

## รายงานการวิจัย

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงานเพื่อการส่องสว่างหลอด CREE

**Low Power Consumption CREE Luminescence Power Supply**



ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หนังสือเป็นสมบัติของท่าน

โปรดช่วยกันรักษา

[www.lib.kmitl.ac.th](http://www.lib.kmitl.ac.th)

สำนักหอสมุดกลาง โทร. 0 2739 2221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงานเพื่อการส่องสว่างหลอด CREE

Low Power Consumption CREE Luminescence Power Supply



จิรวรัตน์ ปานกลาง

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

RCH

คณะวิศวกรรมศาสตร์

TK

7868

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

· P6

จ 512 น

ค. 2

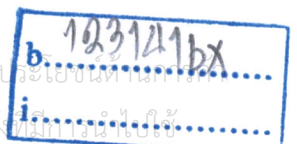
เลขหมู่

116144

เลขทะเบียน

-2 พก 2554

วันเดือนปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ถ้ามีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงานเพื่อการส่องสว่างหลอด CREE

รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง  
ปีงบประมาณ 2553

### บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตมนุษย์อย่างมากมาย และเทคโนโลยีก็ได้ถูกพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง บวกกับแนวคิดในเรื่องการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อลดสภาวะโลกร้อน จึงเป็นที่มาของการคิดประดิษฐ์หลอดไฟซึ่งอยู่ในรูปของเพาเวอร์แอลอีดีมาแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งหลอดชนิดนี้มีข้อดีคือสามารถให้ความสว่างมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยทั่วไป อีกทั้งยังสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าและสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าซึ่งจะเป็นผลดีต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม และน่าจะมีการนำมาใช้งานทดแทนอย่างแพร่หลายในอนาคต ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมความสว่าง ป้องกันความเสียหายของหลอดแอลอีดีรวมถึงใช้ภาคจ่ายไฟที่กินพลังงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Low Power Consumption CREE Luminescence Power Supply

Assoc.Prof.Jirawat Parnkrang

Year 2009

### Abstract

Nowadays, the electricity has much come in to a role in human life. And technology development has been continuously. Positive ideas about conservation of natural resources. Conditions to reduce global warming, this comes to the idea that artificial lighting in the form of Power L. E. D. to replaces fluorescent lamp. The advantages of this type of LED are brighter than fluorescent lamp. It is also low power consumption and longer lifetime. This will benefit users and the environment. And its should be implemented widely in the future replacement. This project concept is controlled by Microcontroller for light dimmer, protect LED from peak current damage and low power supply are included.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ในโลกยุคปัจจุบันนี้สิ่งต่างๆที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตของมนุษย์เป็นจำนวนมาก และสิ่งเหล่านี้ก็ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วตัวอย่างที่เห็นกันได้ก็คือโทรทัศน์ จากแบบพลาสมา เปลี่ยนมาเป็น LCD และปัจจุบันก็เริ่มใช้แบบ LED กันแล้ว เมื่อพูดถึง LED แล้วก็ต้องนึกถึงแสงสว่าง ปัจจุบันเทคโนโลยีอุปกรณ์กำเนิดแสงอย่างไดโอดเปล่งแสง หรือ LED (Light-Emitting Diode) สมัยใหม่ ได้ถูกพัฒนามากขึ้น มีหลอดกำลังงานสูงและให้ความสว่างทัดเทียมกับหลอดไส้แบบเดิมได้ แต่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก

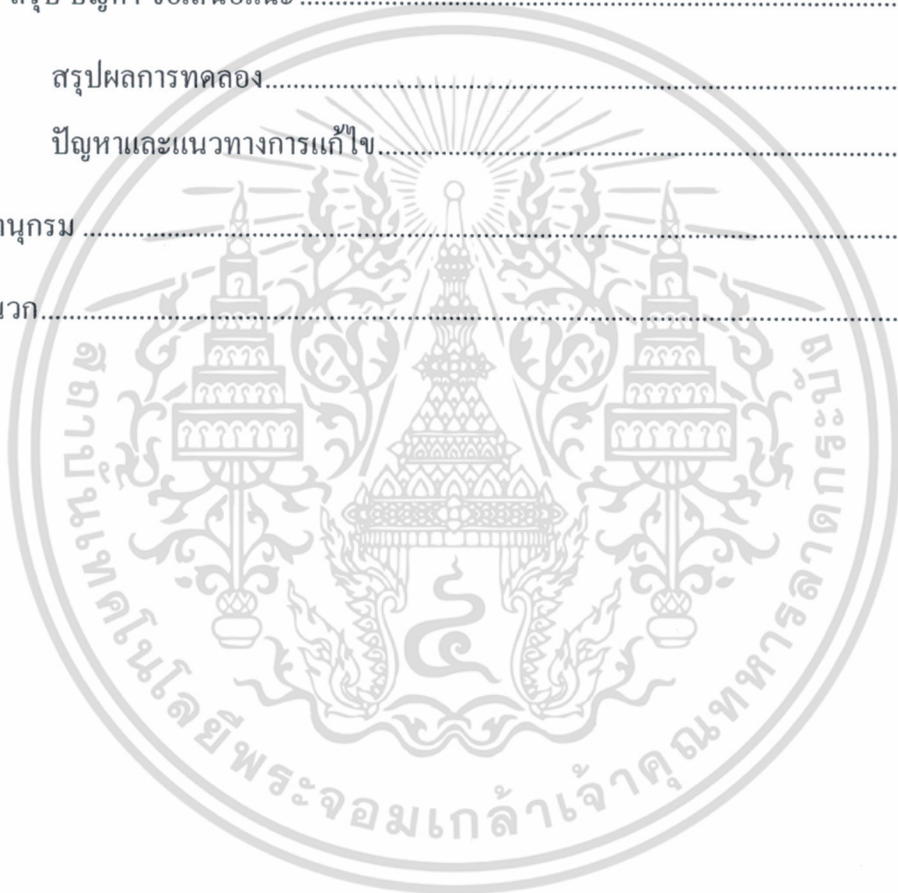
ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างวงจรที่สามารถขับหลอด LED กำลังสูงเหล่านี้ เพื่อที่จะนำไปใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งในอนาคตหลอดชนิดนี้จะเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายโดยหลอดชนิดนี้สามารถให้แสงสว่างมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยทั่วไป อีกทั้งยังสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าและสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่า ซึ่งจะเป็นผลดีต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม และยังสามารถไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆได้อีกมากมาย

