การแสดงภาพด้วย LED สองสีต่างระดับจำนวน 256 สี

LED ARRAY DISPLAY WITH 256 COLORS

โดย

นายชลวิช บุญทวี รหัส 34102079

นางสาวนวพร รังสิมันตุ่วงศ์ รหัส 34103174

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาอิเล็คทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การแสดงภาพด้วย LED สองสีต่างระดับจำนวน 256 สี

จัดทำโดย

1. นาย ชลวิช บุญทวี รหัส 34102079

2. นางสาว นวพร รังสิมันตุ์วงศ์ รหัส 34103174

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ประภากร สุวรรณะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การแสดงภาพด้วย LED 2 สีต่างระดับจำนวน 256 สี

(LED ARRAY DISPLAY)

โดย นาย ชลวิช บุญทวี รหัส 34102079
นางสาว นวพร รังสิมันตุ์วงศ์ รหัส 34103174

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ประภากร สุวรรณะ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอการพัฒนาโครงงานการแสดงภาพด้วย LED 2 สีที่สามารถควบคุมระดับสีได้ทั้งหมดประมาณ 16 สี มาเป็นควบคุมได้ 256 สี โดยมีหลักในการทำงานคือจะเป็นการนำเอาข้อมูลจำนวน 4 บิต มาทำเป็นตัวกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse width modulation method) ที่ใช้ในการขับ LED ทั้ง 2 สี (สีเขียวและสีแดง) แทนที่จะใช้วงจรการแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก ทำให้มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานต่อไปได้มากกว่าได้ โดยระดับความสว่างของแต่ละสีเป็น 16 ระดับ นอกจากนั้นยังมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ในการรับข้อมูลและใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 มาช่วยในการควบคุมการเขียนข้อมูลเข้าและอ่านข้อมูลออกจากหน่วยความจำ (RAM) เพื่อส่งไปแสดงผลต่อไป

Abstract

This thesis presents the development of the sixteen-colored LED (Light Emitting Diode) Display Board to become up to two hundred and fifty-six colors. The main idea of this project is to use the 4 bits data from data source to define the pulse's duty cycle which is used to drive red and green led to become 256 colors. The process is called " Pulse Width Modulation " method . This method has better efficiency in performance than that of digital to analog conversion method ,so it is easy to develope to more complex application. Otherwise we can use the PC to receive data along wih 8031 microcontroller to interface and control data flow In/Out from RAM to the LED DISPLAY BOARD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทนำ	1
บทที่ 1 ทฤษฎี	
- การทำงานของแผงแสดงผลทั่วๆไป	2
- หลักการควบคุมระดับสี	3
- คุณสมบัติของ LED	5
- การแบ่งระดับสีและผสมสี	10
บทที่ 2 หลักการทำงานของแผงแสดงผลอิเลคทรอนิกส์	
- บล็อกไดอะแกรมของวงจร	14
- รายละเอียดโดยสังเขปของวงจรแต่ละส่วน	15
- การออกแบบวงจร	21
บทที่ 3 วงจรส่วนอินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์	
- บล็อกไดอะแกรมของวงจรส่วนอินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์	33
- รายละเอียดโดยสังเขปของแต่ละส่วน	34
- การออกแบบวงจร	36
- การทำงานของวงจรโดยสังเขป	38
บทที่ 4 การทดลองและวงจรที่ใช้ในการทดลอง	
- การทดลองการตอบสนองของ LED	43
- การทดลองวงจรควบคุมแผงแสดงผลขนาด 8x32 จุด	44
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
- ผลการทดลองการตอบสนองของ LED	50
- ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนความถี่ในการสแกน	50
- ผลการทดลองเมื่อนำอาร์เรย์ทั้ง 4 มารวมกัน	51
บทที่ 6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	52
บทที่ 7 แนวทางการพัฒนาและแก้ไขปัญหา	
- ปัญหาด้านความถี่	53
- ปัญหาด้านความสามารถในการจ่ายกระแสของ IC	53
- ปัญหาด้านไฟเลี้ยงของวงจร	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ในปัจจุบัน การสื่อสารข้อมูลด้วยสื่อต่างๆนั้น มีความสำคัญและมีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์มาก จึงได้มีการพัฒนาสื่อต่างๆขึ้นมาอย่างรวดเร็ว การสื่อสารข้อมูลด้วยการแสดงผลจากจอภาพหรือจากแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics display board) จึงได้มีการพัฒนาให้มีความก้าวหน้าขึ้นมาเช่นกัน โดยจากเมื่อก่อนอาจใช้เพียงหลอดไฟสีเดียวธรรมดา ควบคุมการปิดเปิดโดยมนุษย์ แต่ในปัจจุบันสามารถพัฒนาโดยเพิ่มระดับสีและสิ่งที่ใช้ในการแสดงผลให้มากขึ้น เพื่อให้เกิดความเหมือนจริงมากที่สุด นอกจากนั้นยังสามารถใช้คอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมได้ด้วย เนื่องจากความสำคัญดังกล่าวจึงได้เกิดโครงงาน **"การแสดงภาพด้วย LED 2 สีต่างระดับจำนวน 256 สี"** ขึ้นมา โดยได้มีการพัฒนาดัดแปลงวิธีการใช้ในการควบคุมการปรับระดับสีให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นส่วนขนาดของ LED ARRAY ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้น จะประกอบด้วย ARRAY เล็กๆขนาด 8X32 ต่อทหลายๆ ARRAY รวมเข้าด้วยกัน ซึ่งจะช่วยทำให้ภาพที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจาก ทำให้จำนวนภาพต่อนาทีมีขนาดเท่าเดิมในขณะที่แผงแสดงผลมีขนาดใหญ่ขึ้น

นอกจากนั้นการเก็บและควบคุมข้อมูลที่นำมาแสดงผลจะแยกออกเป็นสองส่วนที่สลับกันทำงานคือในขณะที่ส่วนหนึ่งกำลังเก็บข้อมูลอีกส่วนหนึ่งก็จะปล่อยข้อมูลออกไปแสดงผลสลับกันทำงานเช่นนี้เรื่อยๆไปทำให้การส่งข้อมูลเป็นไปได้รวดเร็วและง่ายต่อการเขียนโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

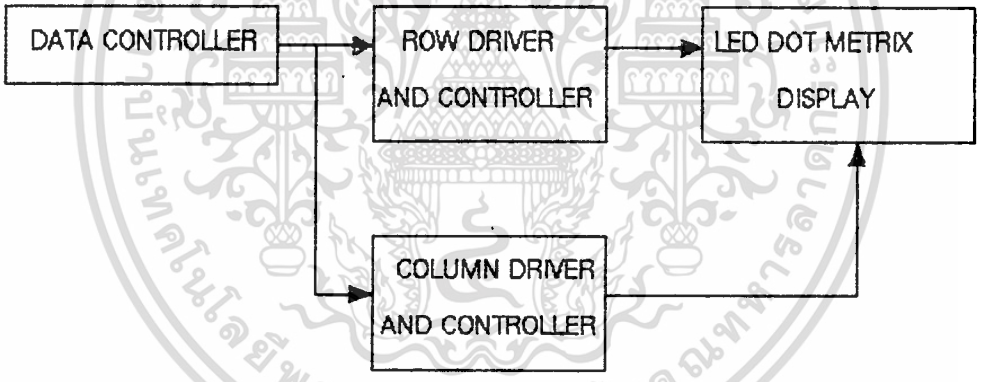
บทที่ 1

ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานของแผงแสดงผลทั่วๆไป คุณสมบัติและคุณลักษณะของ LED รวมไปถึงหลักการที่ใช้ในการแบ่งระดับสีด้วย

1.1 การทำงานของแผงแสดงผลทั่วๆไป

โดยการพัฒนาแผงแสดงผลอิเล็คทรอนิกส์อย่างกว้างขวางและต่อเนื่องกันมาโดยตลอด ทำให้การแสดงผลใกล้เคียงและสามารถแสดงผลแทนจอภาพคอมพิวเตอร์หรือจอภาพโทรทัศน์ได้ โครงสร้างต่างๆของแผงแสดงผลอิเล็คทรอนิกส์ทั่วๆไปจะมีลักษณะที่คล้ายๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างหลักของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ทั่วๆไป

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างหลักของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนควบคุมการส่งข้อมูล (DATA CONTROLLER) มีหน้าที่ในการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลบนแผงแสดงผล (DISPLAY BOARD) และยังเป็นส่วนที่สร้างสัญญาณควบคุมต่างๆของระบบ เช่น สร้างสัญญาณควบคุมทางด้านแนวนอนและแนวตั้งเพื่อให้ส่วนต่างๆทำงานประสานกัน (SYNCHRONIZE) ได้อย่างถูกต้อง

ส่วนที่ 2 คือ ส่วนควบคุมและวงจรขับกระแสทางด้านแนวนอน (ROW DRIVER AND CONTROLLER) สำหรับจัดการเรื่องข้อมูลทางแนวนอนที่ได้รับมาจากส่วนที่ 1 ในการเปิดหรือปิดวงจรแถว (ROW) นั้นๆเพื่อใช้ในการแสดงผลในลักษณะของการติดและดับก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

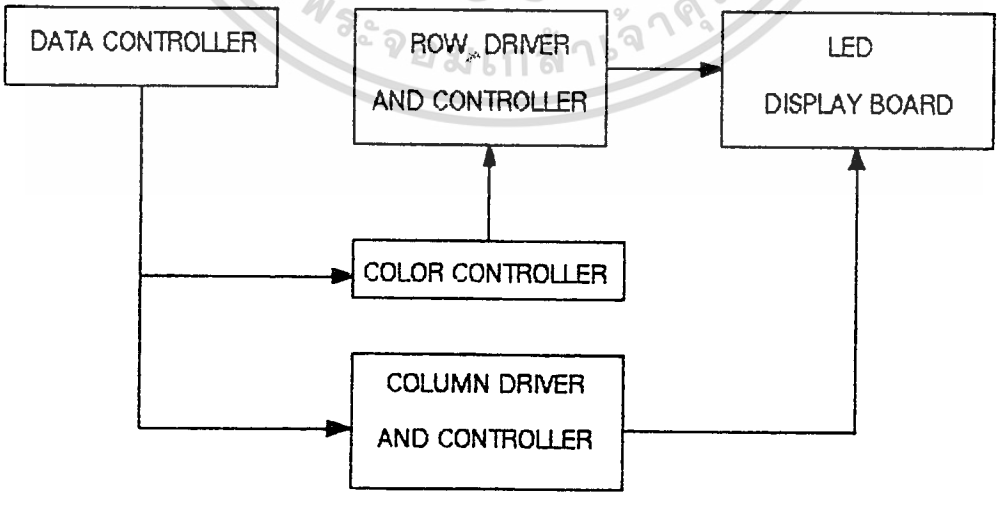
ที่จะส่งข้อมูลที่ได้รับมาไปให้แก่แผงแสดงผล และยังทำให้การแสดงผลที่ได้แน่นอนและสามารถควบคุมเป็นจุดๆได้

ส่วนที่ 3 คือ ส่วนควบคุมและวงจรขับกระแสทางด้านแนวตั้ง (COLUMN DRIVER AND CONTROLLER) สำหรับจัดการข้อมูลในแต่ละหลัก (COLUMN) ที่ได้รับมาจากส่วนที่ 1 การทำงานส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับส่วนควบคุมและวงจรขับกระแสทางแนวนอน และทั้ง 2 ส่วนนี้จะต้องมีการทำงานที่ประสานกัน (SYNCRONIZE) อย่างดี เพื่อให้การควบคุมแผงแสดงผลเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ

ส่วนที่ 4 คือ ส่วนของแผงแสดงผล (DISPLAY BOARD) เป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงผลจากข้อมูลที่ได้รับมาทางด้านแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งส่วนนี้จะใช้ไดโอดเปล่งแสง (LIGHT EMITTING DIODE : LED) เป็นส่วนประกอบ

1.2 หลักการควบคุมระดับสี

ในส่วนของโครงงานนี้ จะเสนอแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาและกำลังเป็นที่นิยมกันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งก็คือ แผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแสดงผลได้หลายๆสี โดยใช้วิธีการผสมสีระหว่าง LED สีแดงและสีเขียว และสามารถแบ่งระดับของสีที่ถูกผสมขึ้นมาได้ แต่หลักการเบื้องต้นของแผงแสดงผลแบบนี้ยังคงมีลักษณะเหมือนเดิม แต่จะเพิ่มส่วนควบคุมระดับสีขึ้นมาเท่านั้น ดังรูปที่ 1.2



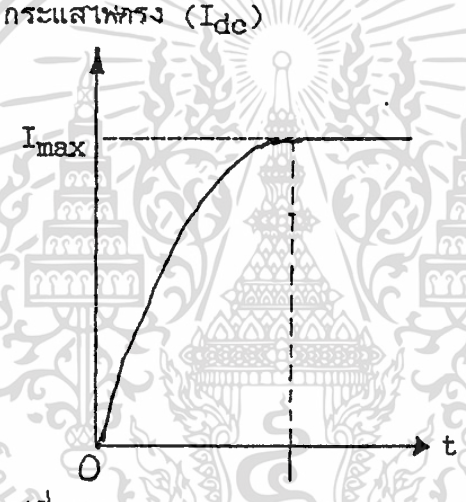
รูปที่ 1.2 หลักการเบื้องต้นของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์แบบแสดงผลได้หลายระดับสีโดยการควบคุมทางแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าการทำงานของแต่ละส่วนมีการทำงานเหมือนกับที่แสดงในรูปที่ 1.1 เพียงแต่เพิ่มส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและแบ่งระดับสีขึ้นมาเท่านั้น วิธีที่ใช้ในการควบคุมทำได้ 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 เป็นการควบคุมความสว่างของ LED โดยการควบคุมกระแสไฟตรงที่ป้อนให้กับ LED ตรงๆ โดยวิธีนี้ LED จะสว่างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน การควบคุมในลักษณะนี้สามารถกำหนดความสว่างได้ค่อนข้างแม่นยำแต่การออกแบบส่วนควบคุมมีความซับซ้อนยุ่งยากจึงได้พัฒนาและดัดแปลงมาเป็นแบบวิธีที่ 2

วิธีที่ 2 เป็นการควบคุมกระแสที่ป้อนให้ LED เช่นกัน แต่แทนที่จะควบคุมตรงๆเช่นวิธีแรก แต่จะกระทำทางอ้อมโดยควบคุมช่วงเวลาที่ป้อนกระแสไหลผ่าน LED ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงการควบคุมความสว่างของ LED

จากรูปที่ 1.3 การควบคุมวิธีที่ 1 เป็นการควบคุมกระแสตามแนวแกน I_{dc} (แกน Y) ถ้าต้องการให้ LED สว่างเต็มที่จะต้องควบคุมให้กระแสไฟตรงไหลผ่าน LED เต็มที่ (ในที่นี้คือ I_{MAX} หมายถึงกระแสไหลผ่านเต็มที่ตามข้อกำหนด (SPECIFICATION) จากโรงงานผู้ผลิตของ LED นั้นๆ) เมื่อต้องการให้ความสว่างลดลงจะต้องลดกระแสลงเป็นอัตราส่วนตามความเหมาะสม ดังนั้นถ้าต้องการให้ LED สามารถเปลี่ยนแปลงระดับความสว่างได้ 16 ระดับจะต้องสร้างวงจรจ่ายกระแสคงตัวที่สามารถเปลี่ยนแปลงกระแสได้ 16 ค่าด้วยเช่นกัน ตามแนวความคิดนี้ในทางปฏิบัติจะกระทำได้แต่มีความยุ่งยาก อีกทั้งต้นทุนยังมีราคาแพงอีกด้วย

แต่ถ้าถือว่าความผิดพลาดของระดับความสว่างเล็กน้อย (เช่น กระแสไหลผ่าน LED แตกต่างกัน 1 mA) สายตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกแยะออกได้ จะประมาณเอาว่า LED แปรผันตรงกับเวลานับตั้งแต่เริ่มให้กระแสไหลผ่าน LED เป็นต้นไป จนถึง LED มีความสว่างมากที่สุด (คือช่วงเวลา T_{MAX} เป็นช่วงเวลาเริ่มต้นจ่ายกระแสไฟตรงให้แก่ LED จนกระทั่งกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

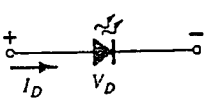
สามารถผ่าน LED เต็มที่ตามข้อกำหนดจากโรงงานผู้ผลิต) เมื่อนำเอาช่วงเวลาดังกล่าวข้างต้นมาทำการแบ่งออกเป็นช่วงๆก็จะสามารถควบคุมความสว่างของ LED ได้เช่นเดียวกัน

โดยอาศัยแนวความคิดดังตัวอย่างที่ยกมาข้างต้นจะเห็นว่า สามารถควบคุมความสว่างและระดับสีได้เช่นเดียวกับวิธีแรก แต่การสร้างวงจรทำได้ง่ายกว่า ในโครงงานนี้จึงเลือกเอาวิธีที่สองมาทำการทดลอง และสร้างเป็นแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์

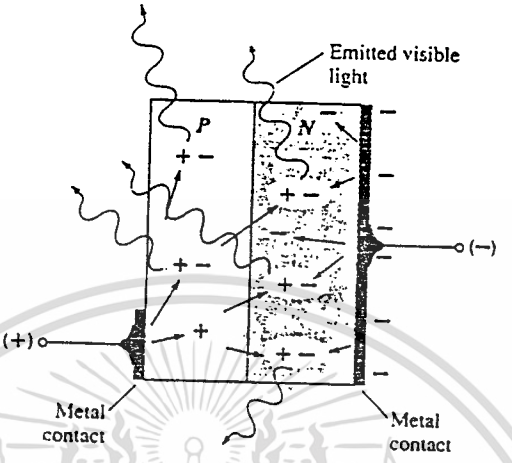
1.3 คุณสมบัติของ LED

แผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ในโครงงานนี้ ส่วนแสดงผลจะประกอบด้วย LED เป็นหัวใจสำคัญ ดังนั้นจึงต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติและการทำงานของตัว LED ให้เข้าใจเพื่อจะนำไปใช้ในการแบ่งระดับสีของ LED

LED เป็นไดโอดชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปล่งแสงได้ ซึ่งโครงสร้างของ LED จะมีลักษณะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-TYPE) และชนิดเอ็น (N-TYPE) ต่อกันเป็นพี-เอ็นจังก์ชั่น LED จะสามารถเปล่งแสงออกมาได้ก็ต่อเมื่อมีการจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดไบอัสให้กับมัน กระแสฟอร์เวิร์ดไบอัสนี้จะไปกระตุ้นอิเล็กตรอน และโฮลข้ามพี-เอ็นจังก์ชั่นเพื่อมารวมตัวกัน ในการรวมตัวกันนี้จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนซึ่งเป็นอนุภาคของแสง ซึ่งต่างจากอุปกรณ์แบบอื่นๆที่ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อน สำหรับสารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาสร้าง LED จะใช้แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (GALLIUM ARSENIDE PHOSPHIDE : GaAsP) หรือแกลเลี่ยมฟอสไฟด์ (GALLIUM PHOSPHIDE : GaP) ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้จะใช้กระแสไฟฟ้าไม่มากในการไบอัสเพื่อให้เกิดการปลดปล่อยโฟตอนออกมา การให้แสงของ LED โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้า เรียกว่า อิเล็กโตรลูมิเนเซนส์ (ELECTROLUMINESCENCE) ดังรูปที่ 1.4 (ก) และ (ข) แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ LED และโครงสร้าง และการเกิดอิเล็กโตรลูมิเนสเซนส์ของ LED ตามลำดับ



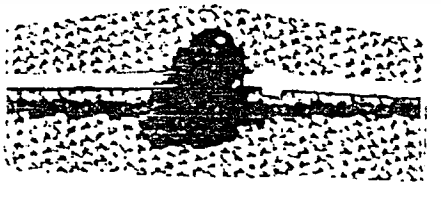
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 1.4 (ก) สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ LED

(ข) โครงสร้าง และการเกิดอิเล็กโตรลูมิเนสเซนส์ของ LED



(ก) รูปร่างของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings at T_A = 25°C

Parameter	*High Eff. Red 4160*	*Units*
Power dissipation	120	mW
Average forward current	20[1]	mA
Peak forward current	60	mA
Operating and storage temperature range	−55°C to 100°C	
Lead soldering temperature [1.6 mm (0.063 in.) from body]	230°C for 3 seconds	

[1] Derate from 50°C at 0.2 mA/°C.

