์ดเอฟพีจีเอ จะมีชุดบอร์ดที่ออกแบบทั้งหมด 3 ชุดด้วยกัน โดยชุดบอร์ดเอฟพีจีเอจะเป็นชุดบอร์ดสำหรับรับข้อมูลสัญญาณภาพจาก ARM9 จัดรูปแบบข้อมูล แล้วประมวลผลภาพ เพื่อส่งข้อมูลผลภาพทีละบิตข้อมูลให้กับส่วนสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต เปรียบเทียบข้อมูลระดับ 8 บิต ให้ตรงกับสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตแต่ละค่านั้นๆ แล้วจึงส่งสัญญาณเอาท์พุตพัลซ์วิทมอดูเลตไปให้กับวงจรขับเลื่อนไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ไอซีเบอร์ 74245 เป็นตัวเพิ่มกระแสขับเคลื่อนให้แก่สัญญาณเอาท์พุตพัลซ์วิทมอดูเลตของมาสเตอร์บอร์ดเอฟพีจีเอ เพื่อไปขับไอซีเบอร์ ULN2803 ที่จะปรับขนาดแรงดันจาก 3.3 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ และปรับขนาดของกระแสที่ไปอยู่ในช่วงที่สามารถขับเคลื่อนไดโอดเปล่งแสงได้ แล้วจึงส่งสัญญาณไปให้แก่บอร์ดไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสีอีกที



ภาพที่ 3.16 ชุดวงจร FPGA BOARD

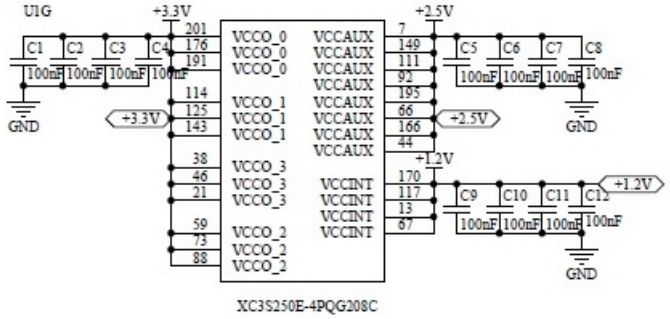
หน้าที่และการทำงานแต่ละส่วนของชุดวงจรมาสเตอร์บอร์ดเอฟพีจีเอ

- ชุดกลุ่มขาไฟเข้า/ขาไฟออกของพอร์ตเอฟพีจีเอ โดยแบ่งออกเป็น Bank ตั้งแต่ 0-4 และ Bank แต่ละส่วนจะมีขาตั้งแต่ 30, 32, 31, 33, 32 เรียงตามลำดับแสดงดังภาพที่ 3.17



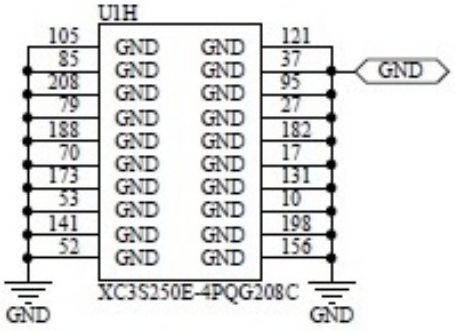
ภาพที่ 3.17 ชุดกลุ่มขาไฟเข้า/ขาไฟออกของพอร์ตเอฟพีจีเอ

- ชุดขาต่อแหล่งจ่ายของเอฟพีจีเอ โดยแบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 3 ส่วน คือ 1.2 โวลต์, 2.2 โวลต์, 3.3 โวลต์แสดงดังภาพที่ 3.18



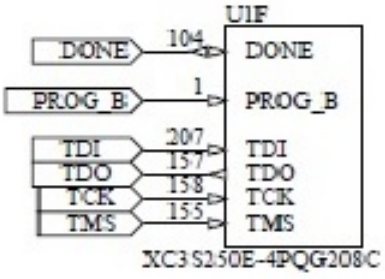

ภาพที่ 3.18 ชุดขาต่อแหล่งจ่ายของเอฟพีจีเอ

- ชุดเชื่อมต่อขากราวด์ของเอฟพีจีเอ แสดงดังภาพที่ 3.19



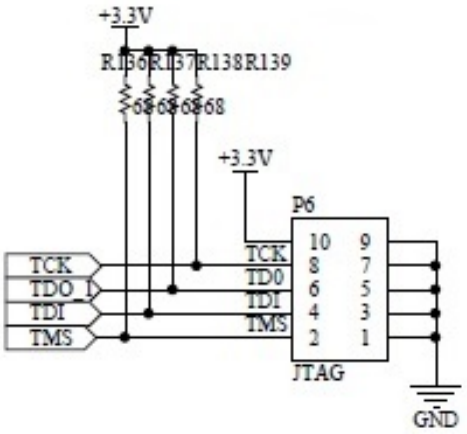

ภาพที่ 3.19 ชุดเชื่อมต่อขากราวด์ของเอฟพีจีเอ

- ชุดเชื่อมต่อโปรแกรมของเอฟพีจีเอ แสดงดังภาพที่ 3.20



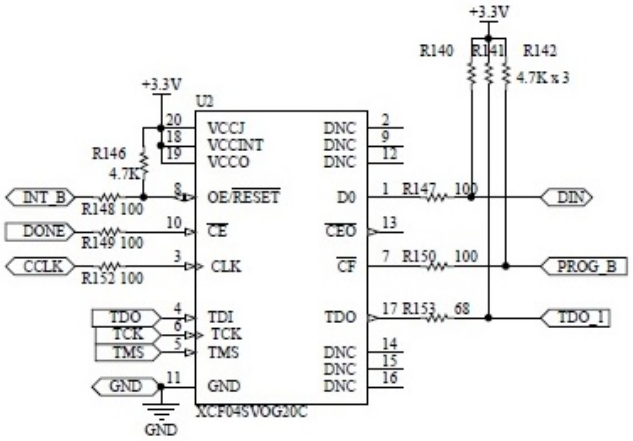

ภาพที่ 3.20 ชุดเชื่อมต่อโปรแกรมของเอฟพีจีเอ

- ชุดเชื่อมต่อขาดหลดโปรแกรมของเอฟพีจีเอ แสดงดังภาพที่ 3.21



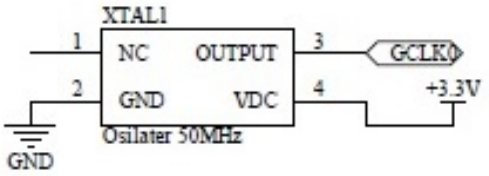

ภาพที่ 3.21 ชุดเชื่อมต่อขาโหลดโปรแกรมของเอฟพีจีเอ

- ชุด EPROM ของเอฟพีจีเอ แสดงดังภาพที่ 3.22



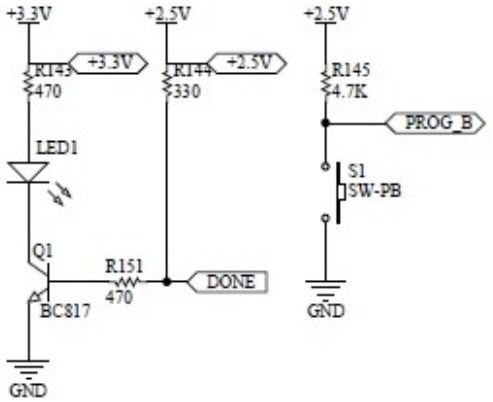

ภาพที่ 3.22 ชุด EPROM ของเอฟพีจีเอ

- ชุดสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับเอฟพีจีเอ แสดงดังภาพที่ 3.23