## สารบัญ

คำนำ .....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
กิตติกรรมประกาศ .....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.2 ขั้นตอนการทำงาน.....	2
1.3 ขอบเขตของการทำงาน .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มอสเฟตกำลัง (POWER MOSFET).....	3
2.2 ระบบควบคุม (CONTROL SYSTEM).....	7
2.3 วงจรขับเกต (GATE DRIVER).....	16
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MICROCONTROLLER).....	20
2.5 โมดูล LCD (LCD MODULE) .....	22
2.6 แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง.....	33
บทที่ 3 รายละเอียดในการออกแบบและการสร้าง .....	41
3.1 การทำงานของวงจรโดยรวม.....	41
3.2 ขั้นตอนการสร้างและทดลอง.....	42
3.3 การสร้างวงจรควบคุมและวงจรขับโหลด.....	43
3.4 SWITCHING POWER SUPPLY .....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	50
4.1 ผลการทดลองที่ความถี่ 500 Hz และ DUTY CYCLE 12 %.....	50
4.2 ผลการทดลองที่ความถี่ 500 Hz และ DUTY CYCLE 25 %.....	52
4.3 ผลการทดลองที่ความถี่ 500 Hz และ DUTY CYCLE 50 %.....	54
4.4 ผลการทดลองที่ความถี่ 500 Hz และ DUTY CYCLE 75 %.....	55
4.5 ผลการทดลองที่ความถี่ 500 Hz และ DUTY CYCLE 100 %.....	57
บทที่ 5 สรุป ปัญหา ข้อเสนอแนะ .....	62
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	62
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข.....	63
บรรณานุกรม .....	64
ภาคผนวก.....	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 กราฟลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดัน.....	4
รูปที่ 2.2 กราฟความต้านทานสถิตระหว่างเดรนและซอส .....	6
รูปที่ 2.3 กราฟสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของมอสเฟต.....	6
รูปที่ 2.4 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุท .....	7
รูปที่ 2.5 การตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ PROPORTIONAL CONTROL.....	8
รูปที่ 2.6 ระบบควบคุมแบบ PROPORTIONAL CONTROL.....	9
รูปที่ 2.7 ลักษณะการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ INTEGRAL CONTROL .....	10
รูปที่ 2.8 ระบบควบคุมแบบ INTEGRAL CONTROL.....	10
รูปที่ 2.9 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย PROPORTIONAL PLUS INTEGRAL .....	11
รูปที่ 2.10 การตอบสนองของ PI CONTROLLER .....	11
รูปที่ 2.11 การตอบสนองของ DERIVATIVE CONTROL .....	13
รูปที่ 2.12 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย DERIVATIVE CONTROL.....	14
รูปที่ 2.13 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย PD CONTROL .....	15
รูปที่ 2.14 BLOCK DIAGRAM ที่ประกอบด้วย PID CONTROL.....	15
รูปที่ 2.15 วงจรจับเกตอย่างง่าย .....	17
รูปที่ 2.16 วงจรจับเกตแบบใช้ไอซีบีฟเฟอร์ .....	17
รูปที่ 2.17 MOSFET TURN-ON TIME.....	18
รูปที่ 2.18 MOSFET TURN-OFF TIME .....	19
รูปที่ 2.19 แสดงรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (PULSE) แสดงโครงสร้าง PWM.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 แสดงการจัดเรียงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F458.....	21
รูปที่ 2.21 ไดอะแกรมโครงสร้างและการทำงานของตัวควบคุมภายใน โมดูล LCD .....	23
รูปที่ 2.22 การจัดขาของ โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด .....	25
รูปที่ 2.23 แสดงการต่อใช้งาน LCD แบบ 8 BIT DATA .....	26
รูปที่ 2.24 แสดงการเชื่อมต่อ LCD แบบ 4 BIT DATA.....	27
รูปที่ 2.25 แสดงวงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ .....	34
รูปที่ 2.26 แสดงวงจรควบคุมอาศัยการป้อนค่ากลับจากแรงดัน.....	35
รูปที่ 2.27 แสดงลักษณะความกว้างของพัลส์จาก PWM.....	36
รูปที่ 2.28 แสดงวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส.....	37
รูปที่ 2.29 แสดงวงจรควบคุมตัดตัวขยายความต่างออก.....	37
รูปที่ 2.30 ลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆ ของวงจร.....	39
รูปที่ 2.31 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร.....	40
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร.....	41
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการควบคุมและการวงจรขับโหลด.....	44
รูปที่ 3.3 แสดงการการต่อวงจร LC ฟิวเจอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI.....	45
รูปที่ 3.4 แสดงวงจร RCD RESET.....	46
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรสวิทช์ซึ่งออฟไลน์.....	48
รูปที่ 4.1 รูปกราฟแสดงสัญญาณอินพุต.....	50
รูปที่ 4.2 รูปกราฟแสดงสัญญาณที่วัดคร่อมแอลอีดี.....	51
รูปที่ 4.3 รูปถ่ายสัญญาณที่วัดคร่อมตัวต้านทาน 1.7 โอห์ม.....	51
รูปที่ 4.4 รูปกราฟแสดงสัญญาณอินพุต.....	52
รูปที่ 4.5 รูปกราฟแสดงสัญญาณที่วัดคร่อมแอลอีดี.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 รูปถ่ายสัญญาณที่วัดคร่อมตัวต้านทาน 1.7 โอห์ม .....	53
รูปที่ 4.7 รูปกราฟแสดงสัญญาณอินพุต .....	54
รูปที่ 4.8 รูปกราฟแสดงสัญญาณที่วัดคร่อมแอลอีดี .....	54
รูปที่ 4.9 รูปถ่ายสัญญาณที่วัดคร่อมตัวต้านทาน 1.7 โอห์ม .....	55
รูปที่ 4.10 รูปกราฟแสดงสัญญาณอินพุต .....	55
รูปที่ 4.11 รูปกราฟแสดงสัญญาณที่วัดคร่อมแอลอีดี .....	56
รูปที่ 4.12 รูปถ่ายสัญญาณที่วัดคร่อมตัวต้านทาน 1.7 โอห์ม .....	56
รูปที่ 4.13 รูปกราฟแสดงสัญญาณอินพุต .....	57
รูปที่ 4.14 รูปกราฟแสดงสัญญาณที่วัดคร่อมแอลอีดี .....	57
รูปที่ 4.15 รูปถ่ายสัญญาณที่วัดคร่อมตัวต้านทาน 1.7 โอห์ม .....	58
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (LUX) กับความถี่ (HZ) .....	60
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและพลังงานที่ DUTY CYCLE ต่างๆ .....	61
รูปแสดงลายวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย .....	65
รูปแสดงลายวงจรขับ POWER LED .....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของการทำงานร่วมกันระหว่าง ขา RS,R/W และ E ของโมดูล LCD .....	
แบบอักษร.....	24
ตารางที่ 2 แสดงค่าความสว่างที่ความถี่และ DUTY CYCLE ต่างๆ .....	58
ตารางที่ 3 แสดงค่าความสว่างและกำลังงานที่ DUTY CYCLE ต่างๆ.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี เพราะที่ได้รับคำแนะนำข้อมูล เกี่ยวกับการดำเนินงาน ตลอดจนเครื่องมือต่างๆที่เกี่ยวข้องจากประจำสาขาวิชาวิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งได้ให้ความ สะดวกในการใช้สถานที่ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ

ผู้จัดทำจึงขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ. โอกาสนี้ด้วย

จิรวัดน์ ปานกลาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ามีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้ระบบไฟฟ้าสามารถนำไปควบคุมระบบอื่นๆ ได้อย่างมากมาย สิ่งสำคัญก็คือใช้ในการส่องแสงสว่างให้กับมนุษย์ ในต่างประเทศรวมถึงประเทศไทยนั้นได้มีการใช้หลอดนีออน และหลอดฟลูออเรสเซนต์ในการให้ความสว่าง ข้อดี ของหลอดพวกนี้คือให้ความสว่างได้สูง และมีอายุการใช้งานนาน แต่ข้อเสีย คือ จะมีผลกระทบต่อธรรมชาติเป็นอย่างมาก ในสมัยก่อนมีการคิดค้นเทคโนโลยีขึ้น คือการนำเอาไดโอดเปล่งแสง หรือ LED (Light-Emitting Diode) มาใช้ในการส่องสว่าง LED เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายไดโอด เมื่อมีกระแสไหลผ่าน จากขั้วแอโนดไปยังแคโทด จะทำให้เกิดการเปล่งแสง แต่จะเปล่งแสงออกมาในปริมาณน้อยมาก เทคโนโลยีนี้จึงไม่ได้รับความสนใจ ปัจจุบันได้มีการคิดค้นและวิจัยในด้านนี้กันอย่างกว้างขวาง พร้อมทั้งเทคโนโลยีทางด้านเซมิคอนดักเตอร์มีความก้าวหน้าไปอย่างมาก จึงสามารถคิดค้น LED ที่สามารถให้แสงสว่างได้ LED มีข้อดีที่สามารถนำมาใช้งานทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือ หลอดนีออนได้ คือ ประการแรก LED ให้ประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่า ช่วยลดการสูญเสียพลังงาน และมีอายุการใช้งานนานกว่า และทนทานต่อการใช้งานได้ดีกว่าอีกด้วย ประการที่สอง LED มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก เมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดนีออน และหลอดไส้ โดยหลอดจำพวกนี้ จะปล่อยของเสีย หรือที่เรียกว่าไอปรอทออกมาในขณะที่ทำการเปล่งแสงสว่าง หลอด LED จึงมีความสำคัญมากในการช่วยลดปัญหาโลกร้อน หรือช่วยลดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี และในอนาคตหลอด LED จะมีการใช้งานในด้านแสงสว่างทดแทนหลอดจำพวกอื่น และมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางเพิ่มมากขึ้นอย่างแน่นอน

งานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างหลอด LED เพื่อทำหน้าที่ใช้ในการส่องสว่าง ทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์แบบแทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดนีออน หลอดไส้ ในปัจจุบัน เพื่อลดปัญหาทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง รวมไปถึงการนำไปพัฒนาต่อไปได้

## 1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาและทดลองหลักการการทำงานของ Power LED และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริง เพื่อช่วยลดผลกระทบที่มีต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้

## 1.2 ขั้นตอนการทำงาน

- ศึกษาหลักการ ทฤษฎี ของ Power LED รวมถึงวงจรที่ขับ LED
- ทดลองต่อวงจร โดยต่อลง Photo board เพื่อทดสอบการทำงานของ Power LED
- บันทึกผลการทดลองที่ได้จากการศึกษา

## 1.3 ขอบเขตของการทำงาน

ศึกษาถึงค่ากระแสและแรงดันที่มีผลต่อ Power LED เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบวงจรขับ Power LED โดยมี Microcontroller เป็นตัวควบคุมการส่องสว่าง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รับความรู้ทางทฤษฎีและทางปฏิบัติอีกทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้ เป็นต้นแบบของการนำเอา LED ไปใช้ในระบบส่องสว่างและสามารถนำไปพัฒนาให้ก้าวหน้าต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดันและต้องการกระแสอินพุตที่มีค่าต่ำ มีความสามารถเป็นสวิตช์ที่มีความเร็วสูงและเวลาการสวิตช์ต่ำอยู่ในระดับนาโนวินาที ทำให้ถูกนำมาใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเข้ามาแทนทรานซิสเตอร์