(ข) Absolute maximum rating

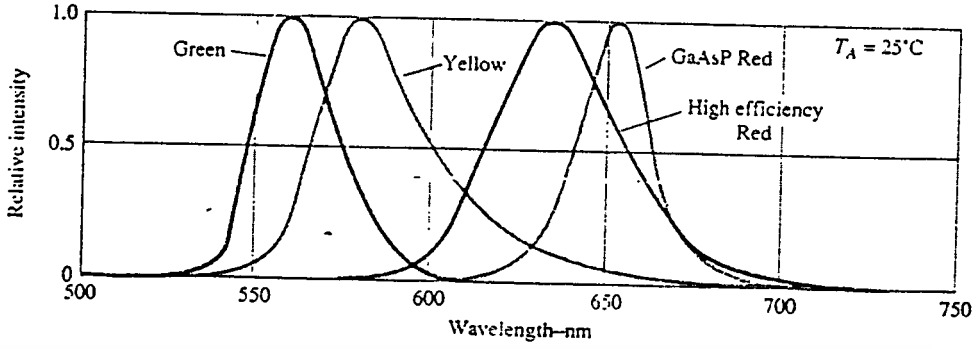
Electrical/Optical Characteristics at T_A = 25°C

Symbol	*Description*	*High Eff. Red 4160* Min.	Typ.	Max.	*Units*	*Test Conditions*
I_V	Axial luminous intensity	1.0	3.0		mcd	I_F = 10 mA
$2\theta_{1/2}$	Included angle between half luminious intensity points		80		deg.	Note 1
λ_{peak}	Peak wavelength		635		nm	Measurement at peak
λ_d	Dominant wavelength		628		nm	Note 2
τ_s	Speed of response		90		ns	
C	Capacitance		11		pF	V_F = 0; f = 1 Mhz
θ_{JC}	Thermal resistance		120		°C/W	Junction to cathode lead at 0.79 mm (.031 in) from body
V_F	Forward voltage		2.2	3.0	V	I_F = 10 mA
BV_R	Reverse breakdown voltage	5.0			V	I_R = 100 µA
η_v	Luminous efficacy		147		lm/W	Note 3

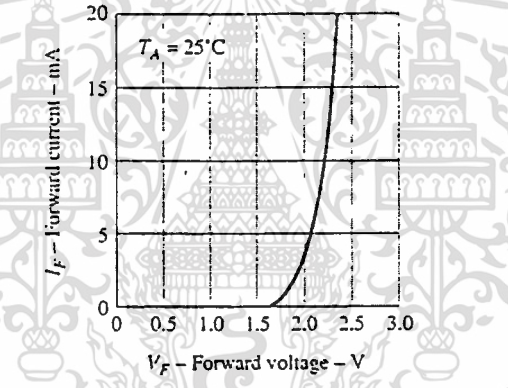
NOTES:
1. $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity.
2. The dominant wavelength, λ_d, is derived from the CIE chromaticity diagram and represents the single wavelength that defines the color of the device.
3. Radiant intensity, I_e, in watts/steradian, may be found from the equation $I_e = I_v/\eta_v$, where I_v is the luminous intensity in candelas and η_v is the luminous efficacy in lumens/watt.

(ค) คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสง

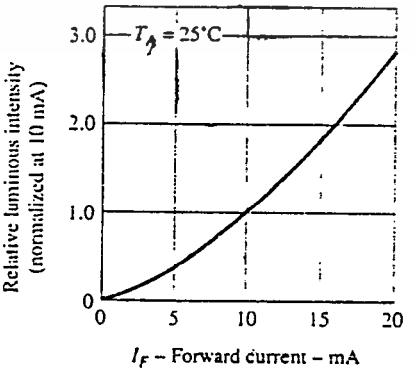
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) ความสัมพันธ์ของความเข้มแสง ต่อความยาวคลื่น

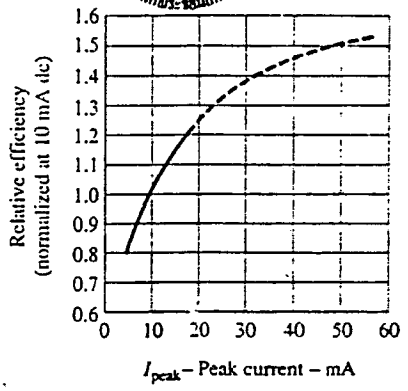


(จ) กระแสฟอร์เวิร์ด เปลี่ยนแปลงตามแรงดันฟอร์เวิร์ด

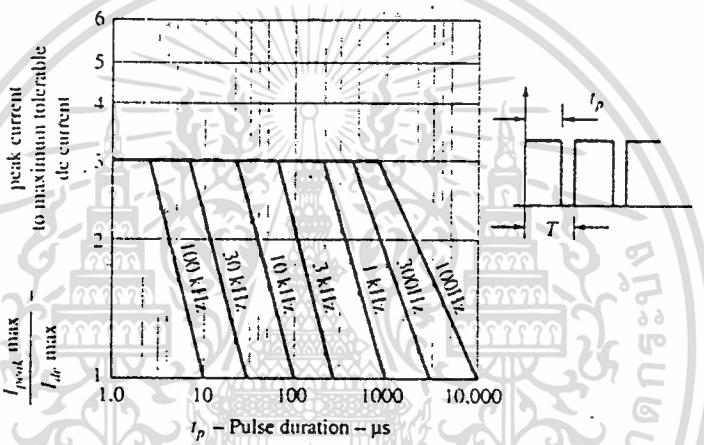


(ฉ) ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงต่อกระแสฟอร์เวิร์ด

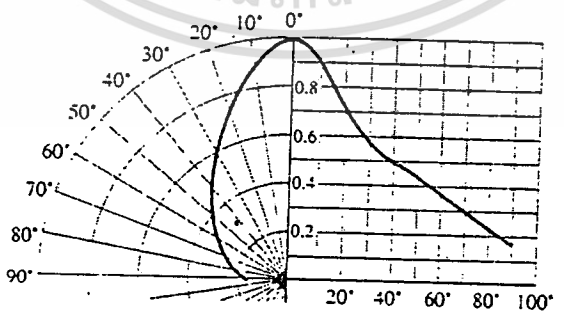
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ช) ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ เปลี่ยนแปลงตามกระแสพีค (Peak)



(ช) กระแสพีคสูงสุด เปลี่ยนแปลงตามความกว้าง pulse



(ฌ) ความสัมพันธ์ของการส่องแสง ต่อมุมมอง

รูปที่ 1.5 (ก) (ฌ) คุณสมบัติ และกราฟแสดงคุณลักษณะของ LED บริษัท ฮิวเลทแพค-การ์ด แบบไฮแอฟฟิชิเอนซี (High - efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

035042

จากรูปที่ 1.5 เป็นการยกตัวอย่าง LED ขึ้นมาเบอร์หนึ่งจะเห็นได้ดังรูปที่ 1.5 (ฉ) LED จะให้ความเข้มแสงไม่เท่ากันถ้ากระแสฟอร์เวิร์ดที่จ่ายให้ LED ไม่เท่ากันและรูป 1.5 (จ) การเปลี่ยนแปลงของกระแสฟอร์ดเวิร์ดต่อแรงดันฟอร์เวิร์ด จากคุณสมบัติในข้อนี้สามารถนำไปใช้ในการแบ่งระดับสีของ LED ได้

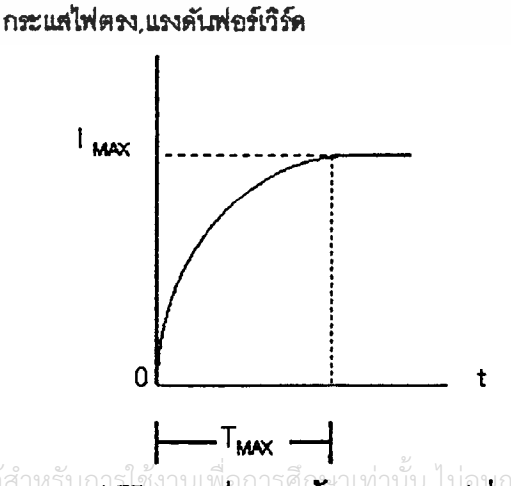
1.4 การแบ่งระดับสีและผสมสี

จากหัวข้อที่ 1.3 ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของ LED ในการส่องสว่างและความเข้มแสง และวิธีการที่ได้กล่าวผ่านมา โครงงานนี้จะนำความเข้มแสงมาแบ่งระดับของแสง ให้เป็นระดับต่างๆ วิธีการแบ่งระดับของความเข้มแสงสามารถนำคุณสมบัติของ LED ในรูป 1.5 (ฉ) โดยการควบคุมกระแสฟอร์เวิร์ดที่จ่ายให้แก่ LED วิธีการที่ควบคุมกระแสฟอร์เวิร์ด สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 ควบคุมกระแสฟอร์เวิร์ดโดยตรง

วิธีที่ 2 ควบคุมกระแสฟอร์เวิร์ดโดยใช้การควบคุมเวลาในการจ่ายกระแส

โครงงานนี้ เลือกใช้การควบคุมกระแสฟอร์เวิร์ดด้วยการควบคุมเวลาในการจ่ายกระแสให้ LED เนื่องจากคุณสมบัติที่ไม่เป็นอุดมคติของ LED ที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้าง LED จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่ง และบริเวณ พี- เอ็น จังก์ชั่นเสมือนมีตัวเก็บประจุอยู่ ผลของความต้านทานและตัวเก็บประจุ จะทำให้การจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดเพื่อให้ LED เริ่มนำกระแสจนสามารถนำกระแสได้สูงสุด จะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง เวลาช่วงนี้เรียกว่า ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวของ LED และสามารถแสดงการตอบสนองของของ LED ขณะจ่ายแรงดันและกระแสฟอร์เวิร์ดคงที่เทียบกับเวลาได้ดังรูป 1.6

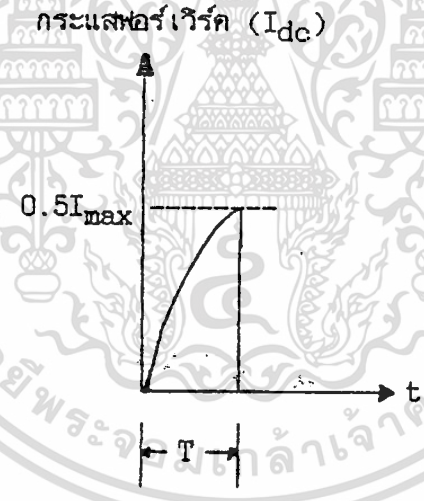


รูปที่ 1.6 การตอบสนองของ LED ขณะจ่ายแรงดันและกระแสฟอร์เวิร์ดคงที่เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งระดับสี โดยการควบคุมเวลาสามารถนำ การตอบสนองต่อกระแสฟอร์เวิร์ดของ LED ตามรูปที่ 1.6 ไปใช้ โดยนำช่วงเวลา T_{MAX} จากรูป 1.6 ซึ่งก็คือช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวนั่นเอง การตอบสนองของ LED ต่อแรงดันและกระแสฟอร์เวิร์ดในช่วงนี้จะยังไม่ คือ กระแสฟอร์เวิร์ด ยังมีการเพิ่มขึ้นอยู่ จะทำให้ LED มีความสว่างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามคุณสมบัติของ LED ดังรูปที่ 1.5 (ข)

กล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าการแบ่งระดับสีคือ การแบ่งช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว (T_{MAX}) โดยกำหนดให้ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว คือช่วงเวลาสูงสุดที่สุด 100 % ถ้าต้องการให้ LED สว่าง 50 % จากความสว่างมากที่สุดที่ LED ตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าตรงมีค่าเท่ากับ I_{MAX} ก็ทำการจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดให้แก่ LED ด้วยเวลา 50% I_{MAX} ของช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว กระแสฟอร์เวิร์ดจะสามารถไหลผ่านตัว LED ได้เพียง 50%จาก I_{MAX} ของกระแสฟอร์เวิร์ดที่ LED สามารถนำกระแสได้ที่สภาวะอิ่มตัว ดังรูปที่ 1.7 ผลของการจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดคงที่เป็นเวลา 50% ของช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว (T_{MAX})



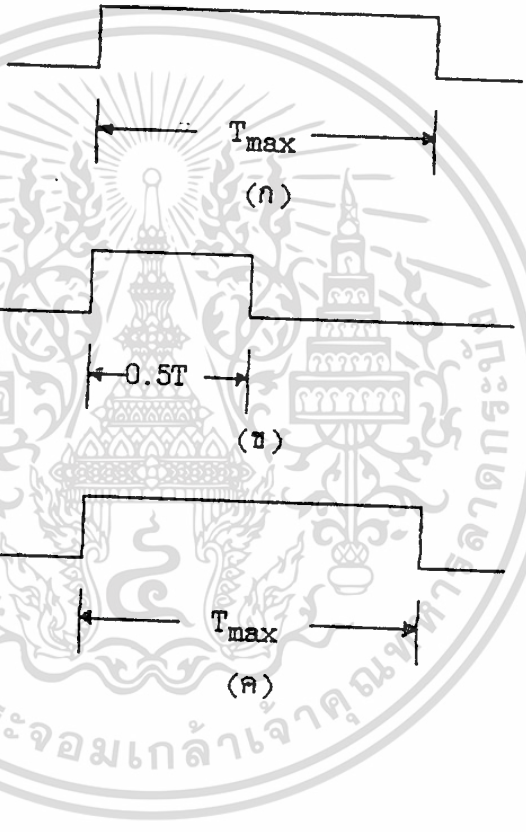
รูปที่ 1.7 ผลของการจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดคงที่เป็นเวลา T ของช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว

LED ปัจจุบันนี้ ได้พัฒนาให้มีหลายรูปแบบมาก และมี LED แบบ 2 สีในตัวถังเดียวกัน ดังนั้นการแบ่งระดับสีจากหลักการข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผสมสีของ LED ได้ดังนี้

โดยทั่วๆ ไป LED แบบ 2 สี ในตัวถังเดียวกัน จะมีสีเขียวและสีแดง การผสมสีก็คือการควบคุมเวลาในการให้กระแสฟอร์เวิร์ดแก่ LED ทั้ง 2 สี มีค่าเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ เช่น ป้อนกระแสฟอร์เวิร์ดให้แก่ LED สีแดงนาน 50% ของช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว และป้อนกระแสฟอร์เวิร์ดให้แก่ LED สีเขียวนานเท่ากันกับช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว จะทำให้ LED สีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองต่อตอบสนองต่อกระแสฟอร์เวิร์ดที่ 0.5 I_{MAX} และ LED สีเขียวตอบสนองต่อกระแสฟอร์เวิร์ดที่ I_{MAX} ทำให้ LED สีแดงเปล่งแสงสว่างออกมาไม่เท่ากันกับ LED สีเขียว จะเกิดการผสมสีได้ระดับหนึ่ง



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ 1.8 การป้อนกระแสฟอร์เวิร์ดให้แก่ LED ในช่วงเวลาไม่เท่ากัน

(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวมีค่า T_{MAX}

(ข) ป้อนกระแสฟอร์เวิร์ดนาน 0.5 T_{MAX} ของช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวให้ LED สีแดง

(ค) ป้อนกระแสฟอร์เวิร์ดนาน 100% ของช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวให้ LED สีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

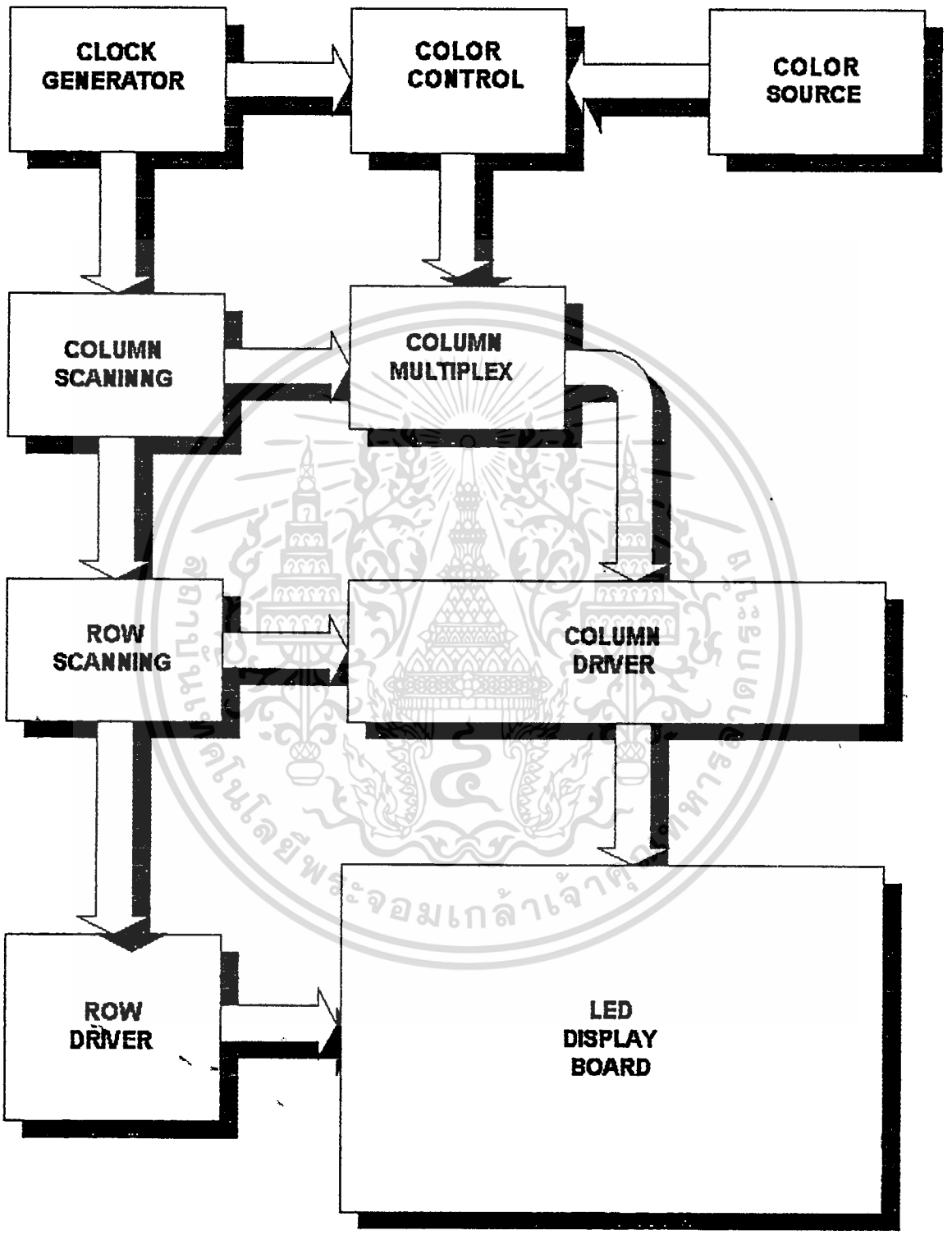
หลักการทำงานของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิคส์