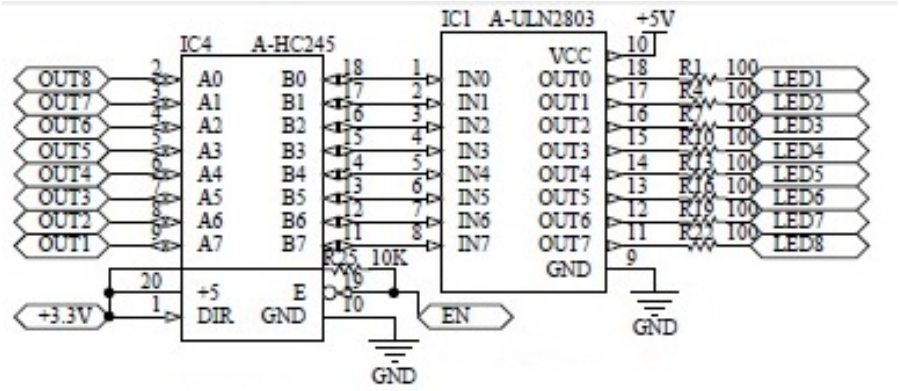

ภาพที่ 3.23 ชุดสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับเอฟพีจีเอ

- ชุดสวิตซ์รีเซ็ตของเอฟพีจีเอ แสดงดังภาพที่ 3.24



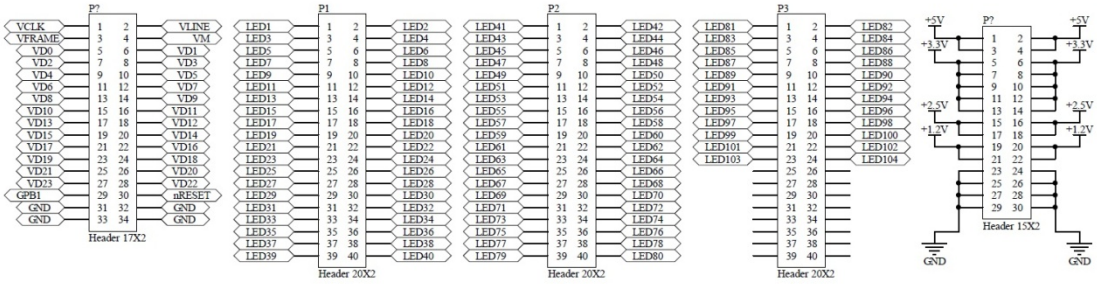

ภาพที่ 3.24 ชุดสวิตซ์รีเซ็ตของเอฟพีจีเอ

- ชุดวงจรเพิ่มกระแสไดโอดเปล่งแสง มีหน้าที่ใช้ในการขยายสัญญาณมาจากชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ โดยใช้ไอซีเบอร์ 74HC245 เป็นตัวขยายสัญญาณ เมื่อรับและขยายสัญญาณมาแล้ว ก็จะนำไปผ่านไอซีเบอร์ ULN2803 ก่อนจะส่งสัญญาณไปเพิ่มกระแสไดโอดเปล่งแสงต่อไป เพื่อเป็นการเพิ่มกระแสในการขับเคลื่อนไดโอดเปล่งแสง โดยชุดวงจรเพิ่มกระแสไดโอดเปล่งแสงนั้น 1 ชุด สามารถเพิ่มกระแสได้ 8 ช่องสัญญาณ ในโครงงานนี้ใช้ทั้งหมด 3 สี ซึ่งแต่ละสีจะใช้สีละ 120 ช่องสัญญาณ รวมทั้งหมด 3 สี จะใช้ช่องสัญญาณทั้งหมด 360 ช่องสัญญาณ ดังนั้นชุดที่ใช้วงจรเพิ่มกระแสไดโอดเปล่งแสง ทั้งหมด 45 ช่องสัญญาณ แสดงดังภาพที่ 3.25

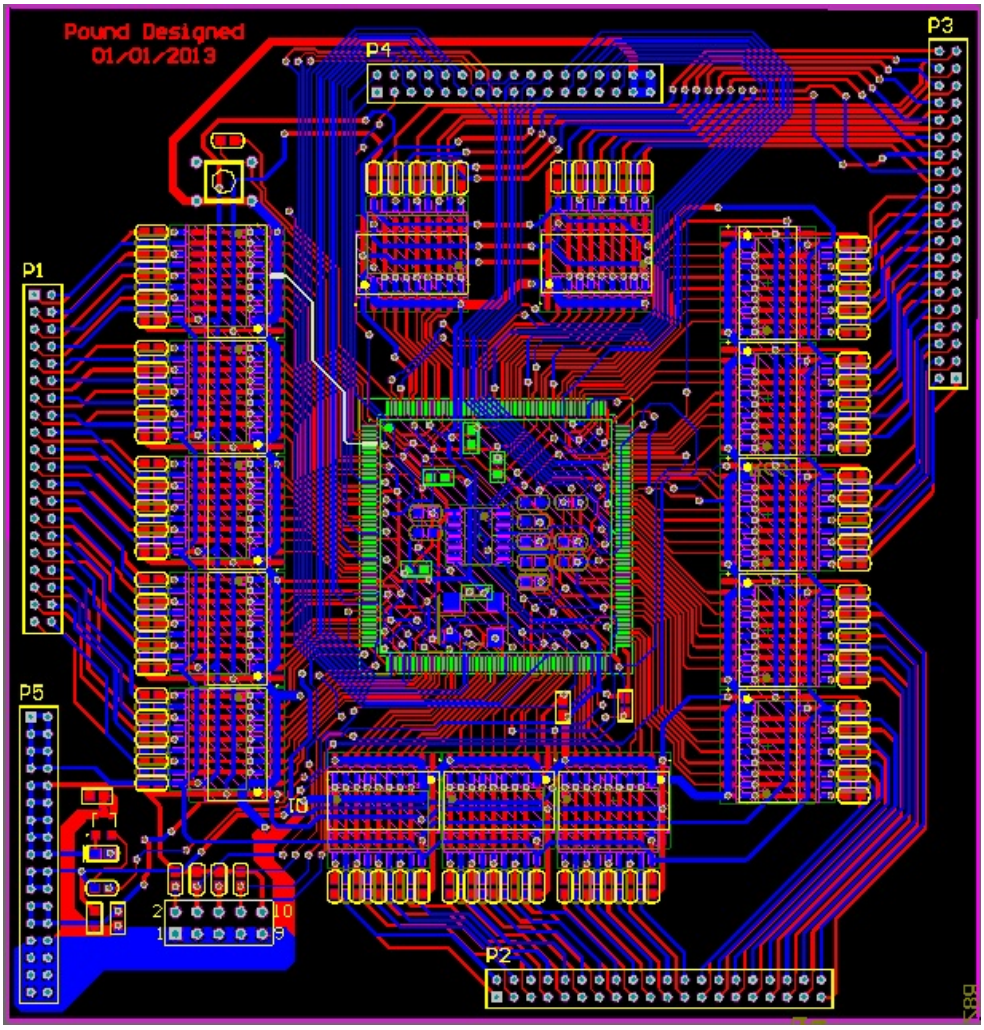



ภาพที่ 3.25 ชุดวงจรเพิ่มกระแสไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 3.26 ชุดวงจรเพิ่มกระแสไดโอดเปล่งแสงทั้งหมด



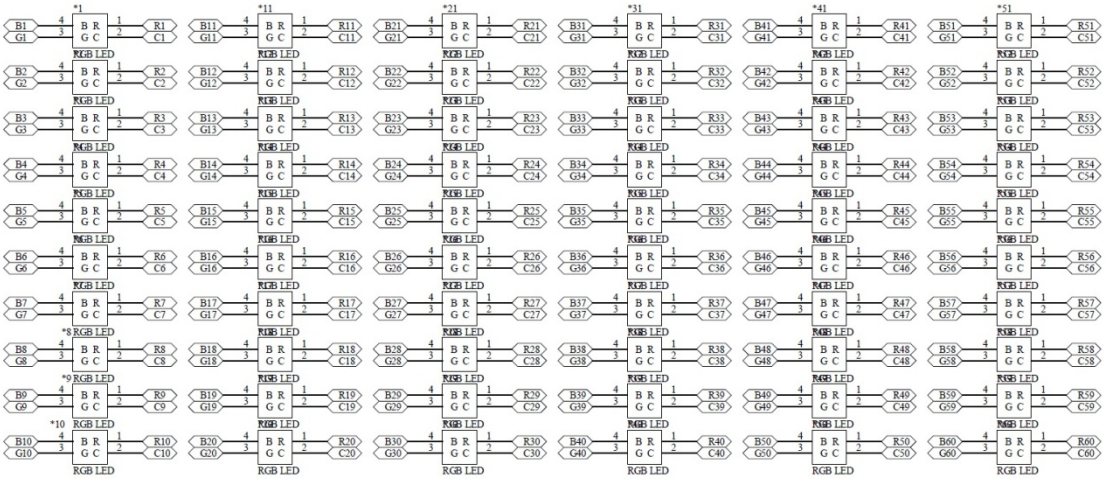

ภาพที่ 3.27 ชุดวงจรขาเชื่อมต่อ




ภาพที่ 3.28 ชุดบอร์ดวงจรมาสเตอร์บอร์ดเอฟพีจีเอ

### 3.5 การออกแบบชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี

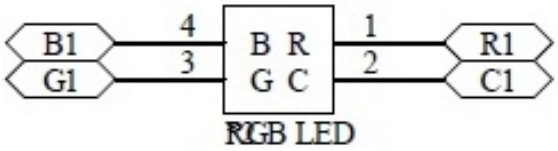
ชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี เป็นส่วนในการแสดงผลภาพ ที่รับสัญญาณจากเอฟพีจีเอ โดยในชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง นี้ได้ออกแบบทั้งหมด 2 บอร์ด โดยหนึ่งบอร์ดจะมีไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี ทั้งหมด 60 ตัวด้วยกัน ดังภาพที่ 3.29 เป็นชุดวงจรไฟฟ้า และภาพที่ 3.31 เป็นชุดบอร์ดวงจร