##### 2.1.1 คุณลักษณะของกระแสและแรงดัน

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ 3 ขาเช่นเดียวกับอุปกรณ์สวิตช์ประเภทอื่น โดยมีขาเกตเป็นขาควบคุมกระแสที่ขั้วเอาต์พุตเดรนและซอร์ส ขั้วซอร์สเป็นขั้วร่วม (common) ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของมอสเฟต คุณลักษณะสมบัติทั้งเอาต์พุต กระแสเดรน  $I_D$  จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันระหว่างเดรนและซอร์ส  $V_{DS}$  กับแรงดันที่เกตกับซอร์ส  $V_{GS}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นมอสเฟตแบบ N-Channel ส่วนแบบ P-Channel จะมีลักษณะสมบัติทางเอาต์พุตเช่นเดียวกันแต่จะมีแรงดันและกระแสที่ตรงข้าม ดังนั้นลักษณะสมบัติก็จะอยู่ในควอดแรนต์ที่สามของระนาบ

$I_D$ -  $V_{DS}$  ในการประยุกต์ใช้งานมอสเฟตในลักษณะของสวิตช์เพื่อควบคุมกำลังที่จะจ่ายให้กับโหลด ซึ่งมอสเฟตจะทำงานที่มีคุณลักษณะในย่านคัตออฟ (cut off region) ผ่านย่านแอกทีฟ (active region) และย่านเชิงเส้น (ohmic region)

มอสเฟตจะทำงานอยู่ในลักษณะคัตออฟเมื่อแรงดันระหว่างขาเกตและซอร์สต่ำกว่าแรงดันเทรชโฮล  $V_{GS(th)}$  ซึ่งปกติมอสเฟตกำลังโดยทั่วไปจะมีค่าไม่มากนักซึ่งจะให้ลักษณะเหมือนเปิดวงจรทำให้แรงดันที่เดรนและซอร์สมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายซึ่งการใช้งานแรงดันที่รอมที่เดรนและซอร์สต้องมีค่าไม่เกินค่าแรงดันพังทลาย  $BV_{DSS}$  ละมีค่ากำลังไฟฟ้าไม่เกินกว่าที่พิกัดจะทนได้เพราะถ้าเกินจะทำให้มอสเฟตเกิดความเสียหาย

เมื่อแรงดันที่เกตและซอร์สมีค่าที่มากพอที่จะให้การทำงานมอสเฟตอยู่ในย่านเชิงเส้นในขณะที่แรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สมีค่าต่ำ ในย่านนี้จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเกิดขึ้นที่มอสเฟตค่อนข้างมากโดยมอสเฟตจะทำงานในย่านนี้เมื่อ  $V_{GS} - V_{GS(th)} > V_{DS} > 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

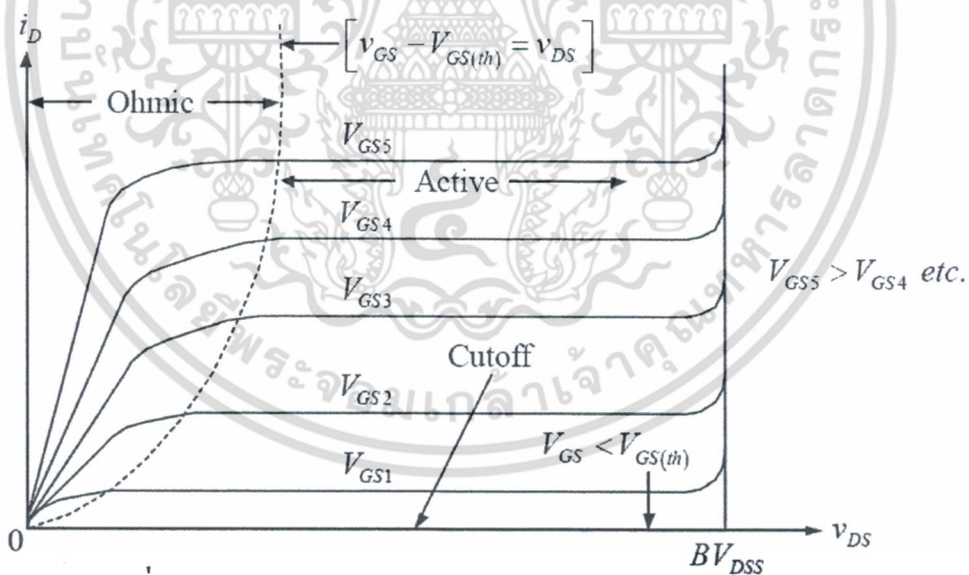
ในย่านแอกทีฟกระแสเดรนจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันระหว่างขาเดรนและซอร์ส แต่จะขึ้นอยู่กับแรงดันระหว่างเกตและซอร์ส ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระแสที่ไหลในตัวในย่านนี้ค่าของกระแสเดรนสามารถหาค่าโดยประมาณได้จากสมการ

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

โดยค่า  $K$  เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะโครงสร้างของมอสเฟต ในช่วงต่อระหว่างย่านเชิงเส้นกับย่านแอกทีฟค่าของ  $V_{GS} - V_{GS(th)} = V_{DS}$  ทำให้กระแสเดรนเท่ากับ

$$I_D = K[V_{DS}]^2$$

ซึ่งแสดงเป็นเส้นโค้งในรูปที่ 2.1 ซึ่งมอสเฟตกำลังมักจะพิจารณาการทำงานมอสเฟตในลักษณะสวิตช์ ซึ่งจะควบคุมแรงดันระหว่างเกตและซอร์สเมื่อเทียบกับค่า ซึ่งเปรียบได้กับย่านคัตออฟกับย่านแอกทีฟ