ในบทนี้จะกล่าวถึง การทำงานของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิคส์ที่ใช้ในโครงงานนี้ ความสัมพันธ์ของแต่ละส่วนของแผงแสดงผลตามรูปที่ 1.2 (ก) ซึ่งเป็น หลักการใหญ่ที่เลือกใช้ในโครงงานนี้ เพื่อให้เข้าใจถึงรายระเอียดและวิธีการทำงานของแผงแสดงอิเล็กทรอนิคส์ในโครงงานนี้ได้ดียิ่งขึ้น สามารถนำหลักการในรูปที่ 1.2 (ก) มาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ได้ดังรูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่า โครงสร้างการทำงานของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิคส์ ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator)
- ส่วนควบคุมสี (Color Control)
- ส่วนควบคุมการสแกนทางแนวนอน (Row Scanning)
- มัลติเพล็กเซอร์ทางแนวนอน (Row Multiplexer)
- ส่วนขับกระแสทางแนวนอน (Row Driver)
- ส่วนควบคุมการสแกนทางแนวตั้ง (Column Scanning)
- ส่วนขับกระแสทางแนวตั้ง (Column Driver)
- แผง LED แสดงผล (LED Display Board)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รวมถึงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 บล็อคไดอะแกรมของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ในโครงงาน

2.1 รายละเอียดโดยสังเขปของแต่ละส่วนจะเป็นดังนี้

2.1.1 ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator)

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ควบคุมจังหวะในการทำงานของส่วนต่างๆในระบบให้มีการทำงานที่พร้อมเพรียงกัน (Synchronize) โดยการใช้สัญญาณนาฬิกา ที่ถูกสร้างขึ้นจากส่วนนี้ไปควบคุมส่วนอื่นๆ สัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นจะมี 2 ชุด ชุดหนึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาพื้นฐาน (Clock Base) และอีกชุดหนึ่ง จะมีความถี่น้อยกว่าสัญญาณนาฬิกาพื้นฐาน 16 เท่า สัญญาณนาฬิกาพื้นฐานจะถูกส่งไปควบคุมการแบ่งระดับสี และสัญญาณนาฬิกาชุดหลังจะส่งไปยังส่วนควบคุมการสแกนทางแนวนอนและส่วนควบคุมระดับสีอีกด้วย

2.1.2 ส่วนควบคุมสี (Color Control)

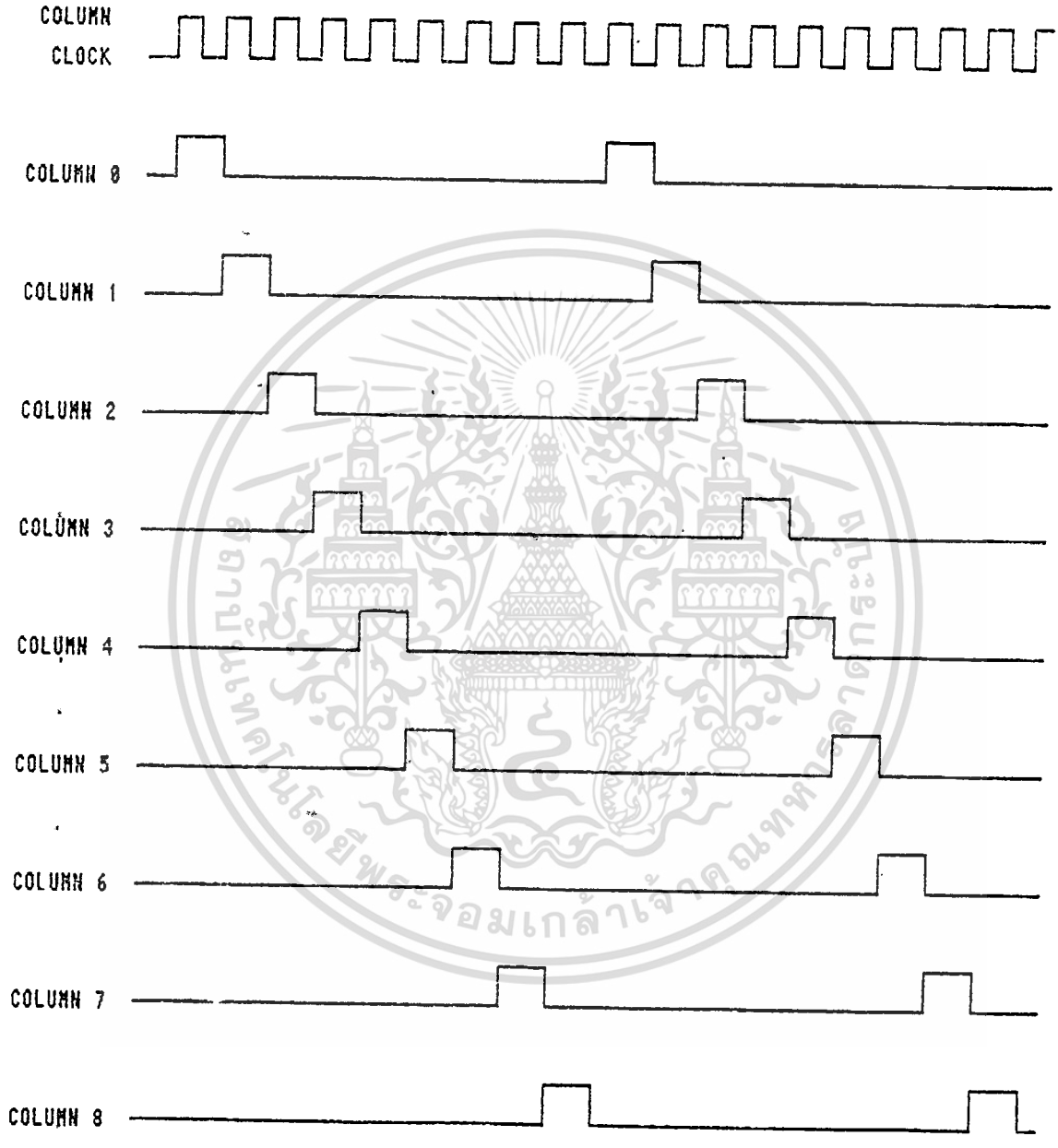
จากหัวข้อที่ 1.4 ได้อธิบายไว้ว่าการควบคุมระดับสีนั้น คือการควบคุมความกว้างของช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว หรือควบคุมความกว้างของพัลส์ (Pulse) นั่นเอง ดังนั้นการทำงานของส่วนนี้ จะเป็นการทำการแปลงข้อมูลทางดิจิตอลเลขไบนารี (Binary Number) 4 บิท ต่อ 1 สี ให้เป็นขนาดความกว้างของพัลส์ ความกว้างของพัลส์สามารถแบ่งระดับได้ถึง 16 ระดับ ต่อ 1 สี จากระดับ 0000-1111 โดยที่ข้อมูล 1111 เมื่อถูกเปลี่ยนให้เป็นพัลส์แล้ว จะมีขนาดกว้างสุด และลดลงไปเรื่อยๆ จาก 1110 จนกระทั่งข้อมูลเป็น 0000 จะมีความกว้างน้อยที่สุด

เนื่องจากโครงงานนี้ เป็นแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแบ่งระดับและผสมสีได้ระหว่างสีแดงและสีเขียวของ LED ดังนั้นส่วนนี้จะต้องได้รับข้อมูลที่มีขนาด 8 บิท โดยกำหนดให้บิท 0-3 เป็นข้อมูลสีเขียวและ 4-7 เป็นข้อมูลสีแดง จึงทำให้สามรถผสมสีได้ถึง 256 สี

2.1.3 ส่วนควบคุมการสแกนทางแนวตั้ง (Column Scanning)

ในส่วนนี้ จะเป็นการควบคุมการเปิดและปิดวงจรทางแนวตั้ง การทำงานมีลักษณะเหมือนสวิทช์ (Switch) เลือกหลักที่แสดงผล ให้แสดงผลทีละ 4 หลัก เริ่มจากหลักที่ 1-4 ไปจนถึง 4 หลักสุดท้ายแล้ววนกลับมา 4 หลักแรกใหม่ โดยที่ระยะเวลาในการเปิดวงจร (Open Circuit) แต่ละครั้งจะมีขนาดเท่ากับ ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว หรือเท่ากับขนาดพัลส์กว้างที่สุดของข้อมูลสี ลักษณะของการทำงานตามที่กล่าวผ่านมาสามารถแสดง แผนภาพของเวลาได้ดังรูปที่ 2.2 และส่วนนี้ยังมีหน้าที่อีกอย่างหนึ่ง คือ ควบคุมการทำงานของส่วนควบคุมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภาพเวลาของการสแกนทางแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแกนทางด้านแนวนอน โดยเมื่อการแสดงผลครบทุกหลักแล้ว ส่วนควบคุมการสแกนทางแนวตั้ง จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังส่วนควบคุมการสแกนทางทางแนวนอน เพื่อทำการเปลี่ยนแถว (Row)ที่แสดงผล

2.1.4 มัลติเพล็กเซอร์ทางด้านแนวตั้ง (Column Multiplexer)

ส่วนนี้จะทำการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ข้อมูลสี รวมเข้ากับข้อมูลทางด้านแนวตั้ง เพื่อกำหนดหลักที่แสดงผลและระยะเวลาในการแสดงผล เพื่อให้ได้ระดับสีตามที่ต้องการ สามารถแสดงแผนภาพเวลาของการมัลติเพล็กซ์ ได้ดังรูปที่ 2.3 และส่วนของมัลติเพล็กเซอร์นี้จะต้องมี 2 ชุดคือ ชุดหนึ่งสำหรับการมัลติเพล็กซ์ข้อมูลสีแดงกับข้อมูลทางด้านแนวตั้ง และอีกชุดหนึ่งสำหรับมัลติเพล็กซ์ข้อมูลสีเขียวกับข้อมูลทางแนวตั้ง การทำงานของส่วนนี้ที่ได้อธิบายมาข้างต้นอาจพูดได้อีกนัยหนึ่งว่า " **มัลติเพล็กเซอร์ทางด้านแนวตั้งเป็นตัวกำหนดเวลาในการเปิด-ปิดวงจรของแถวที่แสดงผล** "

2.1.5 ส่วนควบคุมการสแกนทางแนวนอน (Row Soanning)

การทำงานของส่วนนี้จะมีลักษณะการทำงาน เหมือนกับส่วนควบคุมการสแกนทางด้านแนวตั้ง คือ มีลักษณะเป็นสวิทช์ เปิด-ปิด วงจรที่ถูกกำหนดเวลาให้มีขนาดเท่ากับเวลาในการสแกนครบทุกหลัก จึงจะเป็นการเปลี่ยนแถวที่แสดงผลไปยังแถวถัดไป เช่นนี้เรื่อยๆ จนถึงแถวสุดท้าย และวนกลับมายังแถวที่ 1 อีกครั้ง สามารถเขียนแผนภาพเวลาได้ดังรูปที่ 2.4

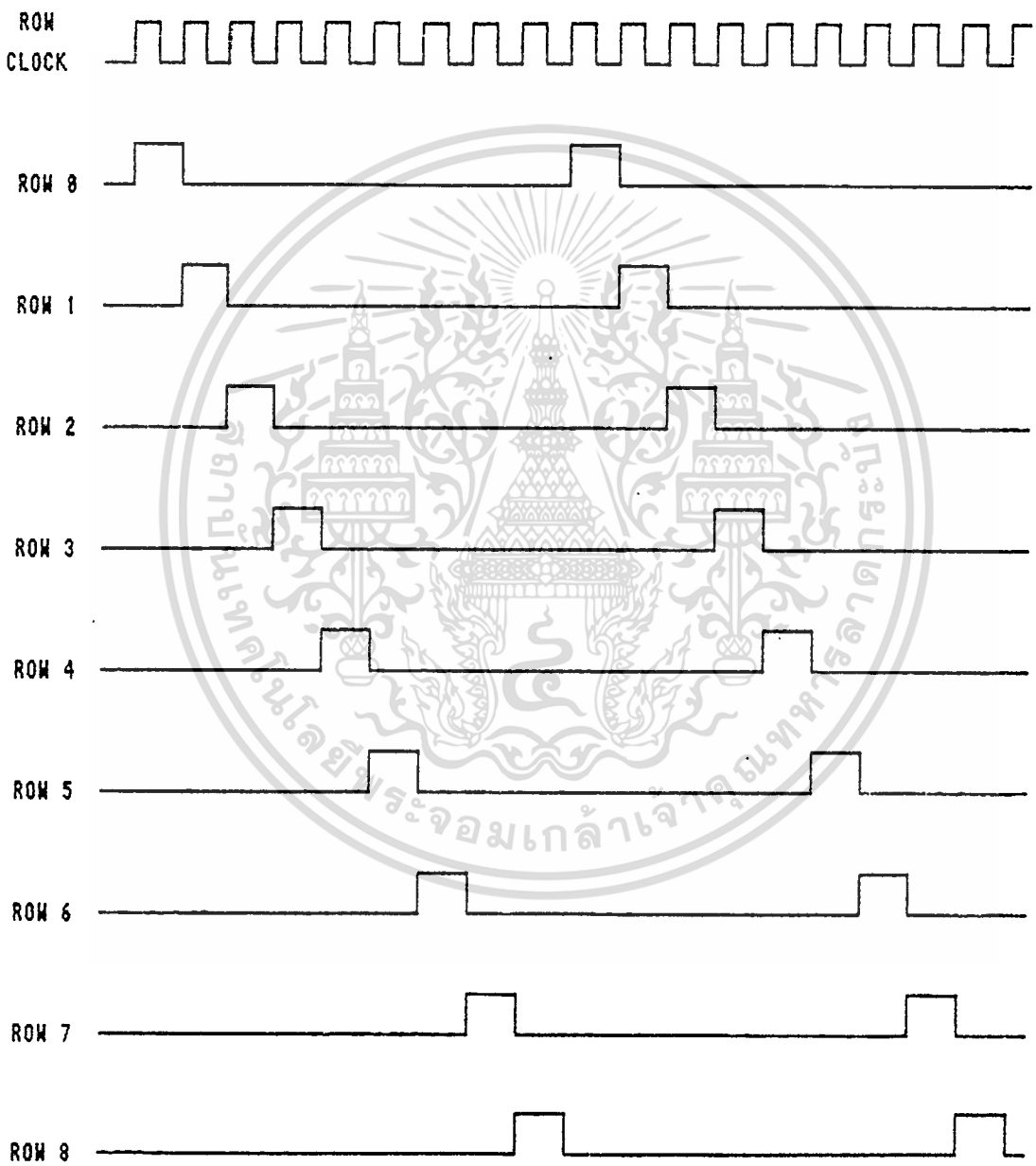
2.1.6 ส่วนขับกระแสทางด้านแนวตั้ง (Column Driver)

ส่วนนี้จะเป็นวงจรขยายกระแสตามการควบคุมของการมัลติเพล็กเซอร์ทางด้านแนวตั้ง เนื่องจากส่วนของมัลติเพล็กซ์ไม่สามารถขับกระแสได้สูงมากพอที่จะทำให้ LED เปล่งแสงสว่างได้เต็มที่ในระยะเวลาสั้นๆ

2.1.7 ส่วนขับกระแสทางด้านแนวนอน (Row Driver)

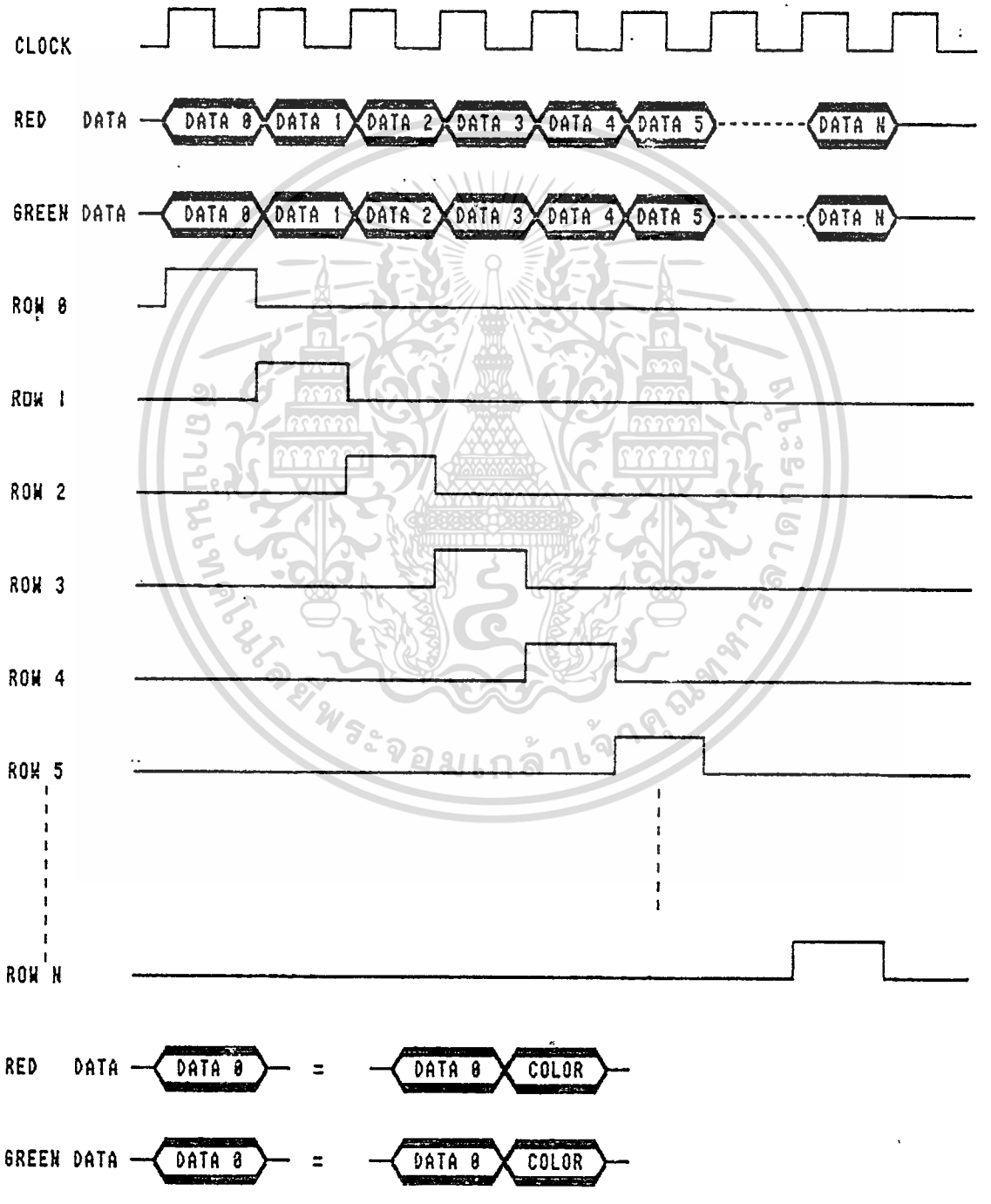
ส่วนนี้จะมีลักษณะการทำงานเหมือนกับส่วนขับกระแสทางด้านแนวตั้ง เพียงแต่ว่าส่วนขับกระแสทางด้านแนวนอนนี้ จะถูกควบคุมจากส่วนควบคุมการสแกนทางแนวตั้ง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แผนภาพเวลาของการมัลติเพล็กซ์ทางแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