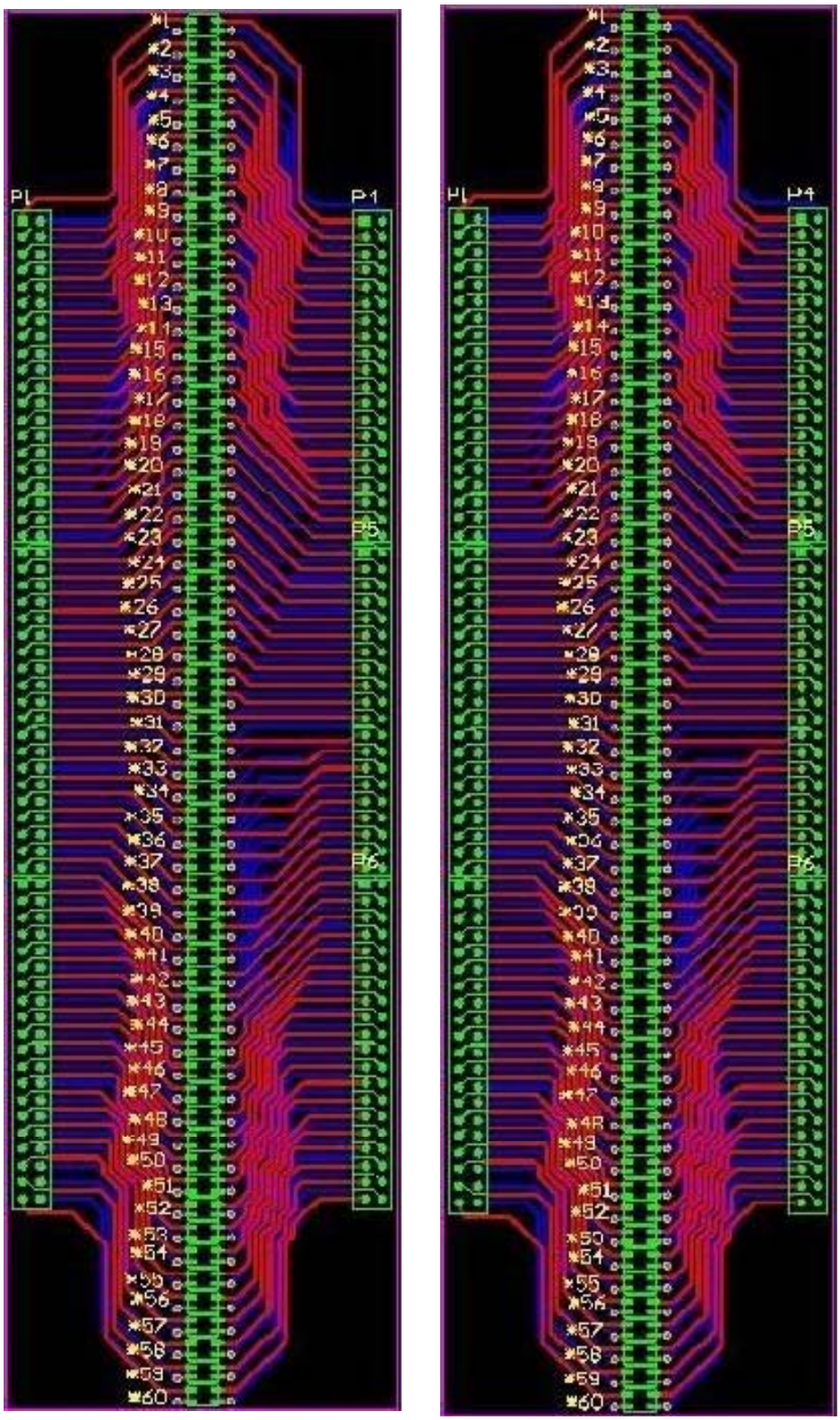
ภาพที่ 3.29 ชุดวงจรไดโอดเปล่งแสง

หน้าที่และการทำงานแต่ละส่วนของชุดวงจรไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี

- ชุดหลอดไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี ภายในของตัวอุปกรณ์ 1 ตัวนั้นมีอยู่ 4 ขา ซึ่งในแต่ละขาจะบอกการใช้งานดังต่อไปนี้ ขา R เป็นขาไฟสีแดง, ขา C เป็นขารวมไฟบวก, ขา G เป็นขา สีเขียว, ขา B เป็นขา สีน้ำเงิน โดยโครงงานนี้ได้ใช้ไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสีทั้งหมด 120 ดวง นำมาเรียงต่อกันในแนวตั้ง ภาพที่ 3.30 เป็นการแสดงภาพบอกสัญลักษณ์ขาของไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี



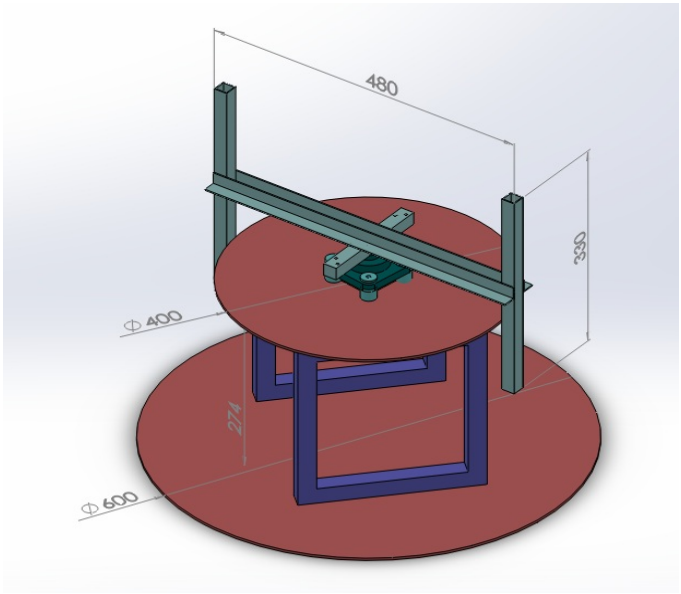

ภาพที่ 3.30 สัญลักษณ์ขาของไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี



ภาพที่ 3.31 ชุดบอร์ดวงจรไดโอดเปล่งแสง

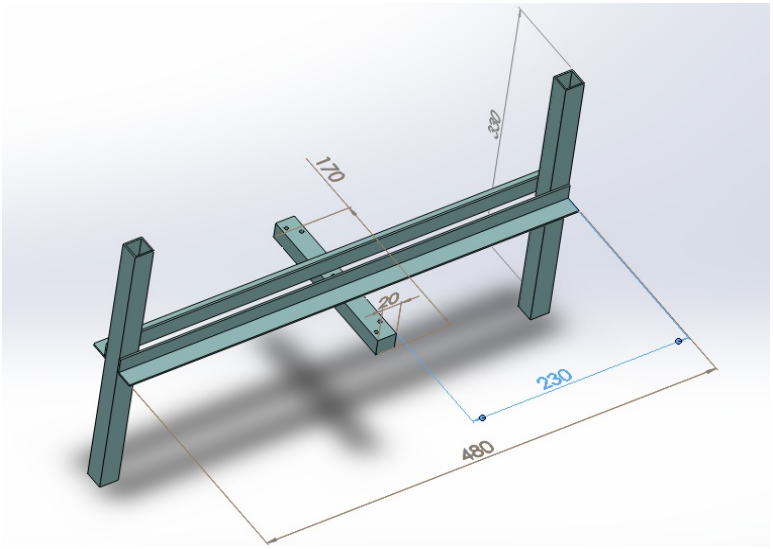
**3.6 การออกแบบโครงงาน**

- การออกแบบโครงสร้าง โครงงานการแสดงภาพสีจริงแบบหมุนรอบทิศทางแนวคิดการออกแบบจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีการหมุนรอบทิศทางในแกนแนวตั้ง เพื่อเพิ่มมุมมองได้ 360 องศา ในส่วนประกอบของโครงสร้างนั้นจะมีแผ่นเหล็กอยู่ 2 แผ่น เพื่อเป็นการถ่วงน้ำหนักของโครงสร้างไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ตามแรงเหวี่ยงของการหมุน ในส่วนของแผ่นเหล็กส่วนที่ 1 จะเป็นส่วนฐานของโครงงานซึ่งจะมีขนาดที่ใหญ่ เพื่อให้มีความมั่นคง และในส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนใช้สำหรับยึดกับมอเตอร์ และเป็นฐานรองรับกับส่วนที่ใช้สำหรับยึดเพลามอเตอร์ด้วย ซึ่งในส่วนที่ออกแบบมาให้มีลักษณะทรงกลม เพื่อเป็นการรองรับกับตัวโครงงานที่มีการหมุนแบบวงกลม ดังแสดงภาพแบบและขนาดของโครงสร้าง ดังภาพที่ 3.32