รูปที่ 2.1 กราฟลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดัน

## 2.1.2 ข้อจำกัดการทำงานและพื้นที่การทำงาน

### 2.1.2.1 แรงดันพังทลาย (Voltage Breakdown) มอสเฟตมีอัตราทน

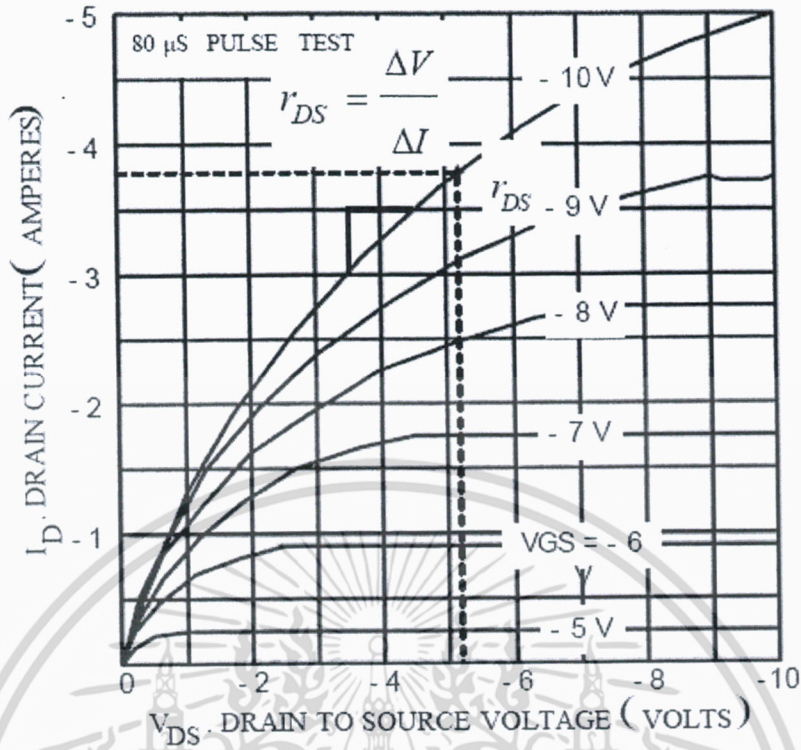
แรงดันอยู่สองค่า คือค่าที่ใช้ได้ไม่เกินค่าแรกเป็นค่าของแรงดัน  $V_{GS(MAX)}$  ค่าที่สองเป็นค่า  $BV_{DS(MAX)}$  ค่าแรงดันที่ยอมได้สูงสุดระหว่างเกตและซอร์ส  $V_{GS(MAX)}$  เป็นผลมาจากที่เกิดเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์จะพังทลายได้จากสนามไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งโดยทั่วไปการพังทลายของสาร  $\text{SiO}_2$  จะมีค่าสนามไฟฟ้าประมาณ 5 – 10 ล้าน  $\text{V}/\text{cm}$  ดังนั้นถ้าเกิดออกไซด์มีความหนา 1000 Å จะสามารถทนแรงดันระหว่างเกตและซอร์สได้ประมาณ 50 – 100 โวลต์ โดยปกติค่าโดยทั่วไปของ  $V_{\text{GS}(\text{MAX})}$  จะอยู่ระหว่าง 20 – 30 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากคู่มือที่แสดงค่าที่ปลอดภัยในการใช้งานที่เมื่อเอาไว้ป้องกันการพังทลายอย่างถาวรของเกตออกไซด์ในอุปกรณ์ สิ่งที่ต้องระวังอีกอย่างคือ ผลของไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นที่เกตออกไซด์จากการประมาททำให้เกิดออกไซด์นั้นเกิดการแตกและด้วยการต่อซีเนอร์ไดโอดสองตัวอนุกรมกันแบบกลับขั้วต่อคร่อมที่ขาเกตและซอร์ส โดยที่ค่าแรงดันซีเนอร์จะต้องน้อยกว่าค่าของ  $V_{\text{GS}(\text{MAX})}$  แรงดันสูงสุดที่ยอมได้ที่ขาเดรนกับซอร์ส  $BV_{\text{DS}(\text{MAX})}$  เป็นค่าแรงดันขนาดใหญ่ของมอสเฟตที่ไม่ทำให้รอยต่อ PN ที่ขาเดรนนั้นเกิดการเสียหายค่าแรงดันพังทลายค่ามากขึ้นอยู่กับโครงสร้างมอสเฟตในส่วนของความยาวของแถบกระจายสารและการโคป ดังนั้นการใช้งานจะต้องระวังค่าแรงดันระหว่างเดรนและซอร์สไม่ให้เกินอัตราทอนี้ ตามข้อมูลแต่ละตัวของมอสเฟต

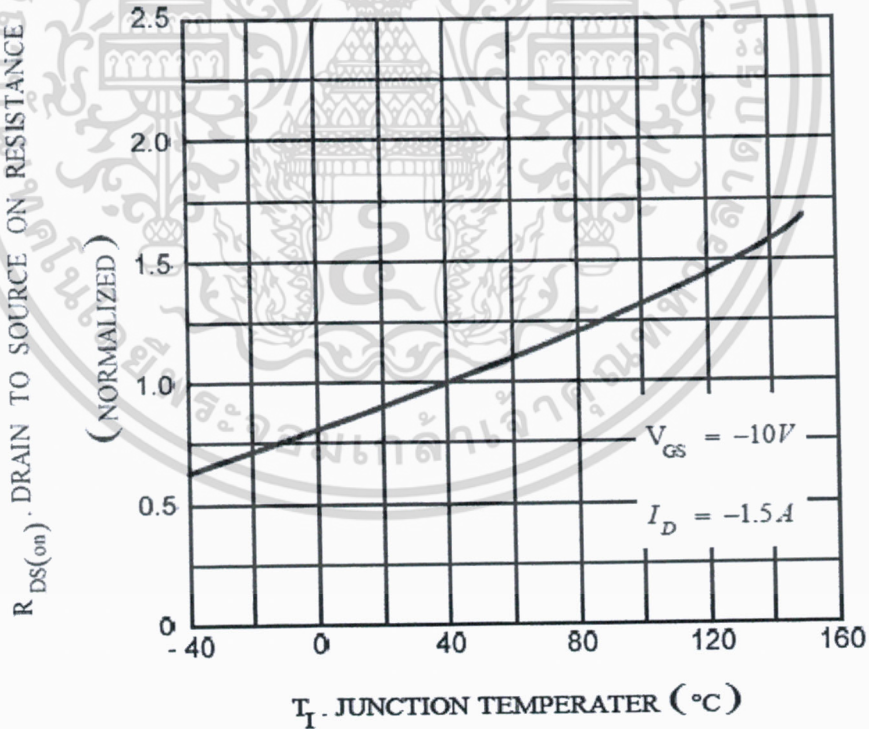
2.1.2.2 ค่าสูญเสียขณะนำกระแส เมื่อมอสเฟตมีสถานะนำกระแสจะเกิดกำลังสูญเสียขึ้นที่มอสเฟตอันเนื่องมาจากค่าความต้านทานขณะนำกระแสของมอสเฟต โดยหาได้จากสมการ