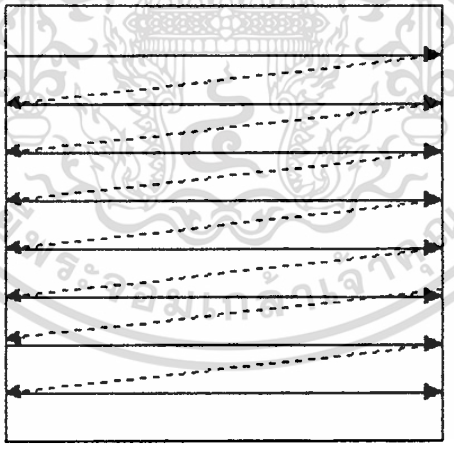
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 แผนภาพเวลาของการสแกนทางแนวตั้ง

ระยะเวลาในการทำงานของวงจรขับกระแสแต่ละแถวจะใช้เวลานานกว่าส่วนขับกระแสทางด้านแนวตั้ง โดยจะสแกนนานเป็นเวลาเท่ากับการสแกนทางแนวตั้งครบทุกหลัก

2.1.8 แผง LED แสดงผล (LED Display Board)

การแสดงผลของ LED บนแผงนี้จะถูกควบคุมจาก ทางด้านแนวนอนและแนวตั้งที่สัมพันธ์กัน โดยจะแสดงผลทีละ 4 จุด แต่จะเป็นการแสดงผลที่เร็วมาก ๆ จนเห็นเป็นรูปภาพที่ต่องเนื่องกัน LED จะถูกขับให้นำกระแสทีละ 4 จุด โดยมีข้อมูลชุดที่ 1 เข้ามามัลติเพล็กซ์บังคับให้คอลัมน์ชุดที่ 1 (คอลัมน์ที่ 1-4) นำกระแส ส่วนการสแกนทางแนวนอนจะบังคับให้แถวที่ 1 นำกระแสทำให้กระแสฟอร์เวิร์ดที่จ่ายให้กับ LED ครบวงจร LED จึงสว่างอยู่ชั่วขณะหนึ่งแล้วจึงดับ ต่อมาจะมีข้อมูลชุดต่อไปเข้ามาแทนที่ในทันทีจนครบทุกจุดบนแผงแสดงผล โดยสามารถแสดงทิศทางของการแสดงผลได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ทิศทางการแสดงผลบนแผง LED Display Board

2.1.9 การทำงานของระบบรวม

จากหัวข้อที่ผ่านมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่าส่วนต่างๆ จะต้องนำมาทำงานให้ได้ความสัมพันธ์กันตลอดเวลา ดังนั้นสามารถอธิบายการทำงานของระบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบจะเริ่มเมื่อมีข้อมูล 8 บิทจากภายนอก คือ แหล่งจายข้อมูลสี (Color Data Source) ส่งมาให้แก่ส่วนควบคุมสี ส่วนควบคุมสีจะรับข้อมูลเลขไบนารี 8 บิทมาเปลี่ยนเป็นขนาดความกว้างพัลส์โดยบิท 0-3 เป็นข้อมูลของสีเขียวและบิท 4-7 เป็นข้อมูลของสีแดง ข้อมูล 4 บิทในแต่ละสีทำให้สามารถแบ่งระดับสีได้ถึง 16 ระดับ เมื่อส่วนควบคุมสีทำการเปลี่ยนข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะส่งข้อมูลนั้นไปยังส่วนมัลติเพล็กซ์ทางด้านแนวตั้ง และสัญญาณควบคุมส่วนการสแกนทางแนวนอน จากนั้นส่วนมัลติเพล็กซ์ทางแนวตั้งพร้อมๆ กับส่วนควบคุมทางแนวนอนจะส่งสัญญาณไปยังส่วนขับกระแสทางแนวตั้งและแนวนอน ส่วนขับกระแสทั้งสองด้านจะทำการส่งข้อมูลไปยังส่วนแสดงผล

2.2 การออกแบบวงจร

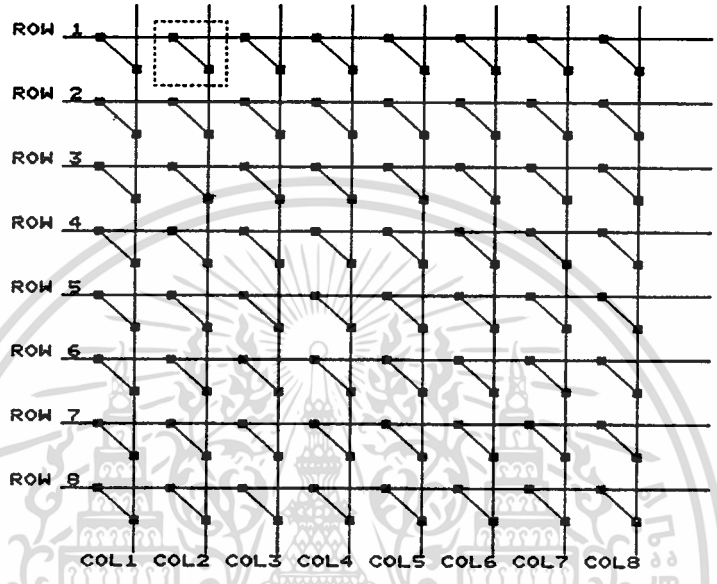
หลังจากที่ได้รับทราบการทำงานส่วนต่างๆ มาแล้ว ต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึงการออกแบบส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้การทำงานตามที่ต้องการ โดยใช้แผงแสดงผลขนาด 8X8 จุด เป็นตัวอย่างในการออกแบบ เพราะการออกแบบวงจรใหญ่ จะเป็นการนำเอาวงจรเล็กๆ ไปต่อร่วมกัน การออกแบบแผงแสดงผลขนาด 8X8 จุด จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

2.2.1 การจัดวาง LED

การควบคุมการแสดงผลของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ ในโครงงานนี้จะควบคุม LED แต่ละจุดโดยตรง ดังนั้นการจัดวาง LED เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมการไบอัส LED จึงเลือกใช้การจัดวาง LED แบบด็อทแมตริกซ์ (Dot Matrix) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.6

จากรูปที่ 2.6 (ก) การจัดวาง LED แบบ ด็อทแมตริกซ์ จะทำให้ง่ายต่อการควบคุม LED ในแต่ละจุด โดยผ่านการควบคุมไบอัสทางแนวนอน และแนวตั้งตัดกัน ส่วนรูป (ข) นั้นเป็นการต่อเชื่อม LED เข้าไปยังแกนแนวนอนและแนวตั้ง โดยการใช้ LED 1 ดวงต่อ 1 จุดบนแผงแสดงผล แต่ในโครงงานนี้เป็นการแบ่งระดับสีและผสมสีกันระหว่าง LED สีแดงและสีเขียวใน 1 จุดบนแผงแสดงผล ดังนั้นรูปที่ 2.6 (ข) สามารถเขียนใหม่ได้ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



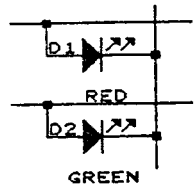
(ก)

(ข)

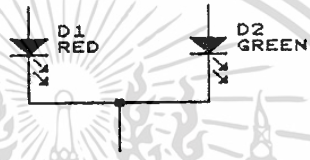
<u>รูปที่ 2.6</u> (ก) การจัดวาง LED แบบด็อทแมททริกซ์ขนาด 8X8 ด็อท

(ข) การต่อ LED ในแต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

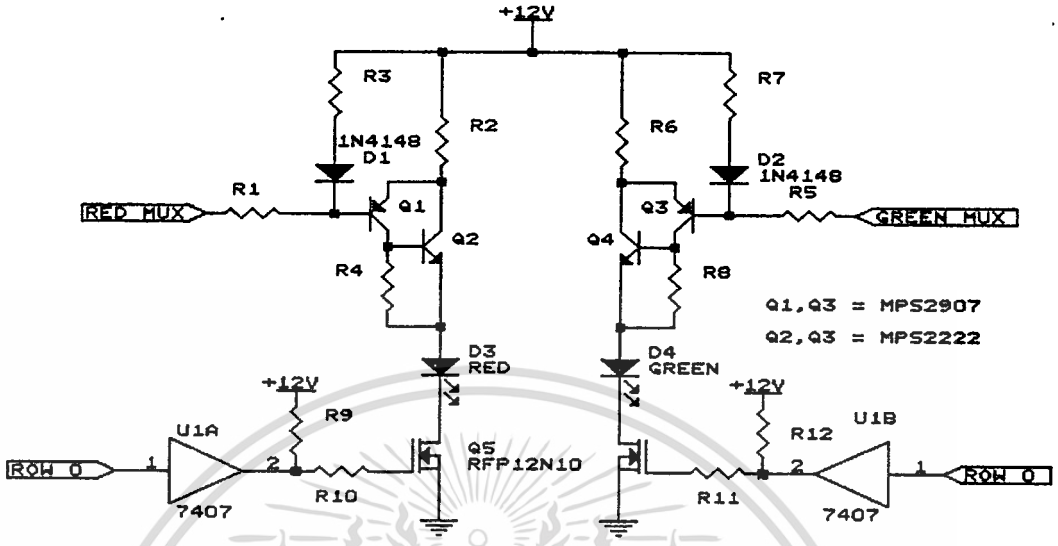
รูปที่ 2.7 (ก) การต่อ LED 2 สีใน 1 จุดบนแผงแสดงผล

(ข) วงจรภายในของ LED 2 สีแบบคาโทดร่วม (Common Cathode)

2.2.2 วงจรขับกระแส (Driver Cirouit)

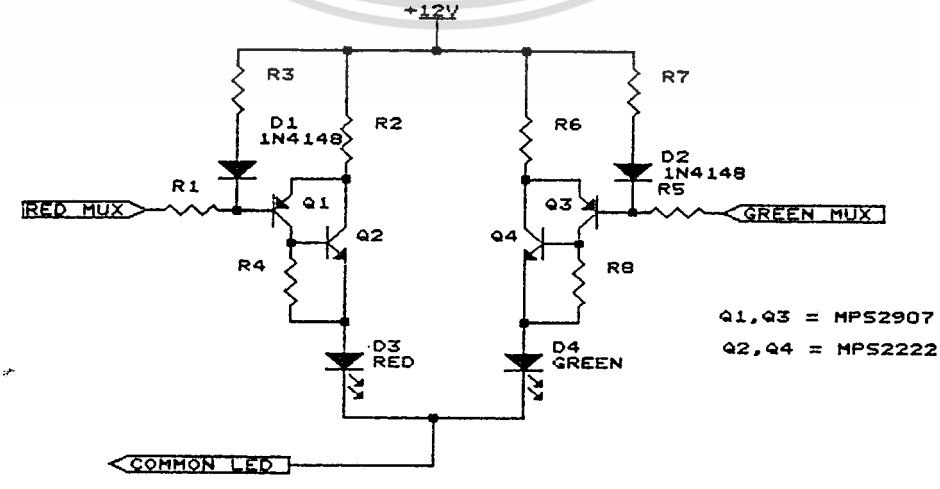
เนื่องจาก LED ต้องใช้กระแสไฟตรงขนาด 125 มิลลิแอมป์ สำหรับสีแดง และ 105 มิลลิแอมป์สำหรับสีเขียว เพื่อใช้ในการเปล่งแสงสว่างสูงสุด ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขับกระแสโดยการนำ ทรานซิสเตอร์ เข้ามาช่วยในการขยายกระแสที่จ่ายให้แก่ LED เนื่องจากวงจรควบคุมการแสดงผลทางแนวนอน และแนวตั้งไม่สามารถจ่ายกระแสไฟตรงได้ถึง 125 มิลลิแอมป์ รูปที่ 2.8 แสดงวงจรขับกระแสสำหรับ LED แต่ละจุดบนแผงแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

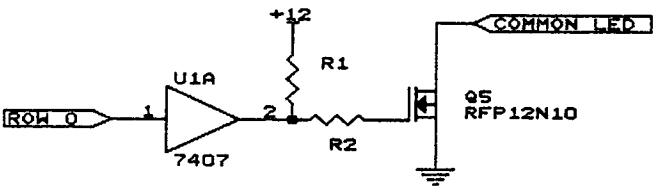


รูปที่ 2.8 วงจรขับกระแสสำหรับ LED 1 จุดบนแผงแสดงผล

จากรูปที่ 2.8 สามารถแบ่งวงจรขับกระแสได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนของวงจรขับกระแสทางด้านแนวตั้ง และส่วนวงจรขับกระแสทางด้านแนวนอน ดังรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

<u>รูปที่ 2.9</u> (ก) วงจรขับกระแสทางด้านแนวนอน
(ข) วงจรขับกระแสทางด้านแนวตั้ง

2.2.2.1 การทำงานของวงจรขับกระแสทางแนวนอน

จากรูปที่ 2.9 การทำงานของวงจรขับกระแสทางแนวนอนนั้น ถูกแยกออกจากกัน โดยที่ D_1 คือ LED สีแดง และ D_2 คือ LED สีเขียว โดยมีทรานซิสเตอร์ Q_1 , Q_2 ซึ่งต่อกันแบบดาร์ลิงตันและตัวต้านทาน R_1 , R_2, R_3 เป็นส่วนของวงจรขับกระแสให้ LED สีแดง และ R_4 , R_5, R_6 ขับกระแสให้ LED สีเขียว ซึ่งการทำงานของวงจรขับกระแสทั้ง 2 ชุดเหมือนกัน ดังนั้น สามารถยกตัวอย่างการทำงานของวงจรขับกระแสของชุดใดชุดหนึ่งเพื่อทำความเข้าใจได้

จากรูปที่ 2.9 (ก) อินพุทของวงจรขับกระแสทางแนวนอนนั้นได้มาจากส่วนมัลติเพล็กเซอร์ทางแนวตั้ง ซึ่งเป็นส่วนที่ควบคุมการเปิด - ปิดวงจรของทรานซิสเตอร์ Q_1 โดยการให้ลอจิก "1" ผ่านอินเวอร์เตอร์และบัฟเฟอร์เบอร์ 7407 ที่มีภาคเอาท์พุทเป็นแบบโอเพนคอลเลคเตอร์ ซึ่งขณะที่วงจรมัลติเพล็กเซอร์ทางด้านแนวตั้งให้ลอจิก "1" มาที่อินพุทของอินเวอร์เตอร์ จากนั้นผ่านบัฟเฟอร์ ทำให้กระแสไฟตรงจาก V_{CC} ไหลผ่านตัวต้านทาน R_1 โดยลักษณะของภาคเอาท์พุทของบัฟเฟอร์จะต้องมีตัวต้านทานพูลอัพ ซึ่งจากรูป 2.9 (ก) R_3 ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานพูลอัพด้วย นอกจากนี้ตัวต้านทาน R_1 ยังทำหน้าที่ร่วมกับ R_3 ในการกำหนดกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะทำการขยายกระแสเบสด้วยค่าอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวคูณกัน ซึ่งทรานซิสเตอร์ได้ถูกกำหนดไว้ให้ทำงานที่กระแสคอลเลคเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์แอคทีฟจะเสมือนว่าขาคอลเลคเตอร์และขาอีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ต่อกันโดยตรง แรงดันที่ตกคร่อมขาทั้งสองจะมีค่า 0 โวลท์ ดังนั้นขณะที่ทรานซิสเตอร์ทำงานกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่านตัวต้านทาน R_2 ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวกำหนดขนาดของกระแสผ่านทรานซิสเตอร์ไปไบอัส LED ขนาดของ R_1 , R_2 และ R_3 จะถูกกำหนดตามสมการที่ 2.1-2.3 ดังนี้

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_{C(SAT)}} \quad \text{.....สมการที่ 2.1}$$

V_{CE} = 0 V

V_E = โวลเตจคร่อม LED + โวลเตจที่ตกคร่อมภาคเอาท์พุทของวงจรขับกระแสทางแนวตั้ง

$$R_B = \frac{V_B - V_{BE} - V_E}{I_B} \quad \text{.....สมการที่ 2.2}$$

$$I_B = \frac{I_{C(SAT)}}{B} \quad \text{.....สมการที่ 2.3}$$

ในกรณีที่ต้องการให้กระแสไหลสูงๆเราสามารถให้ค่า R_2 เป็น 0 ได้ ซึ่งการหาค่า R_5 , R_6 และ R_7 ก็สามารถหาได้ด้วยวิธีเดียวกันนี้ และจำนวนของวงจรขับกระแสทางด้านแนวตั้ง จะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนสองเท่าของคอลัมน์ทั้งหมดของแผง LED

2.2.2.2 การทำงานของวงจรขับกระแสทางแนวตั้ง

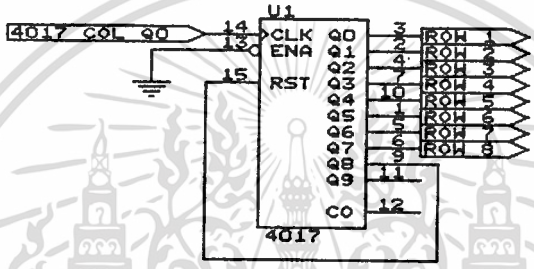
จากรูปที่ 2.9 (ข) แสดงให้เห็นถึงวงจรขับกระแสทางด้านแนวนอน ซึ่งนำเอา MOSFET เบอร์ RFP12N10 จำนวน 16 ตัวมาใช้เป็นตัวขับกระแสของ LED ในแนวแถว โดยทำหน้าที่เหมือนสวิทช์เปิดและปิดเลือกแถวของ LED ที่ติด

2.2.3 ส่วนควบคุมการสแกนทางแนวนอนและแนวตั้ง

จากที่ได้กล่าวถึงการทำงานของส่วนควบคุมการสแกนจากหัวข้อข้างต้น จะเห็นได้ว่าการทำงานของส่วนควบคุมการสแกนทางด้านแนวตั้งและแนวนอนมีลักษณะการทำงานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกัน ดังนั้นในการออกแบบจึงเลือกใช้วงจรที่เหมือนกันและยกตัวอย่างการทำงานของวงจรควบคุมการสแกนทางแนวนอนมาอธิบาย ก็สามารถเข้าใจถึงการทำงานทางด้านแนวตั้งด้วย ริงก์เคาน์เตอร์ที่ใช้ในการออกแบบจะใช้กับ LED ขนาด 8 หลัก สามารถแสดงการต่อริงก์เคาน์เตอร์ 4017 ทำการนับ 8 สเตท (State) จาก 0-7 ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การต่อริงก์เคาน์เตอร์เบอร์ 4017 8 สเตท