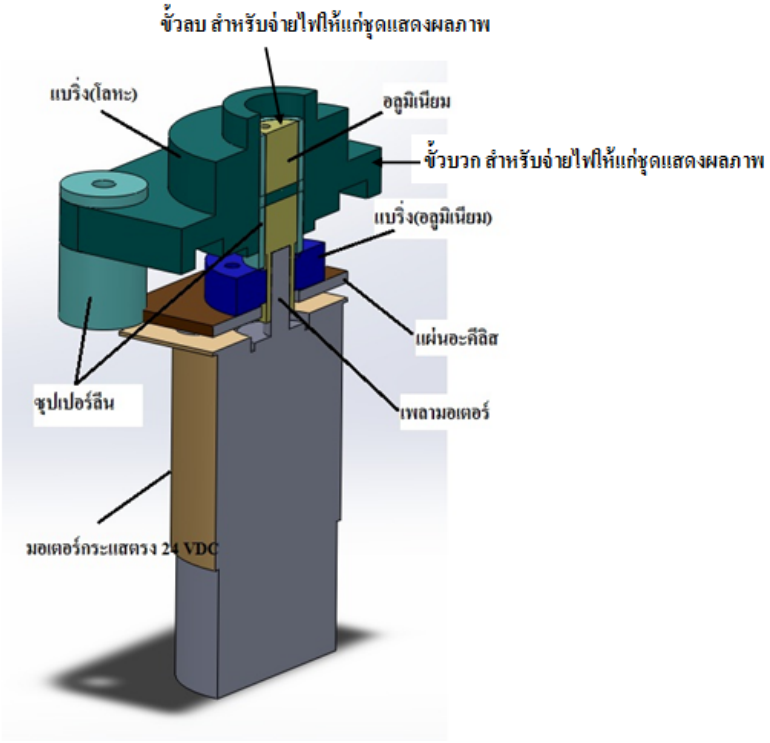

ภาพที่ 3.32 โครงสร้างและขนาดของโครงงานการแสดงภาพสีจริงแบบหมุนรอบทิศทาง (หน่วย : มิลลิเมตร)

- การออกแบบแกนเหวี่ยง เป็นการออกแบบมาเพื่อให้มีแกนแนวตรงมารองรับชุดบอร์ดไดโอดเปล่งแสง 3เฉดสี รวมทั้งในส่วนกลางของแกนเหวี่ยงเป็นตัวสำหรับยึดกับเพลาของมอเตอร์และเป็นส่วนสำหรับรองรับชุดบอร์ดแสดงผลด้วย ในการออกแบบแกนเหวี่ยงนั้น จะมีการออกแบบมาให้มีความยาวที่สอดคล้องกับโครงสร้าง เพื่อให้เกิดการสมดุลในการหมุน และมีความ




ภาพที่ 3.33 ขนาดแกนเหวี่ยง (หน่วย: มิลลิเมตร)

- ในการออกแบบการส่งไฟกระแสตรงนี้ เนื่องจากตัวโครงงานมีการหมุน จึงทำให้มีปัญหาในการส่งไฟให้แก่ชุดบอร์ดแสดงผลภาพ เพราะอาจทำให้สายไฟที่ส่งไฟขึ้นไปให้กับชุดบอร์ดแสดงผลภาพเกิดการชำรุดหรืออาจเกิดการช็อตได้ จึงมีการออกแบบการส่งไฟ DC จะออกแบบให้มีการส่งไฟ โดยที่ไม่ให้เกิดการช็อตกัน สามมารถอธิบายการออกแบบได้คือ อลูมิเนียมจะเป็นฉนวนที่ห่อหุ้มกับเพลามอเตอร์ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นขั้วลบ ในส่วนนี้จะมีซุปเปอร์ลีนห่อหุ้มอลูมิเนียมอีกที เพื่อกันขั้วไฟไม่ให้เกิดการช็อตถึงกัน ในส่วนแบริ่ง(โละหะ)จะเป็นตัวนำขอขั้วบอก และมีซุปเปอร์ลีนอีก 4 ตัว เป็นตัวยึดกับแผ่นเหล็ก และเป็นการกันขั้วไฟไม่ให้สัมผัสกับแผ่นเหล็ก ในส่วนนี้จะกันไฟลงแผ่นเหล็ก และส่วนสุดท้ายตัวแบริ่ง(อลูมิเนียม)อีกตัวจะมีแผ่นอะคีลิสกันกับตัวมอเตอร์ เพื่อไม่ให้เกิดการช็อตกันกับตัวมอเตอร์ ดังภาพที่ 3.34 เป็นการแสดงบอกชิ้นส่วนในการออกแบบการส่งไฟกระแสตรง

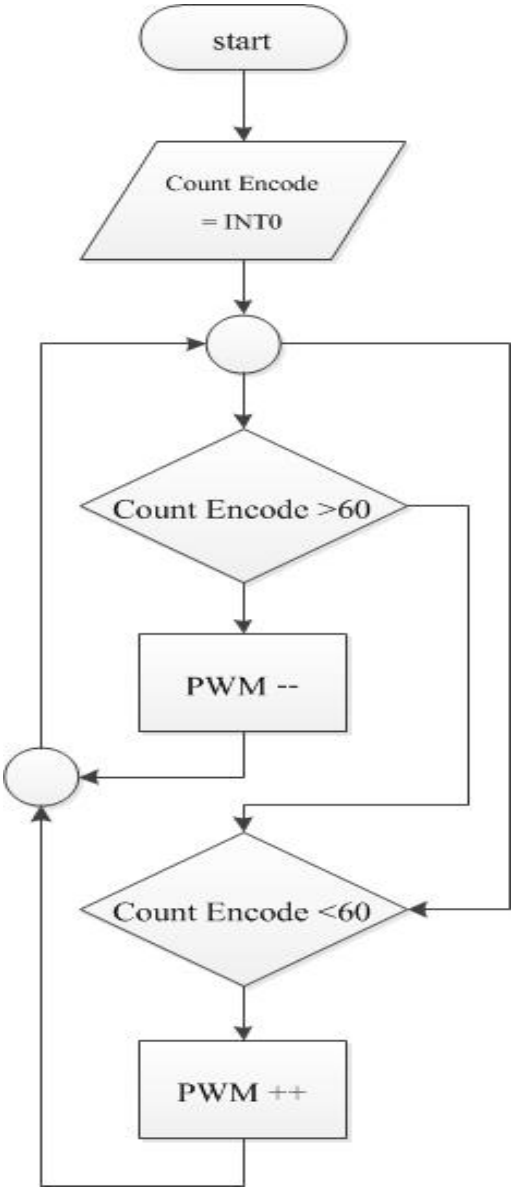



ภาพที่ 3.34 การส่งไฟกระแสตรง

## 3.7 การออกแบบโปรแกรม

### 3.7.1 การออกแบบแผนผังการทำงานโปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์

ชุดวัดการหมุนมอเตอร์จะให้ 200 ลูกคลื่นสัญญาณต่อหนึ่งรอบ มอเตอร์ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที คิดเป็น 360,000 ลูกคลื่นสัญญาณต่อนาที หรือ 6,000 ลูกคลื่นสัญญาณต่อวินาที คิดเป็นความถี่ 6 กิโลเฮิร์ทซ จึงมีการสร้างตัวนับฐานเวลา 100 มิลลิวินาที ซึ่งจะทำให้นับจำนวนลูกคลื่นสัญญาณที่ 60 ลูกคลื่นสัญญาณ และมีการปรับค่าสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตตามแผนผังการทำงานโปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์ ดังแสดงตามภาพที่ 3.35