$$P_{\text{ON}} = I_0^2 \times r_{\text{DS}(\text{ON})}$$

ค่าความต้านทานสถิตระหว่างเดรนและซอร์สมีค่าเท่ากับ  $\frac{V_{\text{DS}}}{I_{\text{D}}}$  ในแต่ละจุด (ส่วน  $r_{\text{DS}(\text{ON})}$  เป็นค่าความต้านทานไดนามิกขณะนำกระแส  $\frac{V_{\text{DS}}}{I_{\text{D}}}$  ที่แต่ละจุด) ค่าของ  $r_{\text{DS}}$  นั้นมีส่วนประกอบอยู่สองอย่างคือความต้านทานที่ขนานกับความต้านทานที่ขึ้นของสารกึ่งตัวนำ ค่าความต้านทานที่เกิดจากขนานนั้นสามารถเกี่ยวพันกับแรงดันเกตกับซอร์สที่สั่งให้นำกระแส โดยที่จะมีค่าลดลงได้โดยการเพิ่มแรงดัน  $V_{\text{GS}}$  แต่ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.2 กราฟความต้านทานสถิตระหว่างเดรนและซอส



รูปที่ 2.3 กราฟสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของมอสเฟต

ค่าความต้านทานขณะนำกระแส นั้น จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ตัวมอสเฟตดังรูปที่ 2.3 ด้วยค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่เป็นบวกจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าลดลงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ระบบควบคุม (Control System)

### 2.2.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

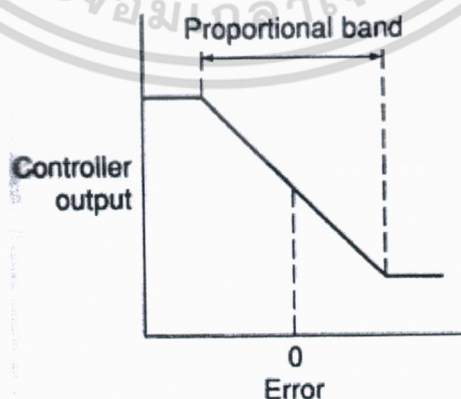
ในระบบควบคุมแบบสัดส่วน เราจะได้ว่า เอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุทของคอนโทรลเลอร์ และถ้าเรากำหนดสัญญาณอินพุทที่ให้กับคอนโทรลเลอร์เป็น ค่าความผิดพลาด( $e$ ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เราจะได้

$$\text{output} = K_p e \quad (2.2.1)$$

เมื่อ  $K_p$  เป็นค่าคงที่เรียก proportional gain เราจะพบว่าเอาท์พุทที่ออกจากคอนโทรลเลอร์แบบ Proportional control จะขึ้นกับขนาดของความผิดพลาดในขณะที่เรากำลังพิจารณา ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์  $G_c(s)$  จะมีค่าเป็น

$$G_c(s) = K_p \quad (2.2.2)$$

ดังนั้นการควบคุมด้วยคอนโทรลเลอร์แบบนี้ก็จะเป็นเพียงการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่เราได้สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง จะทำให้เกิดเอาท์พุทที่มีขนาดใหญ่จากคอนโทรลเลอร์ในเวลานั้น อย่างไรก็ตามการที่เรากำหนดให้ gain คงที่นั้นในทางปฏิบัติเราอาจจะกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น เราอาจกำหนดให้คอนโทรลเลอร์ของเรามีค่าเอาท์พุทไม่น้อยกว่าค่าหนึ่งและไม่มากเกินไปกว่าค่าหนึ่งก็ได้ ซึ่งการกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุทจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 และการกำหนดเอาท์พุทแบบ proportional control ช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้ เราจะเรียกว่า proportional band.



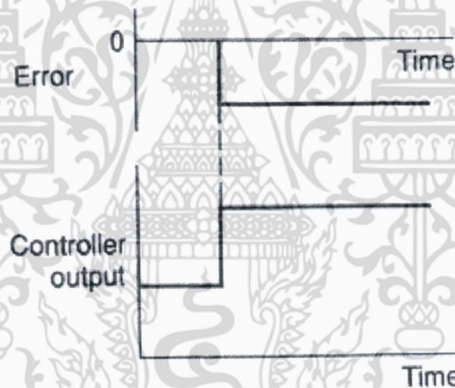
รูปที่ 2.4 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนด proportional band นี้ จะช่วยให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่อันันต์ ทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบ และเมื่อคอนโทรลเลอร์มีเอาต์พุตสูงที่สุดที่เป็นไปได้ค่าหนึ่งแล้ว เราก็นิยมที่จะกำหนดเอาต์พุตค่าใด ๆ เป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ 100% ก็หมายถึงว่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้เราได้ว่า

$$K_p = \frac{100}{\text{proportional band}} \quad (2.2.3)$$

เนื่องจากเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุตดังนั้น ถ้าหากอินพุตมีลักษณะเป็น step เอาต์พุตที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็น step เช่นกันโดยลักษณะของกราฟแสดงอินพุตและเอาต์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่ง ตามรูปที่ 2.14 โดยรูปนี้แสดงถึงการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์ เมื่ออินพุตอยู่ในช่วง proportional band