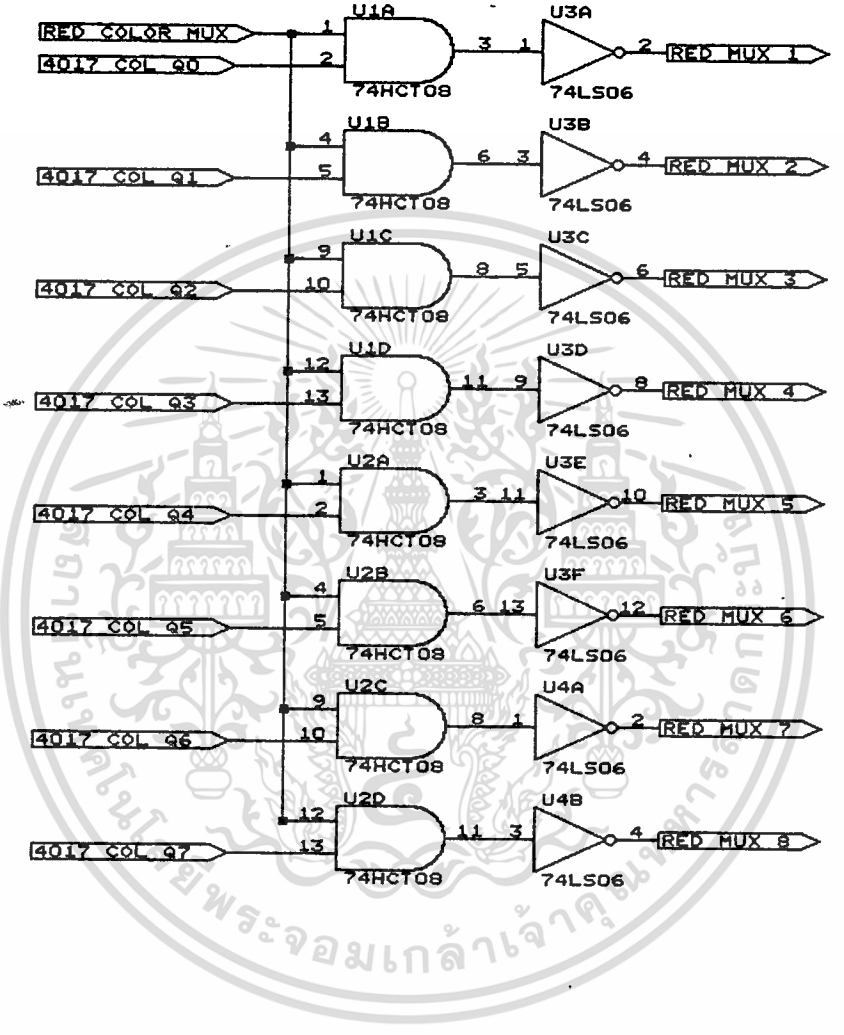
จากรูปที่ 2.10 สัญญาณนาฬิกา ที่ป้อนให้แก่ริงก์เคาน์เตอร์ 4017 จะต้องมีคาบเวลามากกว่าทางด้านแนวตั้ง 8 เท่า โดยให้วงจรขับกระแสทางด้านแนวตั้งทำงานครบทั้ง 8 หลักก่อนจึงจะทำการเปลี่ยนแถว ไปยังแถวถัดไป

การควบคุมทางแนวนอนนี้ต้องการให้แถว LED นำกระแสครั้งละ 1 แถว จากแถวแรกไปจนถึงแถวสุดท้ายแล้วจึงวนกลับมายังแถวแรกใหม่โดยที่ระยะเวลาในการนำกระแสของ LED แต่ละแถวมีค่าเท่ากัน ซึ่งการทำงานแบบนี้เป็นลักษณะการทำงานของ ริงก์เคาน์เตอร์ เพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการจึงเลือกใช้ เดเคดเคาน์เตอร์เบอร์ 4017 ซึ่งทำงานแบบริงก์เคาน์เตอร์

2.2.4 มัลติเพล็กเซอร์ทางด้านแนวตั้ง

จากหัวข้อที่ 2.1.4 ได้กล่าวมาแล้วว่า มัลติเพล็กเซอร์จะนำการรวมข้อมูลสี เข้ากับข้อมูลการแสดงผลทางแนวตั้ง เพื่อนำไปควบคุมวงจรขับกระแสทางด้านแนวตั้งและจะมีมัลติเพล็กเซอร์ของชุดสีแดง และชุดสีเขียว ประกอบอยู่ด้วยกัน ซึ่งมีการทำงานที่เหมือนกัน ดังนั้นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและวงจรของส่วนนี้ สามารถนำชุดใดชุดหนึ่งมาเพื่ออธิบายการเข้าใจก็ได้ วงจรของมัลติเพล็กเซอร์ทางด้านแนวตั้ง เป็นดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วงจรมัลติเพล็กเซอร์ขนาด 8 แถว

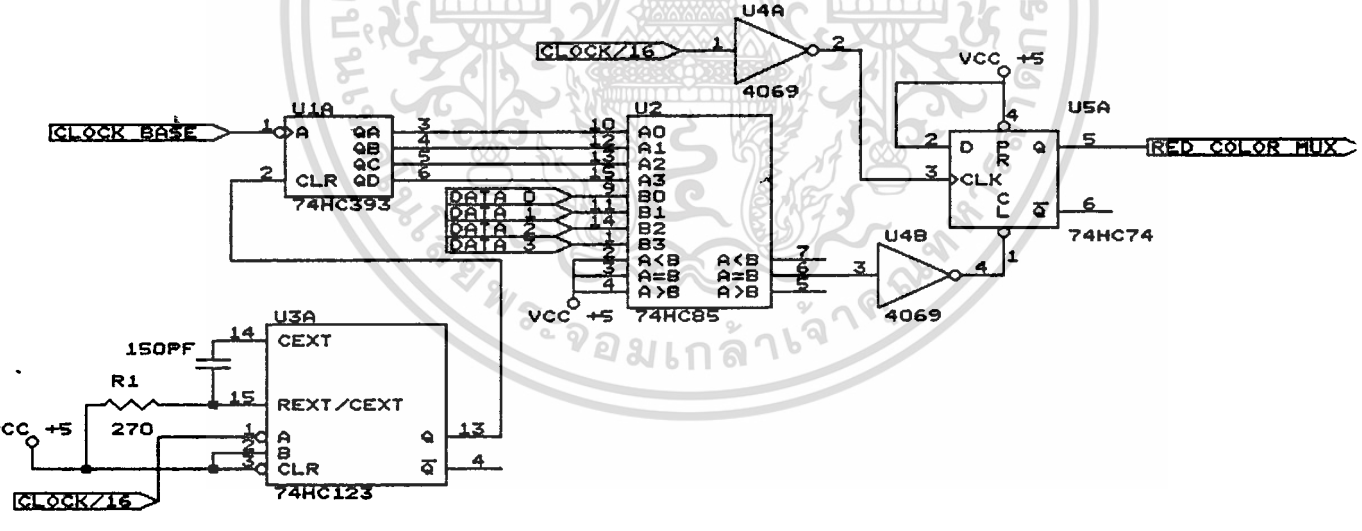
จากวงจร อินพุทของมัลติเพล็กเซอร์ มี 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 ได้รับจากวงจรควบคุมระดับสี และอีกส่วนหนึ่งได้รับจากวงจรควบคุมการสแกนทางด้านแนวตั้ง โดยเมื่อแอนด์เกท (AND GATE) U1A ได้รับสัญญาณระดับลอจิก " 1 " จากเอาท์พุทของ Q_0 ของริงก์เคาน์เตอร์ในวงจรสแกนทางแนวตั้ง โดยที่แอนด์เกท ตัวอื่นๆ ได้รับสัญญาณลอจิก " 0 " ทำให้แอนด์เกท U1A ทำการเปิดเกทเพื่อรอสัญญาณสีจากส่วนควบคุมระดับสี ดังนั้นเอาท์พุทของแอนด์เกท U1A จะเป็นไปตามสัญญาณสีผ่านไปยัง อินเวอร์ตเตอร์บัฟเฟอร์ไดร์เวอร์ (Inverter Buffer Driver) U3A เบอร์ 74LS06 ต่อไปยังส่วนวงจรขับกระแสทางแนวตั้งหลักที่ 1 เมื่อมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณนาฬิกาลูกที่ 2 เข้ามายังวงจรสแกนทางแนวนอน Q_0 จะให้ลอจิก " 0 " ออกมาทำให้ แอนด์เกท U1A หยุดทำงาน แต่ Q_1 จากวงจรสแกนทางแนวตั้งจะให้ลอจิก " 1 " แก่แอนด์เกท U1B แทน U1B จะเริ่มทำงานแทน เป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนครบทุกแถวแล้วจึงวนกลับมาเริ่มทำงานที่ U1A ใหม่

2.2.5 วงจรควบคุมระดับสี

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1.2 ว่าการควบคุมระดับสีคือการควบคุมความกว้างพัลส์ ตามข้อมูลเลขไบนารี 4 บิทต่อ 1 สี ทางด้านอินพุท เอาท์พุทที่ได้ของวงจรนี้เป็นความกว้างพัลส์ สามารถแสดงวงจรได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรควบคุมระดับสี

เมื่อข้อมูลเลขไบนารี 4 บิท เข้ามาที่อินพุท 4 บิท (B_0,B_1,B_2,B_3) ของ แมกนิจูทคอมพาราเตอร์ แบบ 4 บิท (4-Bit Magnitude Compartor) U2 เบอร์ 74HC85 ข้อมูลจะรอการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เข้ามาสู่อินพุทอีก 4 บิท (A_0,A_1,A_2,A_3) ที่มาจาก โฟร์สเตทไบนารีริปเปิลเคาน์เตอร์ (4-Stage Binary Ripple Counter) U1 เบอร์ 74HC393 ซึ่งจะทำการเริ่มนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก 0000-1111 เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามายังขา 1 โดยเมื่อมีการนับถึงค่า 1111 U1 จะถูกรีเซตให้เริ่มนับ 0000 ใหม่ โดยสัญญาณรีเซตจะถูกสร้างจากสัญญาณนาฬิกาที่ทำการหาร 16 โดย ใช้ U3 ซึ่งเป็น โฟร์สเตทไบนารีเคาน์เตอร์ เบอร์ 74HC393 เช่นเดียวกับ U1 ผ่านเข้าสู่ U4 เบอร์ 74HC123 ซึ่งทำงานเป็น โมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrater) ส่งสัญญาณลอจิก " 1 " มายังขารีเซต (ขา 2) ของ U1 เมื่อค่าที่นับได้เท่ากับข้อมูลที่รออยู่ U2 จะให้ค่าเอาท์พุทเป็น 1 (High) ออกมาที่ขา 6 (INPUT A=B) ผ่าน อินเวอร์ตเตอร์ เข้าสู่ขารีเซต (ขา 1) ของ U5 ซึ่งเป็น ดี-ฟลิบฟลอบ (D Flip-Flop) เบอร์ 74HC74 สัญญาณที่ได้จากขา 6 ของ U2 ผ่านอินเวอร์ตเตอร์นี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดความกว้างของพัลส์ที่เป็นเอาท์พุท (ขา 5) ของ U5 ให้ได้ตรงตามข้อมูลที่เรากำหนด มีการทำงานโดย ปกติขารีเซตของ U5 จะเป็น 1 ซึ่งจะทำให้เอาท์พุท Q_1 (ขา 5) มีค่าเป็น 1 เสมอ (โดยต้องต่อขา 4,2 เข้ากับ Vcc) แต่เมื่อสัญญาณที่เข้ามาที่ขารีเซตเป็น 0 ก็จะทำให้เอาท์พุท Q_1 มีค่าเป็น 0 จนกว่าสัญญาณที่ป้อนเข้าที่ขา 3 (Clock) จะมีการเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 ก็จะทำให้สัญญาณที่ขาเอาท์พุท Q_1 กลับเป็น 1 ดังเดิม สัญญาณที่ป้อนเข้าที่ขา 3 ก็คือสัญญาณนาฬิกาที่ผ่านวงจรหาร 16 (ขา 6 ของ U3) แล้วผ่านอินเวอร์ตเตอร์นั่นเอง เพราะฉะนั้นสัญญาณที่ได้จากขา Q_1 ของ U5 จึงมีขนาดความกว้างในแต่ละรอบการทำงาน (นับ 0000-1111) ไม่เท่ากัน เปลี่ยนแปลงตามข้อมูลที่เราป้อนให้

2.2.6 ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator)

ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาพื้นฐาน ขึ้นอยู่กับการแสดงผลของแผง LED คือการแสดงผลบนแผง LED มีลักษณะติดและดับครั้งละ 1 จุด ดังนั้น ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาพื้นฐาน ต้องมีค่าสูงพอที่สามารถทำให้ตามนุษย์มองเห็นการแสดงผลบนแผง LED เป็นภาพนิ่งได้โดยไม่มีการพริ้วของภาพ คือต้องสามารถแสดงผลได้ 25 ภาพภายใน 1 วินาที แต่ในโครงงานนี้นั้นเราให้แสดงผล 100 ภาพ ภายใน 1 วินาที ดังนั้น สามารถยกตัวอย่าง วิธีการคำนวณความถี่พื้นฐาน แสดงไว้ว่าการแสดงผลของแผง LED ขนาด 8X8 ได้ดังนี้

ตัวอย่าง การแสดงผล 1 ภาพ ใช้ความถี่ 100 Hz

การแสดงผลทางแนวตั้ง 8 หลัก ใช้ความถี่ 100X8= 800 Hz

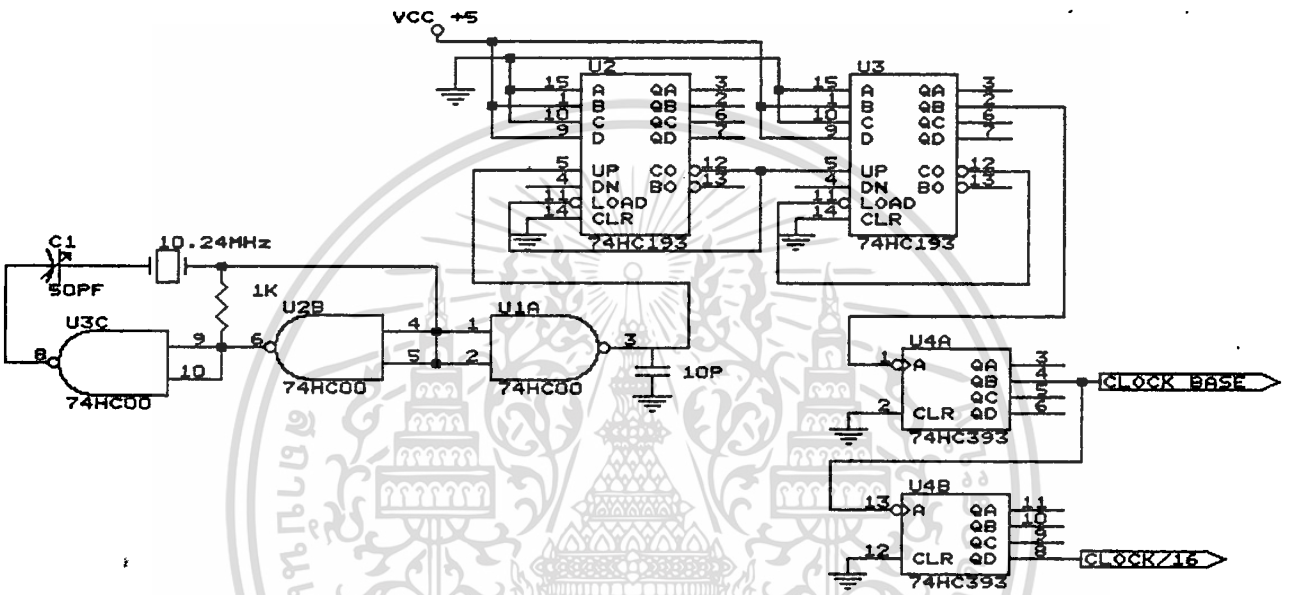
การแสดงผลทางแนวนอน 8 แถว ใช้ความถี่ 800X8= 6.4 KHz

ดังนั้น สัญญาณนาฬิกาพื้นฐานที่ใช้ต้องมีความถี่ $6.4X10^3X16$= 102.4 KHz

จากตัวอย่างการคำนวณหาความถี่ของสัญญาณนาฬิกาพื้นฐาน แสดงไว้ว่าการแสดงผลของแผง LED ขนาด 8X8 จะต้องใช้ความถี่ไม่ต่ำกว่า 102.4 KHz ดังนั้นถ้าขนาดของแผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

แสดงผลมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับเพื่อให้การแสดงผลไม่เกิดการสั่นไหว สำหรับโครงงานนี้เราทำเป็นอาร์เรย์ย่อยๆ ขนาด 8X32 และหลอด LED สว่างทีละ 4 หลอด โดยให้ภายใน 1 วินาที แสดงภาพได้ 100 ภาพ เพราะฉะนั้นจะต้องใช้สัญญาณนาฬิกาพื้นฐานสำหรับแต่ละอาร์เรย์เป็น 102.4 KHz สามารถแสดงวงจรของส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของแผงแสดงผลขนาด 8X32 ได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

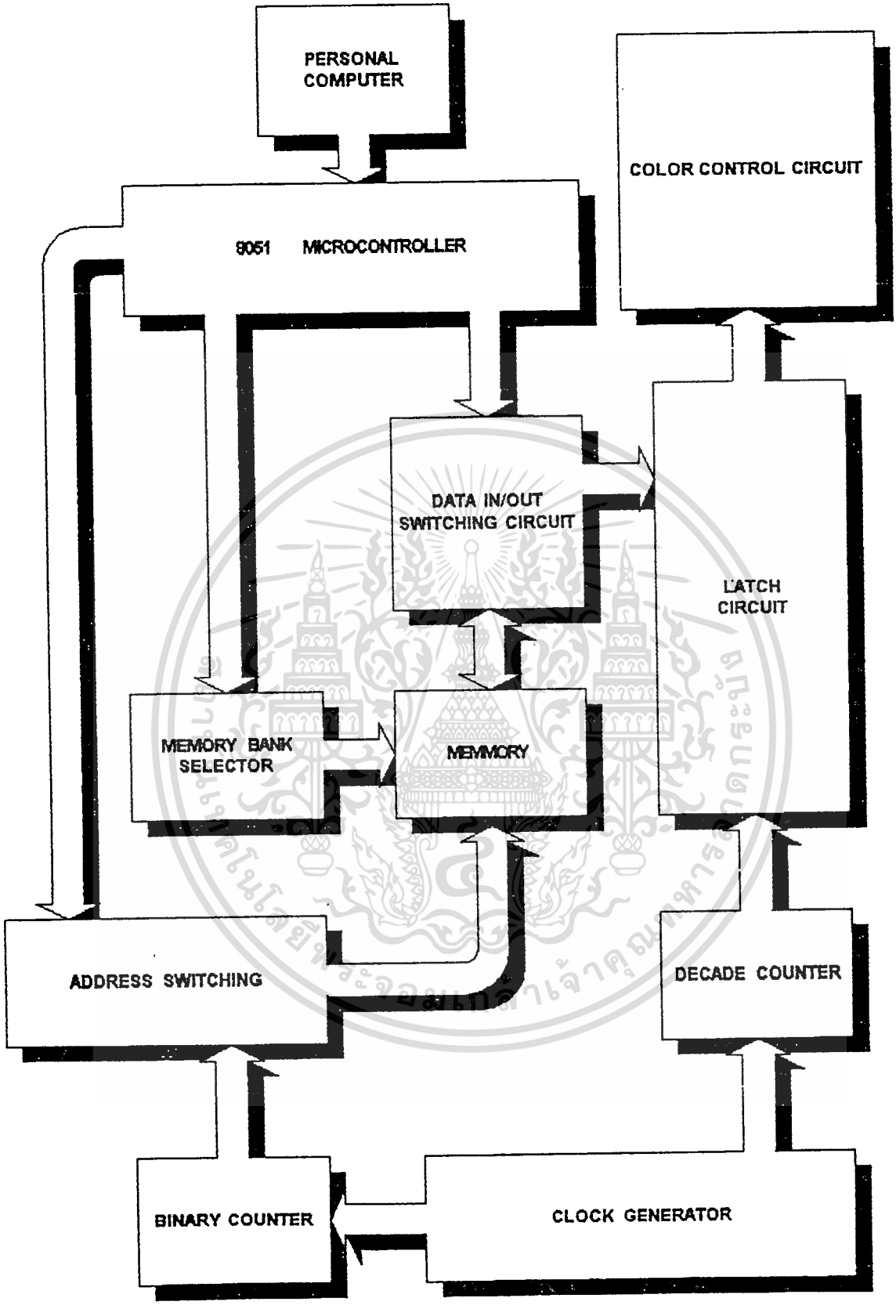
วงจรส่วนอินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึง วงจรส่วนที่ทำการควบคุมการส่งผ่านข้อมูลจากไมโครคอมพิวเตอร์เข้าสู่วงจรควบคุมสีและผ่านเข้าสู่ LED DISPLAY BOARD โดยเราเรียกวงจรทั้งหมดในส่วนนี้เมื่อเทียบกับบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 1.2 ว่าเป็นส่วน DATA CONTROLLER ซึ่งสามารถแสดงออกมาเป็นบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 3.1 ซึ่งจะแสดงเพียงส่วนอินเตอร์เฟสเฉพาะกับอาร์เรย์ย่อยเพียง 1 อาร์เรย์จากทั้งหมด 4 อาร์เรย์