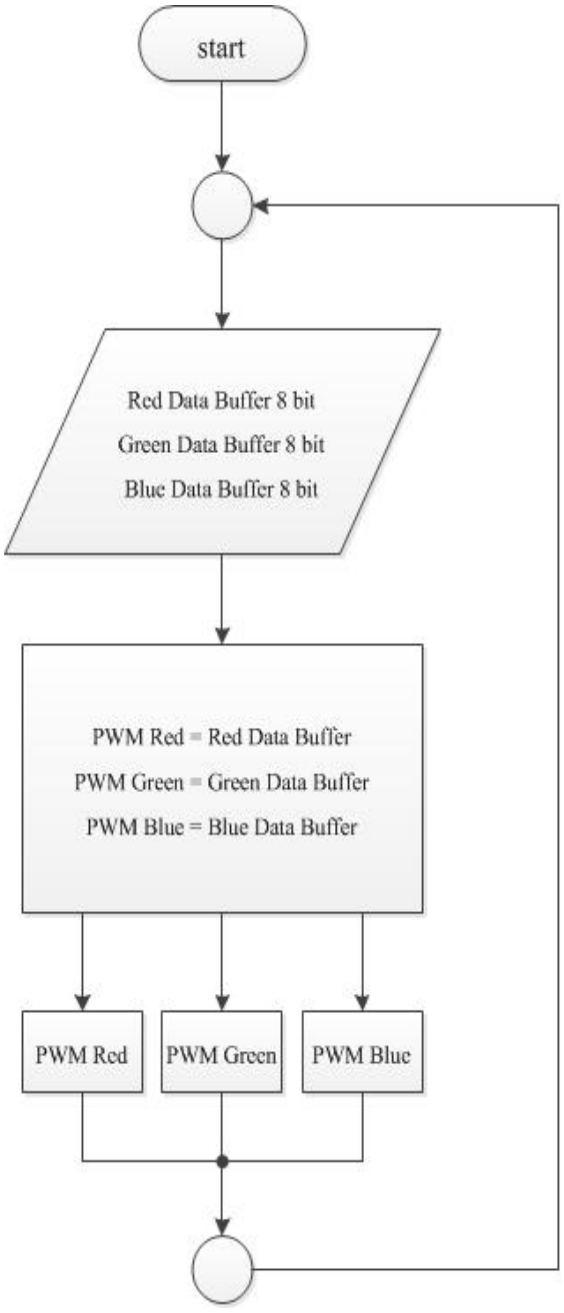

โดยที่

- Count Encode : ตัวแปรสัญญาณอินเทอร์รัปต์
- INT0 : อินเทอร์รัปต์ภายนอก
- PWM : พัลซ์วิทมอดูเลต

ภาพที่ 3.35 แผนผังการทำงานโปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์

### 3.7.2 การออกแบบแผนผังการทำงานโปรแกรมแสดงผลภาพด้วยเอฟพีจีเอ

ในการแสดงผลภาพของเอฟพีจีเอนั้น เอฟพีจีเอจะรับข้อมูลภาพจากส่วนประมวลผลภาพของ ARM9 โดยเชื่อมต่อกันแบบขนานบิตต่อบิต ขนาดข้อมูล 24 บิต โดยเอฟพีจีเอจะรับข้อมูลภาพมาแยกแยะข้อมูลและจัดเรียงข้อมูลภาพใหม่ ให้ได้ข้อมูลสีของภาพ 3 สี สีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงิน ขนาด 8 บิต ตามลำดับ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตขนาด 8




โดยที่

- Red Data Buffer 8 bit : ตัวแปรเก็บข้อมูลภาพสีแดง ขนาด 8 บิต
- Green Data Buffer 8 bit : ตัวแปรเก็บข้อมูลภาพสีเขียว ขนาด 8 บิต
- Blue Data Buffer 8 bit : ตัวแปรเก็บข้อมูลภาพสีน้ำเงิน ขนาด 8 บิต
- PWM Red : ตัวแปรเก็บขนาดความกว้างสัญญาณพัลซ์มอดูเลตสีแดง
- PWM Green : ตัวแปรเก็บขนาดความกว้างสัญญาณพัลซ์มอดูเลตสีเขียว
- PWM Blue : ตัวแปรเก็บขนาดความกว้างสัญญาณพัลซ์มอดูเลตสีน้ำเงิน

ภาพที่ 3.36 แผนผังการทำงานโปรแกรมแสดงผลภาพด้วยเอฟพีจีเอ

# บทที่ 4
# การทดลองและผลการทดลอง

## 4.1 ทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์

### 4.1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดลองวัดสัญญาณชุดวัดรอบการหมุนของมอเตอร์
2. เพื่อทดสอบการปรับเปลี่ยนค่าพัลซ์วิทมอดูเลตตามความเร็วรอบของมอเตอร์ จากค่าสัญญาณชุดวัดรอบการหมุนของมอเตอร์

### 4.1.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

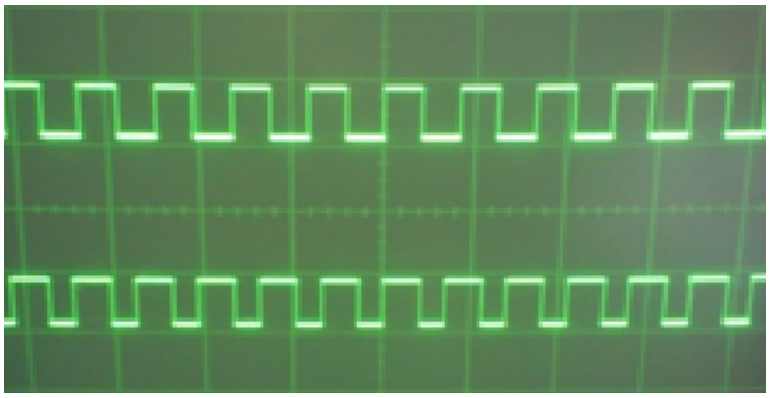
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้า 24 V. ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที
- ชุดวัดรอบการหมุนของมอเตอร์
- ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
- ชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
- แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 24 V.
- ออสซิลโลสโคป

### 4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

- ต่อชุดวงจรควบคุมความเร็ว ช่วงมากสุด ช่วงกลาง และน้อยสุด
- ต่อสัญญาณชุดวัดรอบการหมุนมอเตอร์เข้าที่ขา INT0 ในชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
- กำหนดสัญญาณเอาท์พุตพัลซ์วิทมอดูเลตที่พอร์ต 1.5
- ต่อออสซิลโลสโคป D0 เข้าที่ช่อง INT0 ในชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
- ต่อออสซิลโลสโคป D1 เข้าที่พอร์ต 1.5

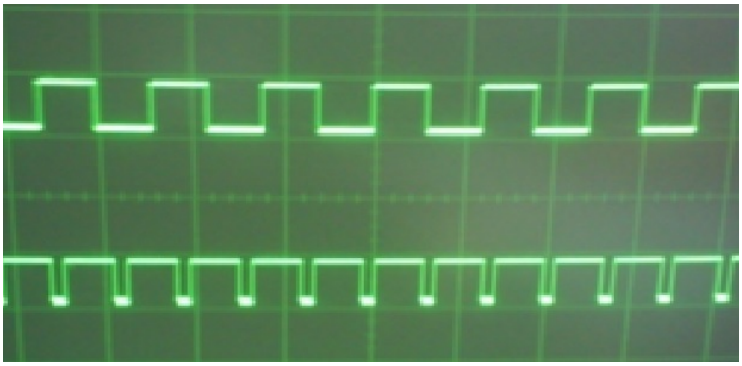
**4.1.4 ผลการทดลอง**

- เมื่อ Time DIV = 0.2 ms.
- D1 มอเตอร์ขนาดความเร็วรอบสูงสุด 3,000 รอบต่อนาที ต้องการความเร็วรอบขนาด 1,800 รอบต่อนาที คิดเป็น 60% ของความเร็วสูงสุด จึงสั่งสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตออกมา 60% ดังรูปคลื่นสัญญาณ D1 และจะเห็นรูปคลื่นสัญญาณ D0 ที่สัญญาณเอาท์พุตจากชุดวัดรอบการหมุนมอเตอร์ ซึ่งหากมอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 1,800 รอบต่อนาที จะได้สัญญาณขนาดความถี่ 6 kHz ตามรูปคลื่นสัญญาณ D0 ตามดังภาพที่แสดงที่ 4.1



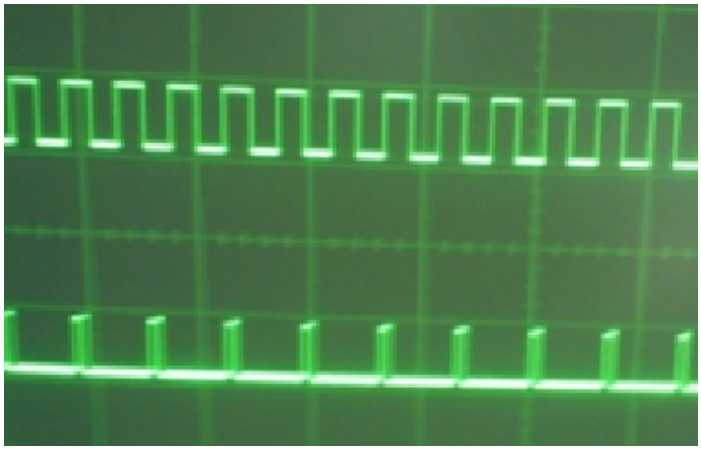
ภาพที่ 4.1 รูปคลื่นสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต ขนาด 60%