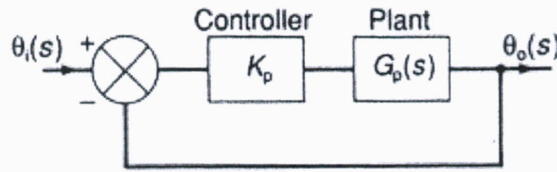


รูปที่ 2.5 การตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ proportional control

ในทางปฏิบัติ proportional control นี้ จะมีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น คาน ก็ได้ ลักษณะของระบบที่ควบคุมแบบ proportional control จะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.6 และจะทำให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$G_0(s) = K_p G_p(s) \quad (2.2.4)$$

เมื่อ  $G_p(s)$  เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ



รูปที่ 2.6 ระบบควบคุมแบบ proportional control

ข้อเสียประการสำคัญของระบบควบคุมที่คอนโทรลเลอร์คือ ไม่ได้มีการเพิ่มเทอม  $\frac{1}{s}$  (หรือการเพิ่มปริพันธ์) ในส่วน forward path ซึ่งหมายความว่า ถ้าระบบเป็นระบบ type 0 คอนโทรลเลอร์จะไม่ได้เปลี่ยนแปลง type ของระบบ ทำให้ระบบเป็น type 0 เหมือนเดิม และทำให้เกิดความผิดพลาดที่สภาพคงตัว เนื่องจากคอนโทรลเลอร์ไม่ได้ทำการเพิ่มโพลหรือศูนย์ใหม่ให้กับระบบเพียงแต่เปลี่ยนตำแหน่งของโพลหรือศูนย์เท่านั้น เนื่องจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับหนึ่งหน่วย ตามรูปที่ 2.6 จะมี ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G(s) = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)}$$

และสมการคุณลักษณะจะเป็น  $(1 + K_p G_p(s))$  และมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ  $K_p$

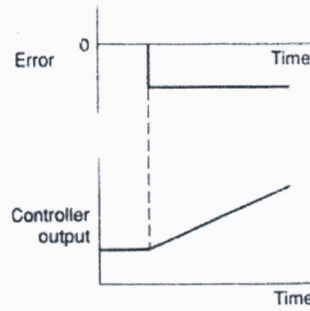
### 2.2.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)

ในระบบควบคุมแบบปริพันธ์เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับปริพันธ์ของสัญญาณผิดพลาดเทียบกับเวลา หรือ

$$\text{output} = K_i \int_0^t e dt \quad (2.2.5)$$

เมื่อ  $K_i$  เป็นค่าคงที่เรียกว่า integral gain ซึ่งจะมีหน่วยเป็น 1/sec รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการตอบสนองของ integral control เมื่อได้รับสัญญาณความผิดพลาดแบบ step ค่าปริพันธ์ระหว่างเวลา  $t$  และ 0 จะหมายถึงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณความผิดพลาดจากเวลา 0 ถึง  $t$  ดังนั้นเนื่องจากการมีสัญญาณความผิดพลาดแบบ step เอาต์พุตที่ออกจากคอนโทรลเลอร์จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราที่คงที่ ทำให้เอาต์พุตที่เวลาใดๆจะเป็นสัดส่วนกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

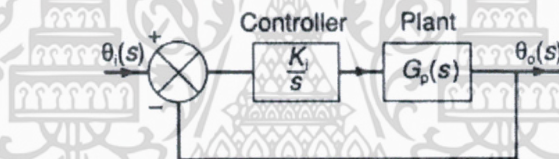
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ลักษณะการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ integral control เปลี่ยนรูปลาปลาซของสมการ 2.2.5 จะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์เป็น

$$G_c(s) = \frac{\text{output}(s)}{e(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.2.6)$$

ดังนั้นสำหรับระบบที่แสดงในรูปที่ 2.8 การควบคุมแบบ integral control จะให้ forward-path transfer function เป็น  $\frac{K_i}{s} G_p(s)$  และทำให้มี ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น



รูปที่ 2.8 ระบบควบคุมแบบ integral control

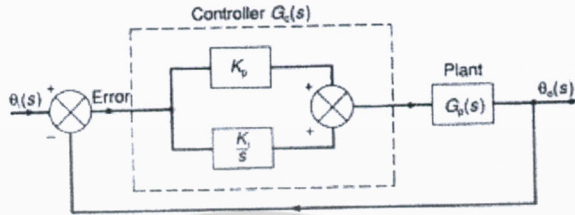
เราสามารถพิจารณาถึงข้อได้เปรียบของการควบคุมแบบ integral control ได้จากสมการ 2.2.7 ซึ่งเราจะเห็นว่าระบบควบคุมแบบ integral control จะเพิ่มจำนวนโพลให้กับระบบควบคุมและเพิ่ม type ของระบบ จาก type 0 เป็น type 1 ซึ่งทำให้ระบบมีความผิดพลาดที่สถานะคงตัวเป็นศูนย์เทียบต่อ step input ใดๆก็ตามการเพิ่มโพลที่  $s = 0$  และไม่มีการเพิ่มศูนย์ให้กับระบบควบคุม จะทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล ( $n$ ) และจำนวนศูนย์ ( $m$ ) เพิ่มขึ้นอีก 1 ซึ่งจะมีผลให้ asymptote angles ของทางเดินรากลดลง และจุดตัดจะเคลื่อนไปทางครึ่งขวาของ  $s$ -plane มากขึ้น มีผลทำให้ความเสถียรสัมพัทธ์ของระบบลดลง

$$\text{Asymptote angle} = \pm \frac{\pi}{n-m}, \frac{3\pi}{n-m} \quad (2.2.7)$$

### 2.2.3 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ (Proportional plus integral Control)

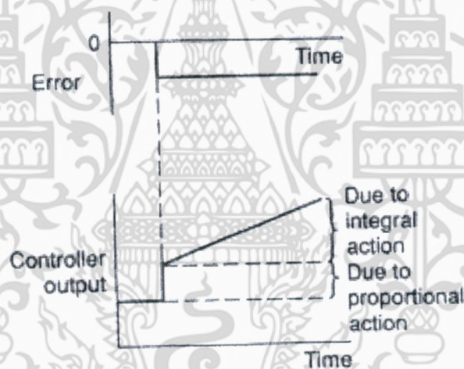
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ระบบควบคุมมีความเสถียรสัมพัทธ์ลดลง เมื่อเราใช้การควบคุมแบบ  
 ปริพันธ์สามารถที่จะแก้ไขได้ในระดับหนึ่งโดยการใช้การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบ  
 ปริพันธ์ (Proportional plus Integral, PI) ซึ่งลักษณะของระบบควบคุมจะเป็นตามรูปที่  
 2.9