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าโครงสร้างของส่วนอินเตอร์เฟสจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ส่วนคอนโทรลหลัก (Main Controller)
- ส่วนวงจรสวิทช์การไหลเข้าออกของข้อมูล (Data In/Out Switching Circuit)
- ส่วนวงจรสวิทช์แอดเดรส (Address Switching Circuit)
- ส่วนวงจรเลือกตัวเก็บข้อมูล (Memmory Bank Select)
- ส่วนเก็บข้อมูล (Memmory)
- ส่วนวงจรนับแบบไบนารี่ (Binary Counter)
- ส่วนวงจรนับแบบเดเคด (Decade Counter)
- ส่วนแลทช์ข้อมูล (Latch circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรส่วนอินเตอร์เฟส

3.1 รายละเอียดโดยสังเขปของแต่ละส่วนจะเป็นดังนี้

3.1.1 ส่วนคอนโทรลหลัก (Main controller)

สำหรับส่วนการทำงานในส่วนนี้จะเป็นส่วนหลักในการส่งต่อข้อมูลที่ได้รับมาจากไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งแอดเดรสของข้อมูลและสัญญาณควบคุมการเลือกเมมโมรี่ในการเก็บข้อมูล ไปยังส่วนต่างๆของวงจรอินเตอร์เฟส

3.1.2 ส่วนวงจรสวิทช์การไหลเข้าออกของข้อมูล (Data In/Out Switching Circuit)

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำสัญญาณจากส่วนคอนโทรลหลัก มาทำการควบคุมบัฟเฟอร์ให้มีการปล่อยข้อมูลเข้าออกจากเมมโมรี่ทั้ง 2 ตัวก่อให้เกิดการสลับการทำงาน (เมมโมรี่ตัวแรกจะอ่านข้อมูลเข้ามาในขณะที่อีกตัวหนึ่งอ่านข้อมูลออกไป) ทำให้เพิ่มความรวดเร็วมากขึ้น

3.1.3 ส่วนวงจรสวิทช์แอดเดรส (Address Switching)

การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะเหมือนกับส่วนวงจรสวิทช์การไหลเข้าออกของข้อมูลแต่เป็นการควบคุมการเลือกการกำหนดแอดเดรสในการอ่านหรือเขียนข้อมูลเข้าหรือออกจากเมมโมรี่ โดยวงจรส่วนนี้จะมีส่วนการกำหนดแอดเดรสขึ้นใหม่ซึ่งใช้เรียกข้อมูลที่เก็บโดยแอดเดรสจากส่วนคอนโทรลหลัก ในตอนที่ทำการอ่านข้อมูลเก็บเข้ามา

3.1.4 ส่วนวงจรเลือกเมมโมรี่ (Memmory Bank Select)

ในส่วนนี้จะเป็นการนำสัญญาณจากส่วนคอนโทรลหลักไปทำหน้าที่เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงในเมมโมรี่ ทั้ง 2 ตัวที่ใช้งาน

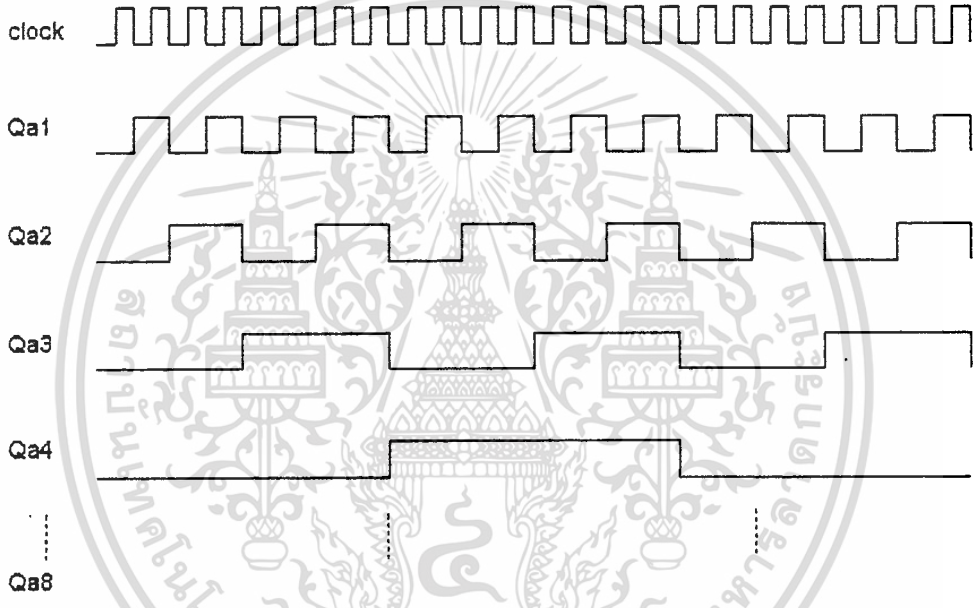
3.1.5 ส่วนเก็บข้อมูล (Memmory)

ส่วนนี้จะเป็นเมมโมรี่แบบ RAM 2 ตัวอยู่คู่กันโดยทำหน้าที่เหมือนกันแต่ในช่วงเวลาต่างกัน คือ ในขณะที่ RAM ตัวแรกทำการอ่านข้อมูลเข้ามา RAM อีกตัวหนึ่งก็จะทำการอ่านข้อมูลออกไปโดย RAM ทั้งสองตัวจะมีการสลับกันทำงานตลอดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 วงจรนับแบบไบนารี่ (Binary Counter)

วงจรนับนี้จะเป็นตัวสร้างแอดเดรสสำหรับการอ่านข้อมูลออกไป โดยจะถูกควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกาที่ได้มาจากวงจร Clock Generator ที่อยู่ในวงจรเกี่ยวกับการควบคุมความสว่างในส่วนแรก และจะมีความถี่น้อยเป็น 4 เท่าของสัญญาณ clock base ซึ่งแผนภาพเวลา (timing diagram) แสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพสัญญาณนาฬิกาที่ออกจากไบนารี่เคาน์เตอร์มาควบคุมการอ่านข้อมูลออกจากเมมโมรี่

3.1.7 วงจรนับแบบเดเคด (Decade Counter)

วงจรนับในส่วนนี้นั้นจะเป็นการนำสัญญาณนาฬิกาจากวงจร Clock Generator มาใช้เช่นเดียวกันกับที่ใช้กับวงจรนับแบบไบนารี่มาควบคุมการปล่อยข้อมูลออกจากวงจรแลทช์เพื่อป้อนให้กับส่วนควบคุมระดับสีต่อไป

3.1.8 วงจรแลทช์ (Latch circuit)

วงจรในส่วนนี้จะเป็นวงจรส่วนสุดท้ายก่อนที่ข้อมูลจะผ่านเข้าไปสู่วงจรควบคุมความสว่างของหลอด LED โดยจะใช้แลทช์ 4 ตัวทำการแลทช์ข้อมูลจำนวน 4 ไบต์ที่มา

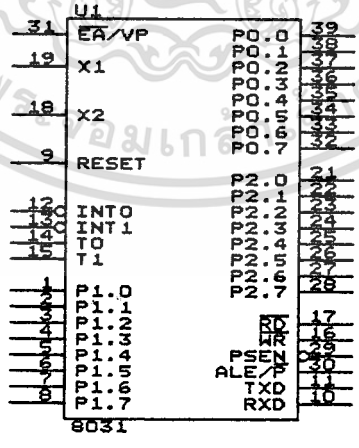
เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณี... ต้องอ้าง...

จากวงจรสวิทช์การไหลของข้อมูลแล้วปล่อยออกมาพร้อมกันโดยการควบคุมของวงจรนับแบบไดเคด เข้าสู่วงจรเปรียบเทียบระดับสีต่อไป

3.2 การออกแบบวงจร

จากหลักการทำงานที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่แล้วนั้น เราจะนำหลักการเหล่านั้นมาออกแบบให้เป็นวงจรที่สามารถใช้งานได้จริง ซึ่งเราจะต้องทำการเลือก IC ต่างๆมาใช้งานให้เหมาะสมดังต่อไปนี้คือ

- ส่วนคอนโทรลหลัก (Main controller) เราเลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 ดังแสดงในรูป 3.3 มาใช้เป็นตัวควบคุมการรับข้อมูลจากไมโครคอมพิวเตอร์และส่งสัญญาณการทำงานต่างๆ ไปควบคุมวงจรอินเตอร์เฟส โดยเราจะทำการรับข้อมูลแบบขนาน (Paralell Input Data) เข้ามาทางพอร์ต 1 (P1.0 - P1.7) แล้วส่งออกทางพอร์ต 0 (P0.0 - P0.7) ส่วนสัญญาณควบคุมการเลือกและสวิทช์เมมโมรี่ต่างๆ เราจะใช้สัญญาณจากขา T0 (ขา 14) และจากขา RXD (ขา 10) , TXD (ขา 11) , INT0 (ขา 12) และ INT1 (ขา 13) สำหรับการเลือกเมมโมรี่ของแต่ละอาร์เรย์ตามลำดับ



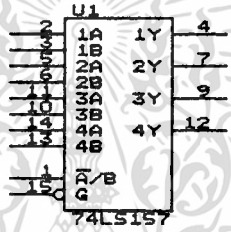
รูปที่ 3.3 แสดงขาต่างๆของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8031

- ส่วนวงจรสวิทช์การไหลเข้าออกของข้อมูลนั้นเราจะใช้ บัฟเฟอร์ 8 บิท ที่เป็นตัวขับด้วยไปในตัว เบอร์ 74LS244 จำนวน 4 ตัว ควบคุมการสวิทช์โดยขา T0 ของ 8031 โดยวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

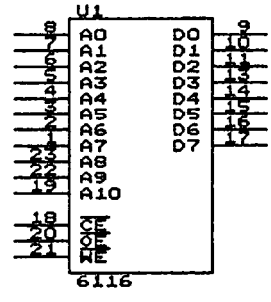
ส่วนนี้จะเหมือนกับส่วนสวิทช์แอดเดรสต่างกับตรงทิศทางการไหลของข้อมูลจะไหล 2 ทาง แต่แอดเดรสจะไหลไปทางเดียว

- ส่วนวงจรเลือกเมมโมรี่นั้นเราจะใช้ IC เบอร์ 74LS157 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็น มัลติเพล็กเซอร์แบบเข้า 2 เลือกออก 1 โดยในตัวมันเองนั้นจะมี มัลติเพล็กเซอร์แบบที่กล่าวมา 4 ตัว ควบคุมการเลือกข้อมูลซึ่งก็คือสัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ โดยสัญญาณควบคุมเข้าที่ขา $\overline{A}/B$ นอกจากนั้นยังใช้เกทต่างๆร่วมอีกในการกำหนดสัญญาณให้กับขา $\overline{CE}$ ของเมมโมรี่



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงขาต่างๆ ของ 74LS157

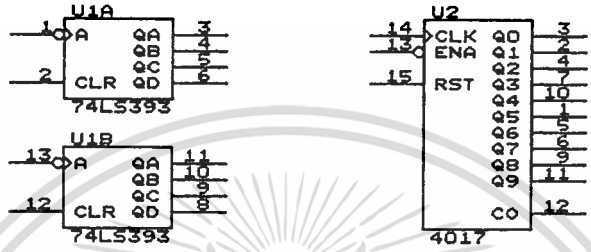
- ส่วนเมมโมรี่นี้เราจะใช้ RAM ขนาด 2K เบอร์ 6116 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 จำนวน 2 ตัว โดยในขณะที่ตัวหนึ่งกำลังอ่านข้อมูลเข้า อีกตัวหนึ่งก็อ่านข้อมูลออก โดยจะควบคุมการเลือกใช้งานได้โดยวงจรเลือกเมมโมรี่



รูปที่ 3.5 แสดงขาและการควบคุมของ RAM เบอร์ 6116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนวงจรนับต่างๆ นั้น เราจะใช้ IC เบอร์ 74LS393 สำหรับไบนารี่เคาน์เตอร์ที่ใช้ควบคุมแอดเดรส และใช้ 4017 เป็นเดเคดเคาน์เตอร์ควบคุมการทำงานของส่วนแลทช์ IC ทั้งสองเบอร์แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการต่อขาของ 74LS393 และ 4017

- ส่วนสุดท้ายก่อนที่จะส่งข้อมูลไปสู่วงจรควบคุมระดับสีคือ วงจรแลทช์ เราเลือกใช้ IC เบอร์ 74LS374 จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นแลทช์ที่ควบคุมการไหลเข้าออกของข้อมูลด้วยขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้มัน

3.3 การทำงานของวงจร

จากที่กล่าวมาเกี่ยวกับการเลือกใช้ IC แต่ละเบอร์ในส่วนต่างๆนั้น เมื่อเรานำมาเชื่อมต่อกันให้เป็นวงจรส่วนอินเตอร์เฟสแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.7-3.9

การทำงานของวงจรเริ่มจากรูป 3.7 ซึ่งในตอนแรกข้อมูลจะถูกส่งเข้ามาเป็นแบบขนานจากพอร์ตพริ้นเตอร์ของไมโครคอมพิวเตอร์เข้าสู่พอร์ต 1 ของ 8031 (U1) เมื่อ 8031 ทำการจับญญาณข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่างๆได้ตามที่เรากำหนดเป็น โปรแกรมไปใน EPROM เบอร์ 2764 (U3) 8031 ก็จะทำการส่งข้อมูลสลับกับแอดเดรส 8 บิทล่างออกมาทางพอร์ต 0 ผ่านแลทช์เบอร์ 74LS373 แยกส่วนข้อมูลและแอดเดรสออกมา

ส่วนแอดเดรส 8 บิทล่างที่บ่งบอกตำแหน่งที่จะทำการเขียนข้อมูลลงในเมมโมรี่ตัวแรก (U14 ในรูปที่3.8) จะถูกส่งผ่านบัฟเฟอร์เบอร์ 74LS244 (U8 และ U9) ที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณจาก T0 (ขา 14 ของ 8031)

ส่วนข้อมูลจะถูกส่งผ่านบัฟเฟอร์ชนิดเดียวกันกับที่ใช้กับแอดเดรส (U12 และ U13) ซึ่งถูกควบคุมจาก T0 เช่นเดียวกัน โดยวงจรในรูปที่ 3.8 , 3.9 และชุดแอนด์เกท (U6A และ

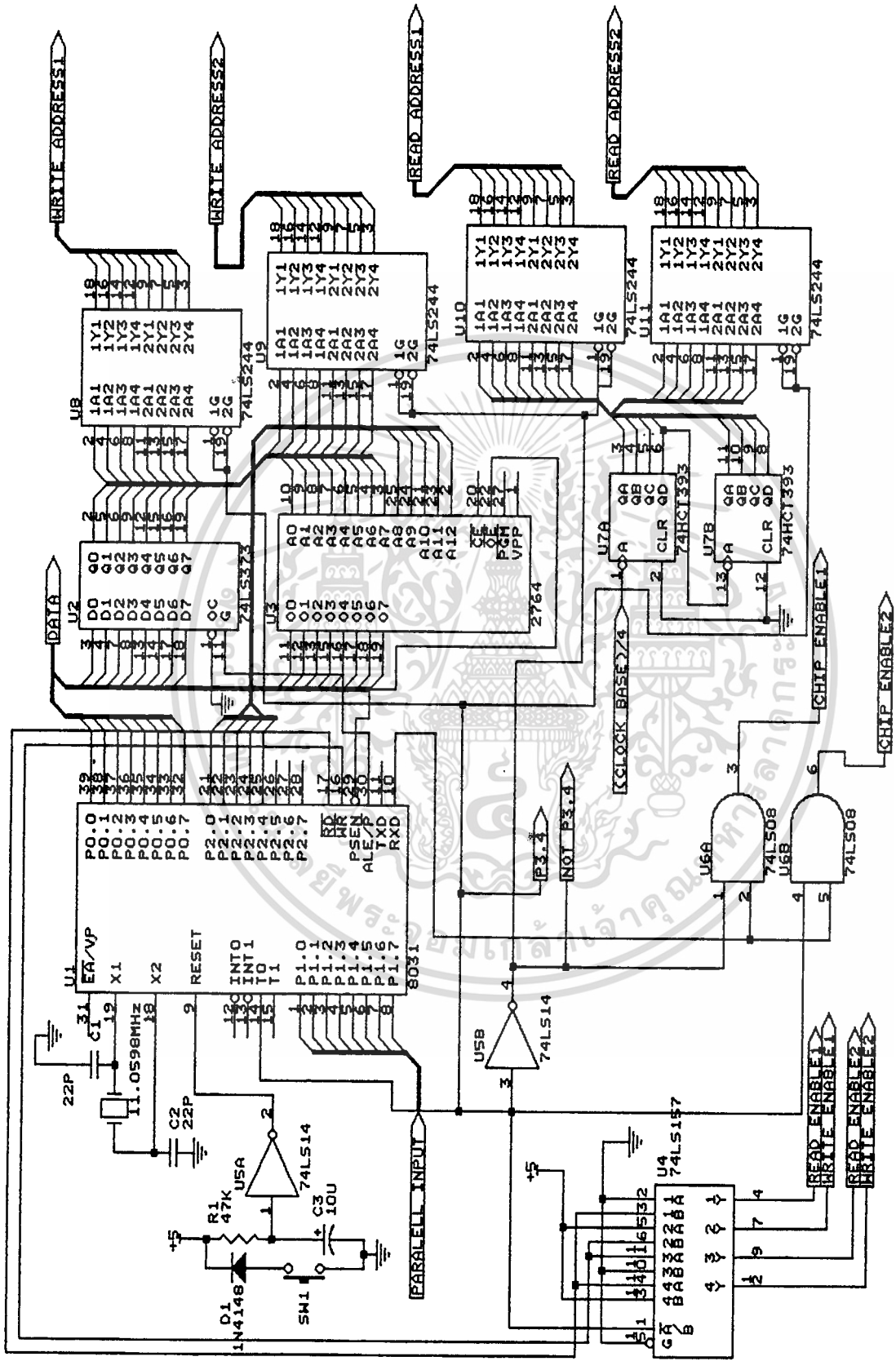
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U6B) จะต้องมี 4 ชุดคือแต่ละอาร์เรย์จะต้องมี 1 ชุด ในขณะที่ข้อมูลถูกเขียนลงในเมมโมรี่ U14 นั้น ข้อมูลในเมมโมรี่ U15 ก็จะถูกอ่านออกมาตามแอดเดรสที่เกิดจากวงจรไบนารี่เคาน์เตอร์ U7A และ U7B ที่ผ่านบัฟเฟอร์ (U10 และ U11) ที่ใช้สัญญาณควบคุมเช่นเดียวกันกับในตอนแรก ข้อมูลที่ออกมาจากเมมโมรี่ U15 จะผ่านบัฟเฟอร์ (U16 และ U17) ก่อนเข้าสู่วงจรแลทช์ในรูปที่ 3.9 เมื่อข้อมูลถูกอ่านลงในเมมโมรี่ของอาร์เรย์ชุดแรกเรียบร้อยแล้ว (ข้อมูลขนาด 256 ไบต์) ข้อมูลที่ส่งต่อมาจะถูกอ่านลงในเมมโมรี่ของอาร์เรย์ชุดต่อไป