- เมื่อ Time DIV = 0.2 ms.
- เมื่อความเร็วรอบมอเตอร์ลดลง D0 จะลดลง ในที่รูป D0 = 4 kHz จะเพิ่มสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตเป็น 80% ตามดังภาพที่แสดงที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 รูปคลื่นสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต ขนาด 80%

- เมื่อ Time DIV = 0.2 ms.
- เมื่อความเร็วรอบมอเตอร์สูงขึ้น D0 จะเพิ่มขึ้น ในที่รูป D0 = 10 kHz จะลดสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตเป็น 10% ตามดังภาพที่แสดงที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 รูปคลื่นสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต ขนาด 10%

### 4.1.5 สรุปผลการทดลอง

จากทดลองสามารถวัดสัญญาณจากชุดวัดรอบการหมุนมอเตอร์ได้ และสามารถปรับเปลี่ยนค่าพัลซ์วิทมอดูเลตตามความเร็วรอบของมอเตอร์ จากค่าสัญญาณชุดวัดรอบการหมุนของมอเตอร์ได้

## 4.2 ทดลองการผสมสีไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี

### 4.2.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าความต้านทานในการปรับสีไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสีให้อยู่ในช่วงที่สว่างเข้าใกล้สีขาวมากที่สุด

### 4.2.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

- ชุดวงจรไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี
- VR TIRM POT
- แหล่งจ่ายไฟ 5 V
- มัลติมิเตอร์

### 4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

- คำนวณค่าความต้านทาน อ้างอิงจาก Data sheet ไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสีและกำหนดค่าความต้านทานเป็น 3 ช่วง คือช่วงมากสุด ช่วงกลาง และน้อยสุด.
- ต่อชุดวงจร เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า กับ ค่าความต่างทาน ของแต่ละช่วง
- สังเกตสี จากการทดลองของไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสีที่เปลี่ยนไป เลือกช่วงที่เหมาะสมที่สุด

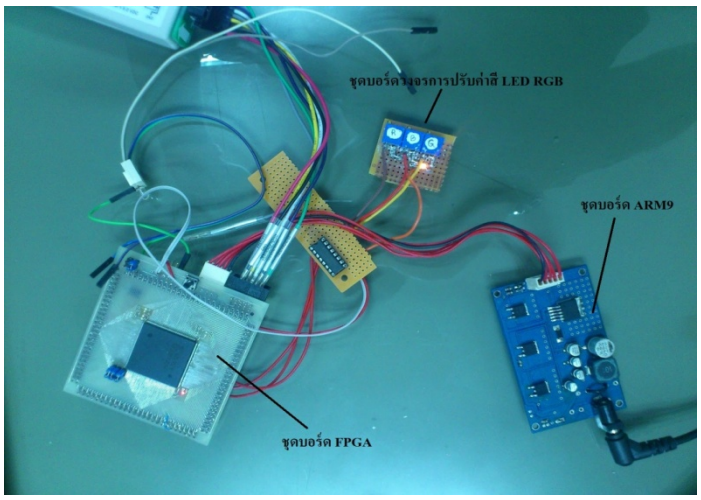
### 4.2.4 ผลการทดลอง

- เปรียบเทียบจากภาพตาราง data sheet ไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสีได้จากบริษัท ROHM เบอร์ SMLV56 Series SRGB2 และคำนวณค่าความต้านทาน

ตารางที่ 4.1 data sheet LED RGB ได้จากบริษัท ROHM เบอร์ SMLV56 Series SRGB2

| PART NO | MATERIAL | COLOR | | Dominant wave length λ Dnm 20mA | | Spectral halfwidth △λ nm 20mA | Forward voltage @20mA(V) | | | Luminous intensity @20mA(mcd) | | Viewing angle 2θ 1/2 20mA (deg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Emitted | Lens | Min. | Max. | | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | |
| LRGB9553/S11/TR1 | AlGaInP | Red | Water Clear | 620 | 630 | 20 | 1.7 | 1.9 | 2.6 | 100 | 150 | 120 |
| | InGaN/GaN | Green | | 519.5 | 530.5 | 36 | 2.8 | 3.2 | 3.6 | 500 | 600 | 120 |
| | InGaN/GaN | Blue | | 470 | 476 | 30 | 2.8 | 3.1 | 3.5 | 100 | 150 | 120 |

- ต่อชุดวงจร เปรียบเทียบความต่างศักย์ กับ ค่าความต้านทาน ของแต่ละช่วง และสังเกตสี เพื่อเลือกช่วงที่เหมาะสม




ภาพที่ 4.4 ชุดต่อวงจรไดโอดเปล่งแสง 3 เฉดสี

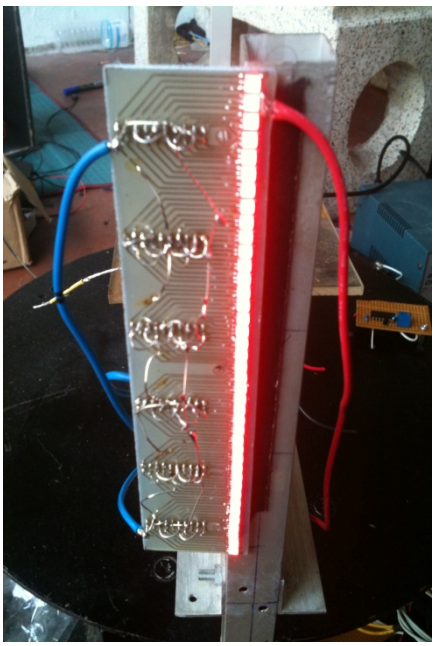
- เลือกใช้ค่าของ $V_{F(MAX)}$ ถึง $V_{F(MIN)}$ จากตารางที่ 4.1 ของสีแดงมาใช้ เพื่อคำนวณหาความต้านทานของสีแดงแต่ละค่า จากแรงดันไฟฟ้าดังแสดงตารางที่ 4.1

ที่ Red : I=20mA

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความต้านทาน

| | R(ohm) |
|---|---|
| $V_{F(MAX)}$ | 165 |
| $V_{F(TYP)}$ | 155 |
| $V_{F(MIN)}$ | 120 |

จากการคำนวณได้ค่าดังตารางและได้ใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับค่าความต้านทานให้ได้ตรงดังค่าที่คำนวณ ผลปรากฏว่าสีที่ออกมาที่อยู่ในช่วง $V_{F(MAX)}$ ถึง $V_{F(MIN)}$ จะให้ผลผลของสีแดงที่ใกล้เคียงกันมาก เมื่อมองด้วยตาเปล่า ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 สีแดงที่ได้จากไดโอดเปล่งแสง

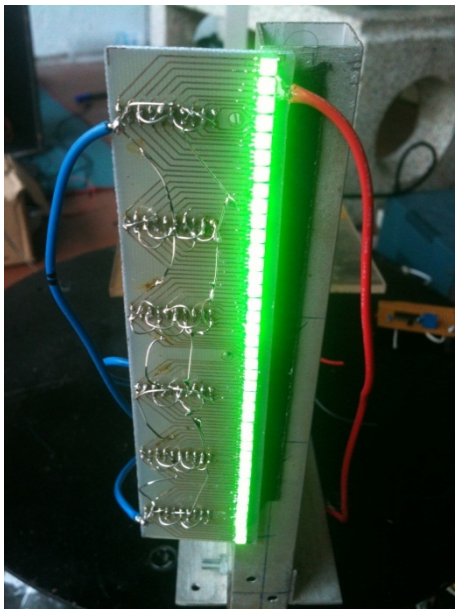
- เลือกใช้ค่าของ $V_{F(MAX)}$ ถึง $V_{F(MIN)}$ จากตารางที่ 4.1 ของสีเขียวมาใช้ เพื่อคำนวณหาความต้านทานของสีแดงแต่ละค่า จากแรงดันไฟฟ้าดังแสดงตารางที่ 4.1