ส่วนควบคุมการอ่านข้อมูลลงในอาร์เรย์ทั้ง 4 อาร์เรย์คือสัญญาณจากขา RXD,TXD,INT0 และ INT1 ร่วมกับสัญญาณ T0 เข้าควบคุมขา $\overline{CE}$ ของเมมโมรี่ นอกจากนั้น T0 ยังควบคุมสัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ ผ่านมัลติเพล็กเซอร์ U4 ด้วย โดยในขณะที่ข้อมูลถูกอ่านลงในเมมโมรี่ U14 ของแต่ละอาร์เรย์ ข้อมูลจาก U15 ของทุกอาร์เรย์จะถูกอ่านออกพร้อมๆ กันเข้าสู่วงจรแลทช์และส่วนควบคุมระดับสี และเมื่อข้อมูลถูกอ่านจนครบทั้ง 4 อาร์เรย์แล้วสัญญาณ T0 ก็จะเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดการสวิทช์สลับการทำงานระหว่าง U14 และ U15

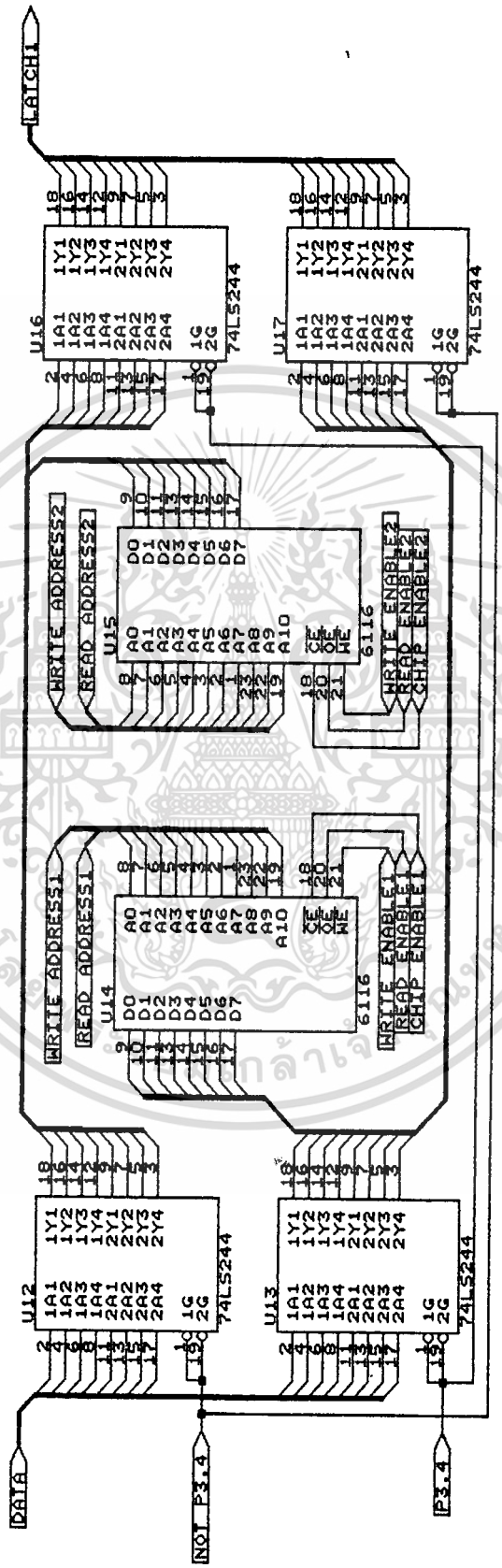
ท้ายสุดวงจรแลทช์ จะทำการแลทช์ข้อมูลให้ทำการปล่อยออกไปพร้อมกันทีละ 4 ไบต์ ซึ่ง U19-U22 จะเป็นแลทช์ และ U18 จะเป็น IC สร้างสัญญาณควบคุมการนำข้อมูลเข้าและออกจากแลทช์ โดยสัญญาณที่ U18 นำมาใช้นั้นคือสัญญาณนาฬิกาหลักหารด้วย 4 นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



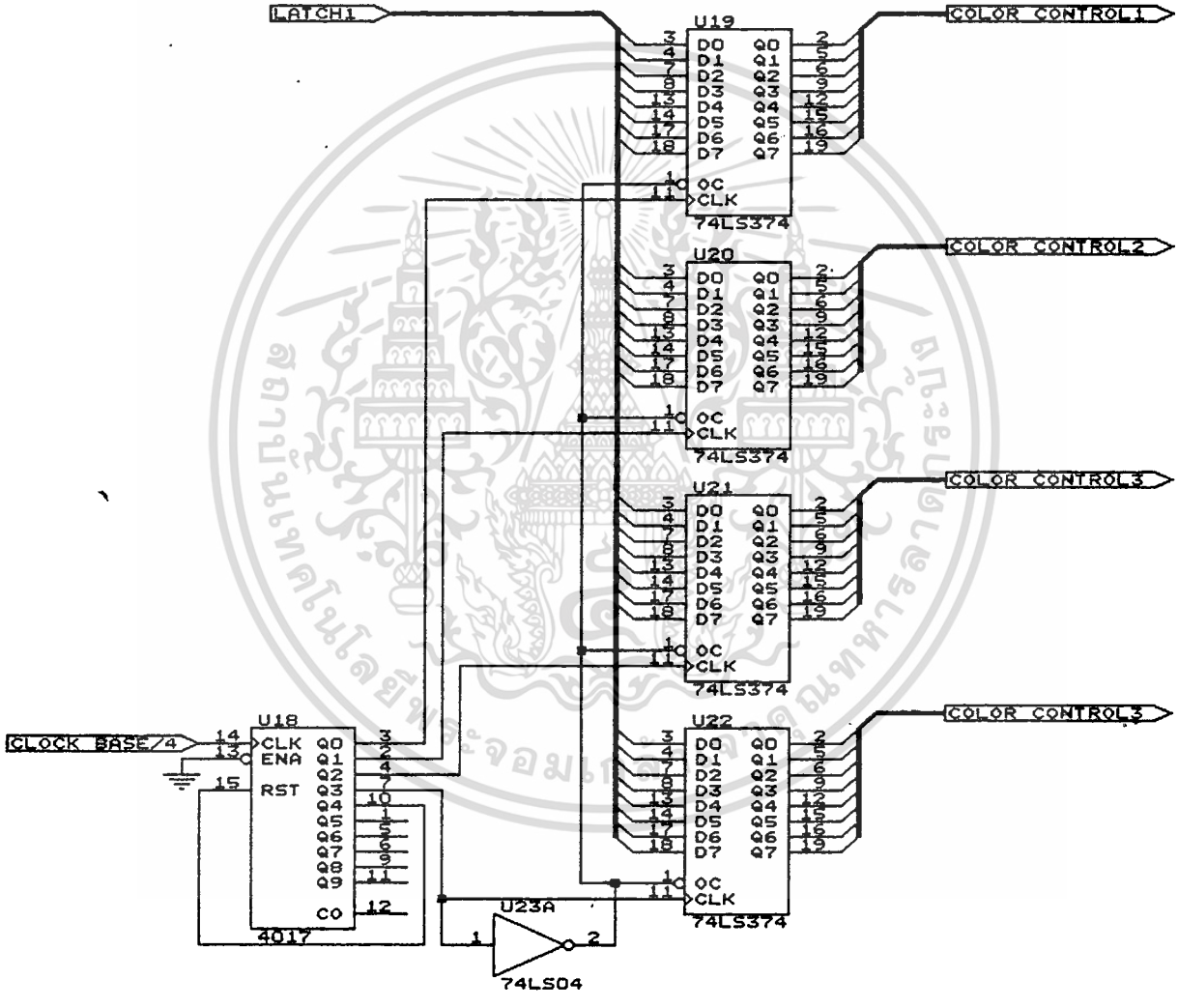
รูปที่ 3.7 วงจรส่วนสร้างสัญญาณควบคุมการอินเตอร์เฟสและแอดเดรสบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรส่วนแมโมรีเก็บข้อมูลและบัฟเฟอร์ของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรแลทช์และวงจรสร้างสัญญาณควบคุมแลทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

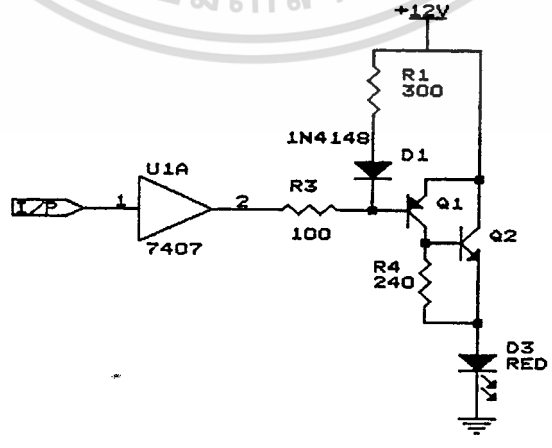
บทที่ 4

การทดลองและวงจรที่ใช้ในการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง การทดลองเกี่ยวกับลักษณะการตอบสนองของ LED เมื่อควบคุมเวลาที่ป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED การทดลองในส่วนของวงจรควบคุมแผงแสดงผลขนาด 8X32 จุด

4.1 การทดลองการตอบสนองของ LED

การทดลองในหัวข้อนี้เป็นการทดลอง เพื่อพิสูจน์สมมติฐานเกี่ยวกับการตอบสนองของ LED ต่อกระแสไฟตรง เมื่อควบคุมเวลาที่ป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED จากทฤษฎี ในบทที่ 1 หัวข้อ 1.4 กล่าวไว้ว่า LED จะให้ความสว่างไม่เท่ากันเมื่อช่วงเวลาที่ป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED มีค่าไม่เท่ากัน แต่การเปล่งแสงสว่างของ LED นั้นขึ้นอยู่กับการนำกระแสของตัว LED เอง ดังนั้นสามารถที่จะตรวจสอบการตอบสนองของ LED ได้ด้วยการวัดค่ากระแสไฟที่ผ่านตัว LED แทนการวัดความเข้มของแสงที่ออกจากตัว LED ได้ ซึ่งใช้วงจรขับกระแสดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรทดลองการตอบสนองของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เป็นวงจรขับกระแสให้แก่ LED ซึ่งก็คือวงจรที่ใช้ในการขับกระแสให้กับ LED ของโครงงานนี้ โดยมีเงื่อนไขในการทดลองดังต่อไปนี้

1. วงจรที่ใช้ในการทดลองต้องสามารถขับกระแสได้สูง เพื่อให้ LED สามารถตอบสนองต่อกระแสที่ผ่านตัวมันได้เร็วขึ้น ในกรณีที่ต้องการใช้ช่วงเวลาในการตอบสนองต่อกระแสไฟตรงของ LED ในระยะสั้นๆ จากวงจรในรูปที่ 4.1 วงจรสามารถขับกระแสได้มากกว่า 100 มิลลิแอมป์

2. ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในวงจรจะต้องถูกออกแบบไว้ให้ทำงานเป็นสวิทช์ คือทำงานในช่วงที่กระแสคอลเลคเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว

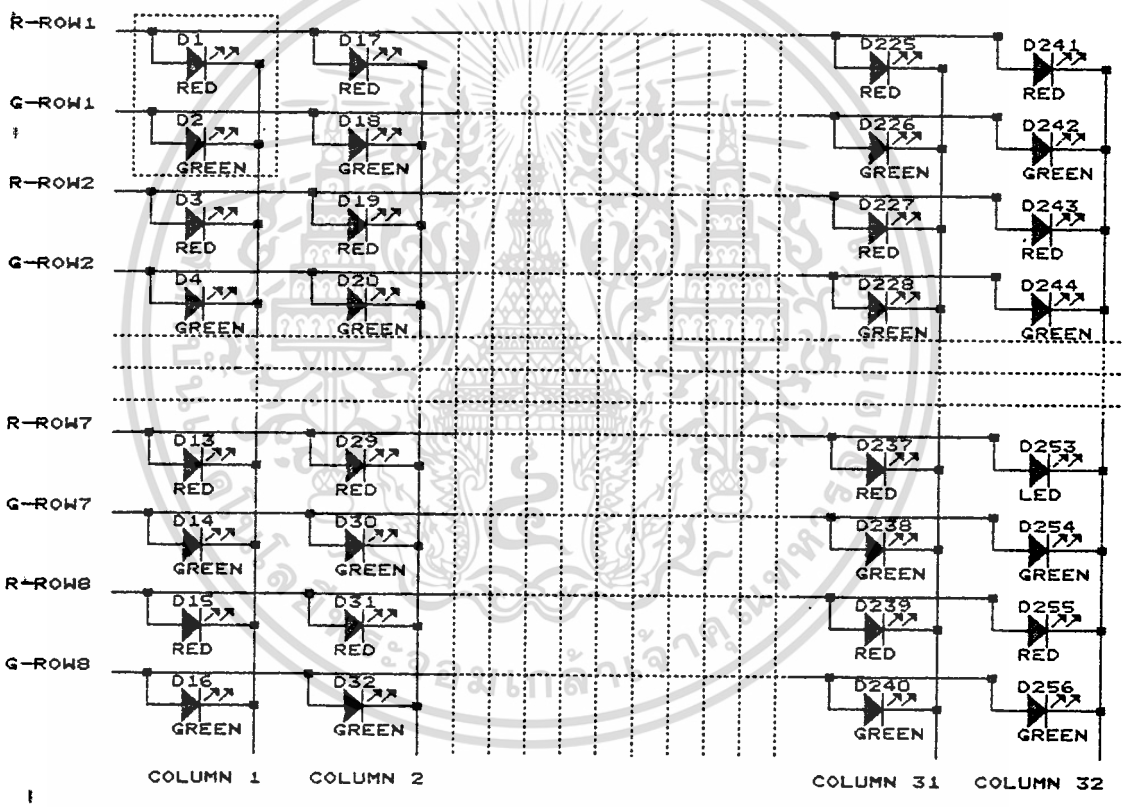
3. ช่วงเวลาที่ใช้ในการควบคุมการเปิดและปิดทรานซิสเตอร์ในวงจรจะต้องมีค่าตั้งแต่ 0 ไมโครวินาที จนถึงช่วงเวลาที่ LED สามารถนำกระแสได้สูงสุด ช่วงเวลานี้ก็คือขนาดความกว้างของพัลส์ที่ป้อนเข้าทางด้านอินพุทของวงจรในรูปที่ 4.1

4. ขนาดแอมปลิจูด ของพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมการเปิดและปิดสวิทช์ของทรานซิสเตอร์ในวงจร ที่ระดับลอจิก " 0 " จะต้องมีค่า 0-0.8 V และที่ระดับลอจิก " 1 " จะต้องมีค่า 2.4-5 V ซึ่งก็คือแอมปลิจูดของพัลส์ที่ป้อนทางด้านอินพุทของวงจรในรูปที่ 4.1

4.2 การทดลองวงจรควบคุมแผงแสดงผลขนาด 8X32 ด็อท

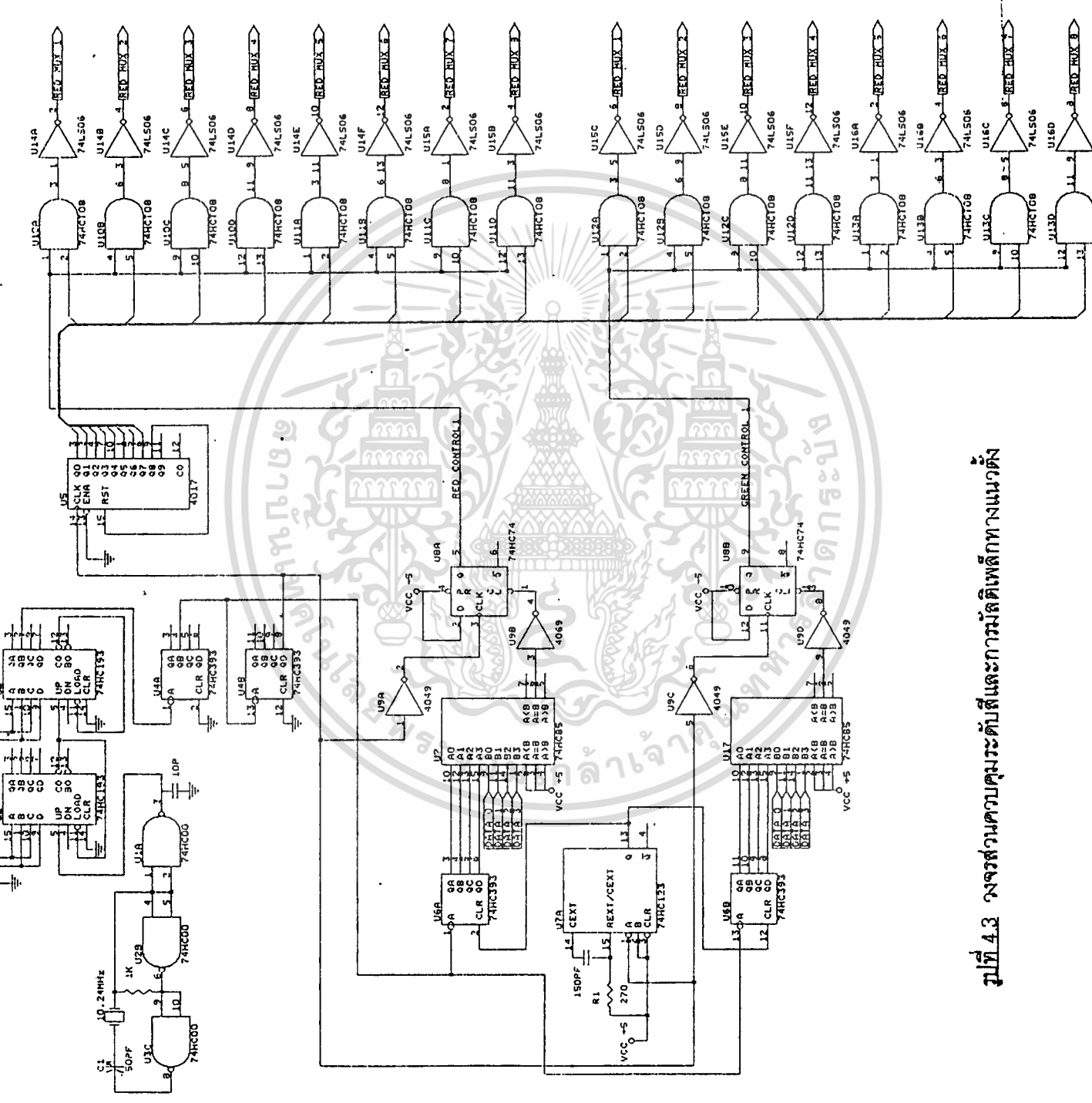
การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองต่อแผง LED ขนาด 32 คอลัมน์ 8 แถว โดยนำวงจรที่ออกแบบไว้สำหรับแผงแสดงผลขนาด 8X8 ด็อทที่ได้ออกแบบมาแล้วมาขยายขนาดให้ได้วงจรขนาด 8X32 ด็อท แต่ยังคงมีการทำงานเหมือนกับขนาด 8X8 ด็อท โดยเพิ่มจำนวนวงจรต่างๆ ให้สามารถควบคุมได้ทุกคอลัมน์ ทุกแถว สามารถเขียนเป็นวงจรที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 4.2, 4.3 , 4.4 , 4.5 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



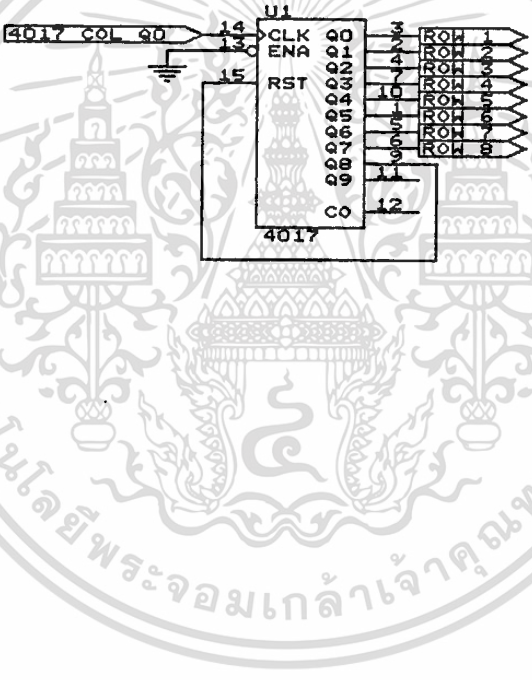
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 การจัดวาง LED ขนาด 8X32



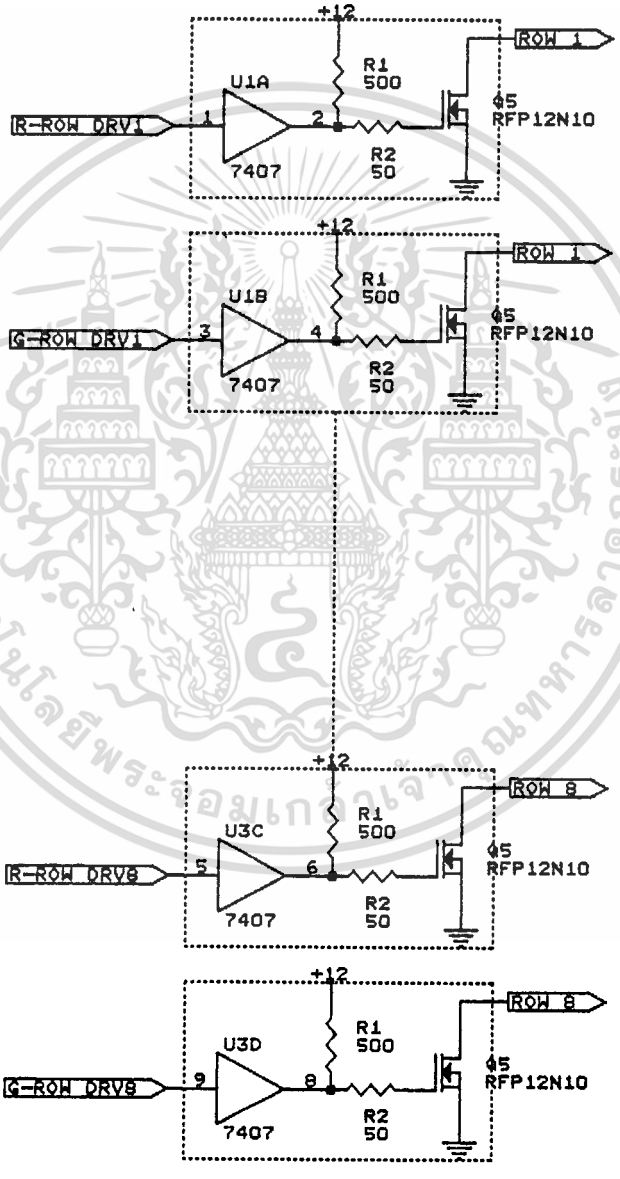
รูปที่ 4.3 วงจรส่วนควบคุมระดับสีและการมัลติเพล็กซ์ทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



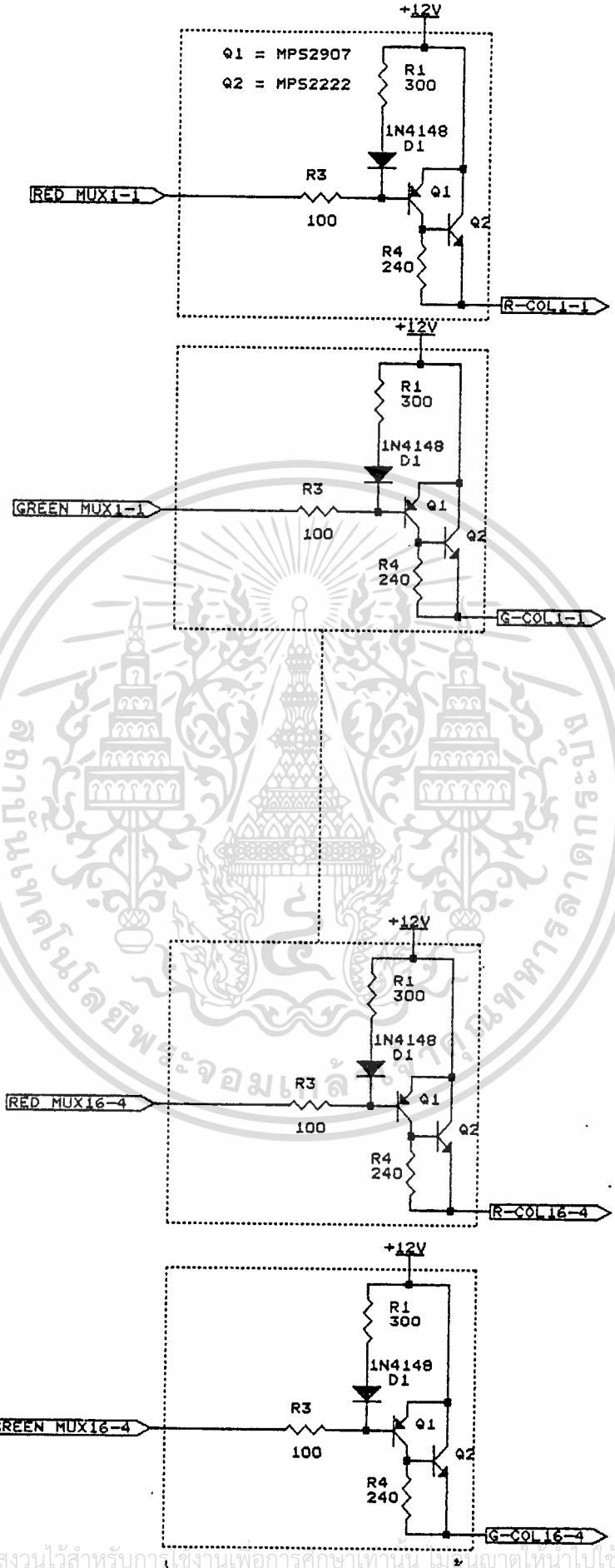
<u>รูปที่ 4.4</u> วงจรควบคุมการแสดงผลทางแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงจรขับกระแสทางแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 วงจรขับกระแสทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้ เป็นการกล่าวถึง ผลการทดลองในบทที่ 4 เพื่อพิสูจน์สมมติฐานในบทที่ 1 และนำผลการทดลองในส่วนอื่นๆ ไปใช้ในการปรับปรุงวงจรและแก้ไขข้อผิดพลาดในการออกแบบวงจรควบคุมแผงแสดงผลที่ผ่านมา

5.1 ผลการทดลองการตอบสนองของ LED

การทดลองการตอบสนองของ LED ในหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งใช้วิธีการป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ของการตอบสนองของ LED ต่อกระแสไฟตรง เทียบกับเวลาที่ใช้ควบคุมการป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED โดยใช้เงื่อนไขทั้ง 4 ข้อในการทดลองที่ 4.1 สามารถแสดงได้ว่า การป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED ในช่วงเวลาสั้นๆ LED สามารถตอบสนองต่อกระแสไฟตรง โดยให้ความสว่างน้อยกว่าการป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED เป็นระยะเวลานานๆ แต่ถ้าช่วงเวลาที่ป้อนกระแสไฟตรงผ่าน LED มีระยะเวลานานจนกระทั่งทำให้ LED นำกระแสได้สูงสุดแล้ว (คือ กระแสไหลผ่าน LED จะไม่มากไปกว่านี้อีกแล้ว) ถึงแม้ว่าจะใช้เวลานานขึ้นเท่าไรก็ตาม LED ก็จะให้ความสว่างเท่าเดิมไปตลอด เมื่อทำการป้อนพัลส์โดยให้ระยะ Duty Cycle ของพัลส์สัญญาณเป็นไปตามข้อมูลได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5.1 (ใช้วงจรทดลองตามรูปที่ 3.1)

5.2 ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนความถี่ในการสแกน

การทดลองเมื่อเปลี่ยนความถี่ในการสแกนโดยการเปลี่ยนสัญญาณนาฬิกาหลักให้มีความถี่น้อยลง ปรากฏว่าเมื่อใช้ความถี่ลดลงความสว่างของการหลอด LED จะมีมากขึ้น แต่ภาพที่เกิดขึ้นจะเกิดกระพริบ โดยความถี่ที่เหมาะสมของภาพต่อนาทีต้อง มากกว่า 25 ภาพต่อนาทีขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล	กระแสฟอร์เวิร์ดผ่าน LED (mA)	
	สีแดง	สีเขียว
0	0.02	0.02
1	2.60	2.40
2	4.70	4.30
3	6.80	6.30
4	8.90	8.20
5	11.0	10.2
6	13.1	12.2
7	15.3	14.1
8	17.4	16.0
9	19.9	18.4
10	22.0	20.4
11	24.2	22.4
12	26.3	24.3
13	28.5	26.3
14	30.6	28.2
15	32.6	30.2

ตารางที่ 5.1 ผลการตอบสนองทางกระแสของ LED ทั้ง 2 สี ต่อข้อมูลอินพุท

5.3 ผลการทดลองจากการนำอาร์เรย์ทั้ง 4 มารวมกัน

จากการสร้างอาร์เรย์อีก 3 อาร์เรย์ตามอาร์เรย์ที่ออกแบบในตอนแรกเมื่อนำอาร์เรย์ทั้งหมดมาต่อรวมกันแล้วป้อนข้อมูลเข้าไปปรากฏว่าเกิดการรบกวนทางด้านความถี่ของสัญญาณขึ้นเมื่อทำการเชื่อมต่อกับวงจรขับกระแส มีผลทำให้เกิดการกระพริบอย่างมากไม่สามารถควบคุมได้ นอกจากจะเพิ่มค่าความต้านทานของวงจรขับกระแสให้มากขึ้นการกระพริบจะลดน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการดำเนินการที่ผ่านมา เป็นการศึกษาการทำงานของแผงแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำความเข้าใจในหลักการทำงานและวิธีการออกแบบในแต่ละส่วนของวงจร ซึ่งเห็นได้ว่าสามารถที่จะออกแบบในส่วนย่อยๆก่อน แล้วค่อยนำส่วนย่อยๆเหล่านั้นมาประกอบกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการทำงานไม่ว่าใน ARRAY ขนาดเล็กหรือ ARRAY ขนาดใหญ่จะมีการทำงานเหมือนกันหมด แต่ที่การทดลอง ณ ความถี่ที่สูงขึ้นปรากฏว่าการนำกระแสของ LED ต่ำลงมาก ซึ่งมาจากการปิด-เปิด ของทรานซิสเตอร์ที่เร็วจนไม่สามารถจ่ายกระแสได้เต็มที่ โดยจะทำให้การส่องสว่างของ LED น้อยลง ดังนั้นจึงควรปรับปรุงวงจรขับกระแสให้สามารถจ่ายกระแสได้เร็วขึ้น ซึ่งอาจนำเฟท (Field Effect Transistor , FET) เข้ามาช่วยในการทำงานขับกระแสแทนทรานซิสเตอร์

นอกจากนั้นการศึกษาการแบ่งระดับสีของ LED ตามสมมติฐานที่ตั้งขึ้นมาโดย ใช้หลักการควบคุมช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวโดยใช้ข้อมูล 4 บิท เพื่อแบ่งระดับสีให้ได้ 16 ระดับ และจากการทดลองที่ผ่านมา ยังสามารถนำหลักการนี้ไปแบ่งระดับสีให้ได้ละเอียดถึง 256 สี แต่อย่างไรก็ตาม สายตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกแยะสีได้ละเอียดมากนัก และการตอบสนองของ LED ต่อกระแสภายในช่วยระยะเวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวอันสั้น และไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นระดับสีที่อยู่ในระดับที่ใกล้กันอาจจะมีขนาดความสว่าง และความเข้มของแสงใกล้เคียงกันมาก แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่เป็นปัญหามากนักเพราะเนื่องมาจากความสามารถในการแยกแยะสีของสายตามนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างที่ละเอียดขนาดนี้นั่นเอง

ท้ายสุดนี้ เนื่องจาก LED ที่ใช้มีเพียง 2 สีใน 1 หลอด ดังนั้นการผสมสีให้ได้ลักษณะที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติไม่สามารถทำได้ แต่ถ้ามีการนำ LED ที่ประกอบด้วยไส้หลอด 3 สีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเพิ่มเข้ามาแล้ว การผสมสีก็สามารถที่จะทำได้โดยใช้หลักการดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยวิธีการแบ่งระดับสี และวิธีควบคุมก็คงมีลักษณะเหมือนเดิม แต่ปัญหาจะอยู่ที่ LED สีน้ำเงินในปัจจุบันนี้ยังมีราคาสูงมากและความเข้มของแสงที่ให้ก็น้อยกว่าสีอื่นๆในขณะที่ให้กระแสเท่ากับการขับหลอดสีอื่นๆ จึงทำให้ควบคุมได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

แนวทางการพัฒนาและแก้ไขปัญหา

จากที่ได้กล่าวถึงปัญหาไปบ้างแล้วในบทที่ 6 นั้นเมื่อนำวงจรมาประกอบกันจนครบชุด ปรากฏว่ามีจุดบกพร่องอีกมากมายที่ทำให้ชิ้นงานโดยเฉพาะส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ คือแผงแสดงผลไม่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ปัญหาและแนวทางการแก้ไขสามารถสรุปออกเป็นข้อๆได้ดังต่อไปนี้

7.1 ปัญหาทางด้านความถี่

เนื่องจากวงจรนี้เป็นวงจรที่ได้มีการออกแบบขึ้นมาใหม่และเป็นวงจรที่ทำงานเกี่ยวกับความถี่ที่ค่อนข้างสูงและต้องการความแม่นยำทางด้านความถี่มาก การรบกวนกันทางความถี่ของแต่ละวงจรที่นำมาประกอบกันเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การทำงานไม่เป็นไปตามต้องการ วิธีการแก้ไขคือ

- พยายามเดินสายไฟและสายสัญญาณต่างๆ เช่น สัญญาณนาฬิกา , สายไฟเลี้ยง และสายกราวด์ ให้สั้นที่สุดและควรมีคาร์ปาซิเตอร์ลดสัญญาณรบกวนที่ตัว IC ทุกตัว นอกจากนั้นควรแยกกราวด์ออกเป็นกราวด์ของระบบที่เป็นอนาลอก เช่นวงจรขับกระแส และ กราวด์ของระบบที่เป็นดิจิตอล เช่นวงจรส่วนควบคุมการปรับระดับสี

- แผ่นลายวงจรของวงจรทั้งหมดควรจะเป็นแผ่นเดียวกันเพื่อลดการที่จะต้องเดินสายไปสู่แผ่นต่างๆ ทำให้สัญญาณเกิดการลดทอนมากภายในสาย

- การบัดกรีจุดแต่ละจุดในแผ่นลายวงจรจะต้องทำด้วยความปราณีตโดยเฉพาะส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกาเพราะอาจจะทำให้วงจรดูเสมือนเป็นสายอากาศได้ทำให้เกิดการรับความถี่อื่นๆที่อยู่ภายนอกเข้ามาทำให้วงจรขาดเสถียรภาพได้

7.2. ปัญหาทางด้านความสามารถในการจ่ายกระแสของ IC

เนื่องจากวงจรจะมีส่วนที่เป็นดิจิตอลอยู่มากและเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมการทำงาน จะเห็นได้ว่าในวงจรมีเกทมากมายที่ควบคุมการทำงานโดย IC เพียงตัวเดียว ฉะนั้นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณากระแสที่จ่ายให้เพียงพอกับเกททุกตัวจึงมีความสำคัญ วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดย

- พิจารณาดูถึงความสามารถในการจ่ายกระแสของ IC ว่าพอที่จะจ่ายให้กับโหลดหรือไม่จาก DATA BOOK ถ้าไม่สามารถจ่ายได้พอก็ควรเพิ่มบัฟเฟอร์เข้าไปในการช่วยจ่ายกระแส

- ถ้า IC ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ทำการจ่ายกระแสมากเกินไปจนเกิดความร้อนที่ตัวมันมากอาจทำให้เกิดไม่เสถียรได้ เราควรลดการใช้บัฟเฟอร์ใน IC ตัวนั้นและไปใช้บัฟเฟอร์ที่ลดลงนั้นใน IC ตัวอื่นที่เพิ่มขึ้นมาใหม่แทน

7.3 ปัญหาทางด้านไฟเลี้ยงของวงจร

เนื่องจากวงจรขับกระแสต้องการไฟเลี้ยงที่สามารถจ่ายกระแสได้มาก ทำให้เพาเวอร์ซับพลายที่นำมาเป็นตัวจ่ายกระแสนั้นต้องมีประสิทธิภาพสูงพอ วิธีแก้ไขคือ

- ควรแยกเพาเวอร์ซับพลายในการจ่ายไฟให้กับวงจรของแต่ละอาร์เรย์ ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการจ่ายกระแสไม่พอ และยังช่วยในการลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในวงจรหนึ่งไม่ให้เข้าไปรบกวนอีกวงจรหนึ่งได้โดยผ่านทางไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Lite Vision Coperation " 256 Color realtime display control system manual " , Lite Vision Coperation , NOV 20 , 1992

2. Robert Boylestad , Louis Nashelsky " Electronics Device and Circuit Theory " , Prentice - Hall International , INC , 1992

3. Albert Paul Malvino , PH.D ; Donlad P. Leach , PH.D. " Digital Principles and Aplication " , Mc - Graw Hill International Edition , 1986

4. สุนทร วิทูรสุรพจน์ , " การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 " , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

5. ธันวา ศรีประโมง , " การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม " , โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ประภากร สุวรรณะ และอาจารย์ทุกๆท่านเป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และเป็นที่ปรึกษาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองมาโดยตลอด รวมทั้งแนวความคิดในการออกแบบและพัฒนาโครงงานนี้ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

และท้ายสุดนี้ขอขอบคุณพี่ๆ (โดยเฉพาะ พี่นัท , พี่บอมบ์ , พี่ซัง และพี่เอ๋ รวมทั้งพี่ๆคนอื่นๆที่มิได้กล่าวถึง) และน้องๆ ปี 3 (โดยเฉพาะ น้องหยุ่ง , น้องฮั้ง , น้องจั่น และน้องนะ) ทุกๆคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งแรงกายและแรงใจในการทำงานอย่างหามรุ่งหามค่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้