ที่ Green : I=20mA

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความต้านทาน

| | R(ohm) |
|---|---|
| $V_{F(MAX)}$ | 110 |
| $V_{F(TYP)}$ | 90 |
| $V_{F(MIN)}$ | 70 |

จากการคำนวณได้ค่าดังตารางและได้ใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับค่าความต้านทานให้ได้ตรงดังค่าที่คำนวณ ผลปรากฏว่าสีที่ออกมาที่อยู่ในช่วง $V_{F(MAX)}$ ถึง $V_{F(MIN)}$ จะให้ผลผลของสีเขียวที่ใกล้เคียงกันมาก เมื่อมองด้วยตาเปล่าดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 สีเขียวที่ได้จากไดโอดเปล่งแสง

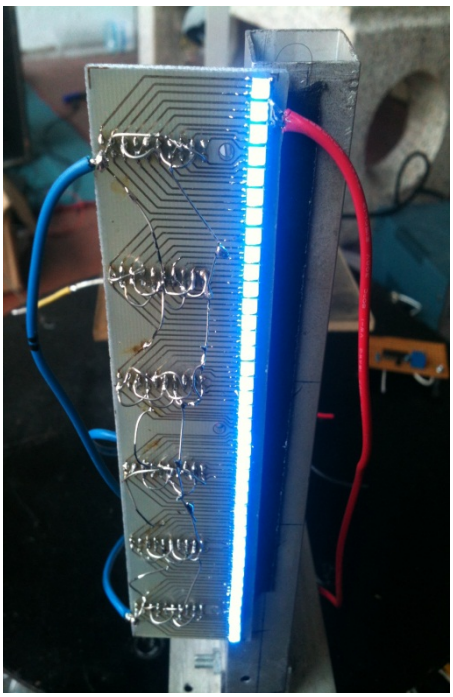
- เลือกใช้ค่าของ $V_{F(MAX)}$ ถึง $V_{F(MIN)}$ จากตารางที่ 4.1 ของสีน้ำเงินมาใช้ เพื่อคำนวณหาความต้านทานของสีแดงแต่ละค่า จากแรงดันไฟฟ้าดังแสดงตารางที่ 4.1

ที่ Red : I=20mA

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความต้านทาน

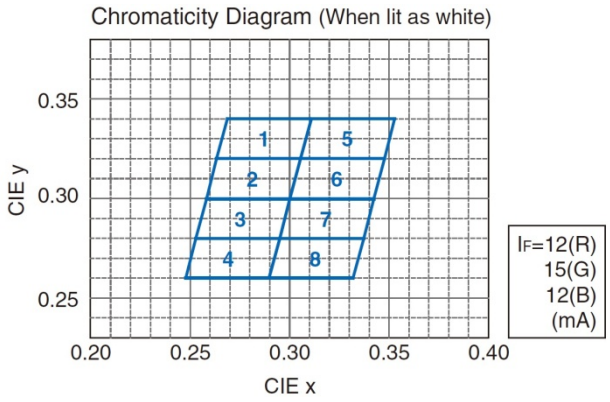
| | R(ohm) |
|---|---|
| $V_{F(MAX)}$ | 110 |
| $V_{F(TYP)}$ | 95 |
| $V_{F(MIN)}$ | 75 |

จากการคำนวณได้ค่าดังตารางและได้ใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับค่าความต้านทานให้ได้ตรงดังค่าที่คำนวณ ผลปรากฏว่าสีที่ออกมาที่อยู่ในช่วง $V_{F(MAX)}$ ถึง $V_{F(MIN)}$ จะให้ผลผลของสีน้ำเงินที่ใกล้เคียงกันมาก เมื่อมองด้วยตาเปล่าดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 สีน้ำเงินที่ได้จากไดโอดเปล่งแสง

### 4.2.5 สรุปผลการทดลอง




ภาพที่ 4.8 ตารางช่วงของสี CIE

จากทดลองจะเห็นว่าในการปรับค่าความต้านทานของแต่ละสี และช่วงมากสุด ช่วงกลาง ช่วงน้อยสุด ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสีที่ออกมามีค่าใกล้เคียงกันเมื่อมองด้วยตาเปล่า ซึ่งเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.8 แล้วก็ยังพบว่า แสงสีที่ออกมายังอยู่ในช่วงแสงสีขาว จึงเลือกค่าความต้านทานได้

- สีแดง ที่ 150 โอห์ม ที่อยู่ในช่วง 120-165 โอห์ม
- สีเขียว ที่ 90 โอห์ม ที่อยู่ในช่วง 70-110 โอห์ม
- สีน้ำเงิน ที่ 95 โอห์ม ที่อยู่ในช่วง 75-110 โอห์ม

## 4.3 ทดลองสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลท

### 4.3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดลองสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตจากบอร์ดเอฟพีจีเอ
2. เพื่อทดสองการปรับเปลี่ยนค่าความกว้างของสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต
3. เพื่อจำลองสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตจากโปรแกรม Xilinx ISE10.1

### 4.3.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

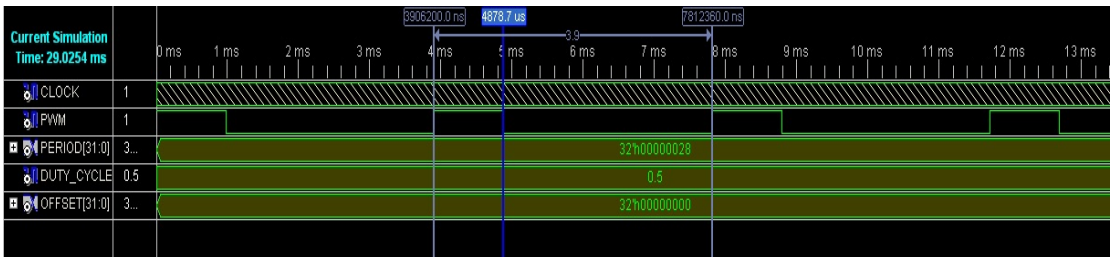
- ชุดบอร์ดเอฟพีจีเอ
- โปรแกรม Xilinx ISE10.1

### 4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

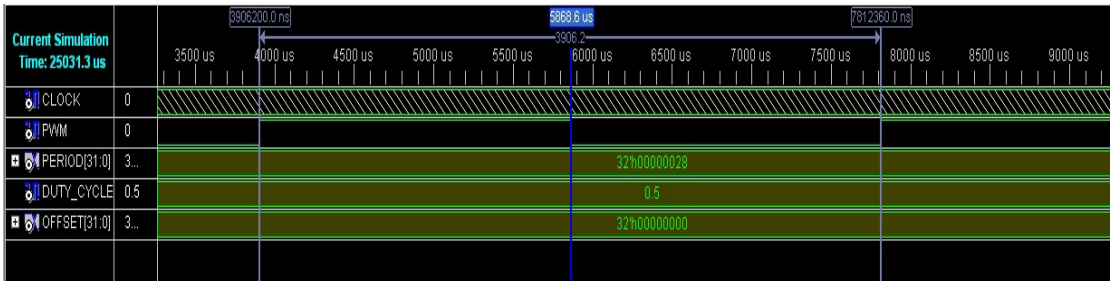
- ต่อชุดบอร์ดเอฟพีจีเอเข้ากับคอมพิวเตอร์
- ติดตั้งโปรแกรม Xilinx ISE10.1

### 4.3.4 ผลการทดลอง

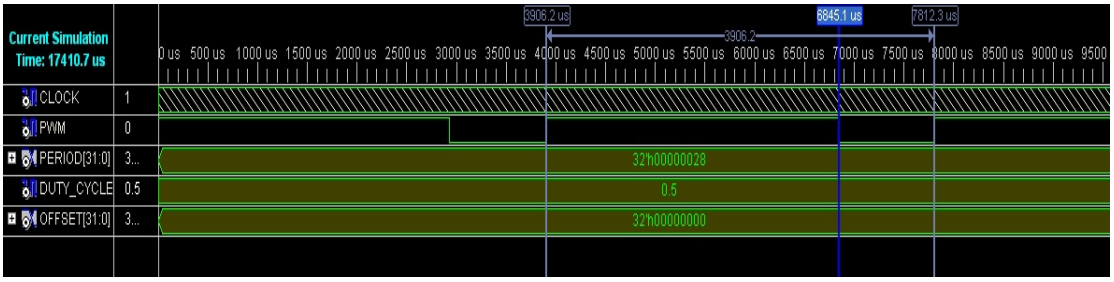
กำหนดสัญญาณนาฬิกา ขนาด 25 เมกะเฮิร์ทซ ตามชุดสร้างสัญญาณนาฬิกาในบอร์ดเอฟพีจีเอ และกำหนดช่องสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต โดยกำหนดให้สัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตมีความกว้างขนาด 8 บิต คือ 256 ค่า จึงได้ความกว้างของสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตเท่ากับ 97,656 เฮิร์ทซ ตามชุดสร้างสัญญาณนาฬิกา 25 เมกะเฮิร์ทซ และมีการเปลี่ยนขนาดความกว้างตามลำดับของชุดสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต (ดังภาพที่แสดง 4.9 , 4.10 , 4.11 ตามลำดับ)




ภาพที่ 4.9 ความกว้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตที่ 25%




ภาพที่ 4.10 ความกว้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตที่ 50%




ภาพที่ 4.11 ความกว้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตที่ 75%

### 4.3.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตจากบอร์เอฟพีจีเอ ที่ใช้สัญญาณนาฬิกา 25 เมกะเฮิร์ทซ ได้สร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตขนาด 8 บิต ความถี่เท่ากับ 97,656 เฮิร์ทซ ที่เพียงพอสร้างสัญญาณภาพให้แก่ไดโอดเปล่งแสง โดยสามารถประบเปลี่ยนความกว้างของสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลตได้ดังตัวอย่างการทดลองที่ความกว้างสร้างสัญญาณพัลซ์วิทมอดูเลต 25% , 50% , 75% ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้ชุดจำลองลักษณะสัญญาณของโปรแกรม Xilinx ISE10.1 ให้สามารถดูลักษณะสัญญาณเบื้องต้นได้ โดยไม่ต้องส่งค่าเอาท์พุตจริง

## 4.4 ทดลองวัดสัญญาณภาพจากชุดบอร์ด MINI 2440B

### 4.4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบสัญญาณภาพที่ออกมาของชุดบอร์ด MINI 2440B
2. เพื่อตรวจสอบสัญญาณ Vertical sync (VSYNC), Horizontal sync (ZHSYNC), Pixel clock (VCLK), Data enable (VDEN) ตรงตาม Input timing chart ของ data sheet

### 4.4.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

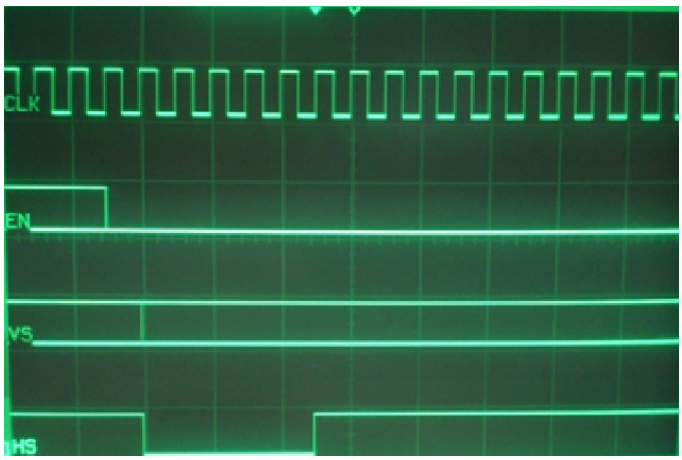
- ชุดบอร์ด MINI 2440B
- แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 V.
- ออสซิลโลสโคป

### 4.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

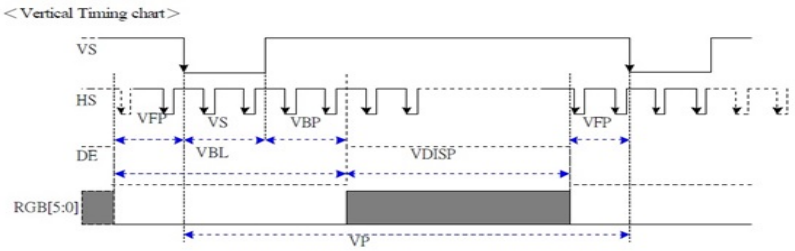
- ต่อชุดแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 V. เข้ากับชุดบอร์ด MINI 2440B
- ต่อออสซิลโลสโคป ช่องสัญญาณ D0 ที่ VCLK
- ต่อออสซิลโลสโคป ช่องสัญญาณ D0 ที่ VDEN
- ต่อออสซิลโลสโคป ช่องสัญญาณ D0 ที่ VSYNC
- ต่อออสซิลโลสโคป ช่องสัญญาณ D0 ที่ ZHSYNC

### 4.4.4 ผลการทดลอง

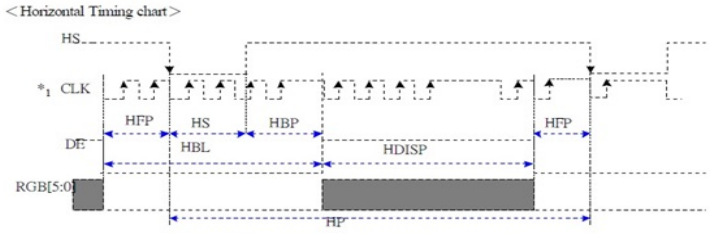
จากการทดลองได้ผลสัญญาณตามดังภาพที่ 4.12 และเปรียบเทียบกับ Input timing chart ของ data Sheet ดังภาพที่ 4.13 และ ภาพที่ 4.14




ภาพที่ 4.12 แสดงสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุต LCD ของ ARM9




ภาพที่ 4.13 แสดง Input timing chart ของ Vertical Timing chart




ภาพที่ 4.14 แสดง Input timing chart ของ Horizontal Timing chart

### 4.3.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่าเมื่อมีสัญญาณ EN เข้ามา จะมีสัญญาณ Hs ตามเข้ามา จนช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นจะเริ่มมีสัญญาณ Vs ตามเข้ามาเรื่อย เพื่อเป็นการส่งข้อมูลของสัญญาณ Vs จนถึงช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณ Hs หมดไป และ Vs ก็จะเริ่มหมดไปเช่นเดียวกัน

# บทที่ 5
# สรุป

ในโครงงานนี้การแสดงภาพสีจริงแบบหมุนรอบทิศทางได้รับการพัฒนาในการการติดตามคุณภาพแสดงเสมือนจริงของภาพที่สมจริง และข้อกำหนดของระบบการแสดงผลไดโอดเปล่งแสงมีการระบุไว้เช่นกัน ระบบการแสดงผลไดโอดเปล่งแสง,แถบแสดงผลไดโอดเปล่งแสง, เซ็นเซอร์ตำแหน่งและวงจรขับเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยระบบการแสดงผลที่นำเสนอไดโอดเปล่งแสงการหมุนไฟไดโอดเปล่งแสง สีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียว สว่างขึ้นที่จุดเดียวกันในการผสมสีดังกล่าวว่าคุณภาพของภาพที่ดีสามารถผลิตได้และมองเห็นได้จากมุมมองใดๆ ในความเป็นจริงผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบการแสดงผลแบบไดโอดเปล่งแสงให้คุณภาพมีสีสันสดใส เมื่อเทียบกับไดโอดเปล่งแสงสีดั้งเดิม บอร์ดแสดงผลระบบที่พัฒนาขึ้นมาที่นี่เพียงต้องการเพียงไดโอดเปล่งแสง 3สี ให้ตระหนักถึงการแสดงผลสีที่แท้จริงรอบทิศทางและแสดงผลของสีให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้โครงงานการแสดงภาพสีจริงแบบหมุนรอบทิศทาง สามารถนำไปพัฒนาในเชิงธุรกิจได้ เพราะตัวโครงงานมีคุณภาพสูง อีกทั้งประหยัดพลังงานและต้นทุนต่ำ

# เอกสารอ้างอิง


[1]. S.-M. Liu et al.: The Design and Implementation of a Low-Cost 360-degree Color LED Display System IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 57, No. 2, May 2011

[2]. http://en.wikipedia.org/wiki/Display_resoluti. “Display resolution”. Wikipedia The Free Encyclopedia , July 2012.

[3]. Troland, L. T. "Report of Committee on Colorimetry for 1920–21". Journal of the Optical Society of America 6 (6): 527–96. doi:10.1364/JOSA.6.000527. , August 1922.

[4]. Jones, L. A. "Historical background and evolution of the colorimetry report". Journal of the Optical Society of America 33 (10): 534–43.doi:10.1364/JOSA.33.000534. ,1943.

[5]. นายคมสัน อุตมะ นายกิตติศักดิ์ ศรีเมือง นายรุ่งเรือง ลาโยธี. “ระบบส่องสว่างประหยัด

[6]. วุฒิชัย สง่างาม. “การออกแบบวงจรดิจิตอลและการประยุกต์ใช้งานภาษา VHDL”. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ,2552.

[7]. พิทยา ปานนิล อาภาพร สายธิไชย ไสว พงศ์สวัสดิ์และ ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์ . “เทคนิคการสร้างสัญญาณ PWM แบบดิจิตอลด้วย FPGA”. ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.,2550.