รูปที่ 2.9 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย Proportional plus Integral  
 สำหรับระบบดังกล่าวจะมีเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์เป็น

$$output = K_p e + K_i \int_0^t e dt \quad (2.2.8)$$



รูปที่ 2.10 การตอบสนองของ PI controller

รูปที่ 2.10 แสดงเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับเมื่อมีอินพุตเป็น  
 สัญญาณความผิดพลาดแบบ step ถ้าเราเปลี่ยนรูปลาปลาซของสมการ 2.2.7 เราจะได้  
 ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์แบบ PI เป็น

$$G_0(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

$$= \frac{sK_p + K_i}{s}$$

$$= K_p \frac{(s + K_i/K_p)}{s}$$

เราให้ integral time constant  $\tau_i$  เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_i = \frac{K_p}{K_i}$$

ดังนั้นเราจะได้

$$G_c(s) = \frac{K_p[s + (1/\tau_i)]}{s} \quad (2.4.9)$$

และจะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$\begin{aligned} G_0(s) &= G_c(s)G_p(s) \\ &= \frac{K_p[s + (1/\tau_i)]G_p(s)}{s} \end{aligned} \quad (2.4.10)$$

เราจะเห็นว่าเรามีศูนย์ที่  $ss = -\frac{1}{\tau_i}$  และโพลที่  $s=0$  เพิ่มให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเมื่อเราใช้การควบคุมแบบ PI การที่เราเพิ่มตัวประกอบ  $s$  เข้ากับเทอมส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนก็เสมือนกับเราเพิ่มแบบของระบบขึ้นไป 1 จึงทำให้ระบบนี้จะไม่มีความผิดพลาดที่สภาพคงตัวสำหรับอินพุตแบบขั้นบันได นอกจากนั้นการที่เราเพิ่มศูนย์ให้กับระบบไปพร้อม ๆ กัน ก็จะทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล  $n$  และจำนวนศูนย์  $m$  มีค่าคงที่ ดังนั้นมุมของ asymptote สำหรับทางเดินของรากมีค่าคงเดิม อย่างไรก็ตามจุดตัดของเส้น asymptotes บนแกนจริง จะเคลื่อนที่เข้าหาจุดกำเนิดมากขึ้น ยังผลให้ความเสถียรของระบบลดลงบ้างเพราะจาก

$$\text{Intersection/point} = (\text{ผลรวมของโพล} - \text{ผลรวมของศูนย์}) / (n-m)$$

การเพิ่มโพลที่  $s=0$  และศูนย์ที่  $ss = -\frac{1}{\tau_i}$  จะทำให้จุดต้องเปลี่ยนไป

เท่ากับ  $\pm \frac{(1/\tau_i)}{(n-m)}$  ซึ่งจะทำให้มีค่าเป็นบวกมากขึ้น และจุดตัดจะเคลื่อนที่มาทางขวามือเข้าใกล้จุดกำเนิดมากขึ้น อย่างไรก็ตามการลดลงของความเสถียรสัมพัทธ์นี้จะน้อยกว่าการที่เราใช้การควบคุมแบบปริพันธ์เพียงอย่างเดียวค่าของ  $K_p$  และ  $K_i$  จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดตำแหน่งของศูนย์และโพลของระบบ โดยตำแหน่งของศูนย์จะกำหนดด้วยค่า  $K_p$  ในขณะที่  $K_i$  จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดโพลระบบปิด

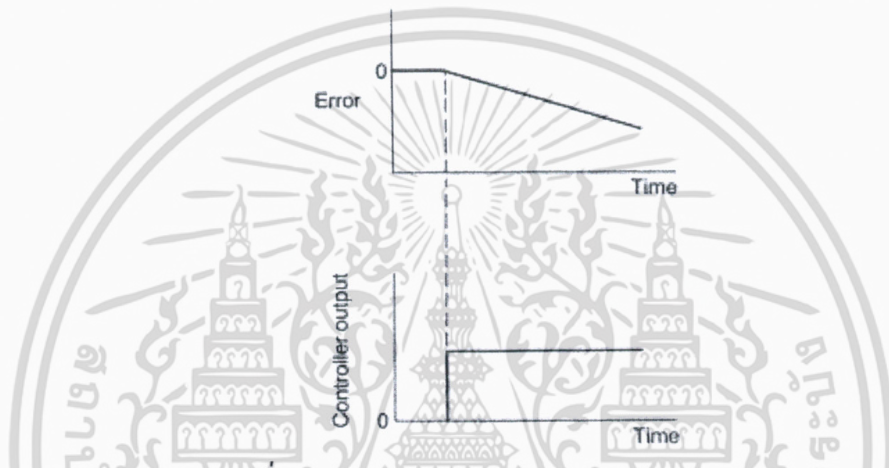
## 2.2.4 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอีกแบบหนึ่งก็คือการควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller) การควบคุมแบบนี้เอาที่พุดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดเทียบกับเวลา นั่นคือ

$$\text{output} = K_d \frac{de}{dt} \quad (2.4.11)$$

เมื่อ  $K_d$  คือ derivative gain และมีหน่วยเป็นวินาที



รูปที่ 2.11 การตอบสนองของ Derivative Control

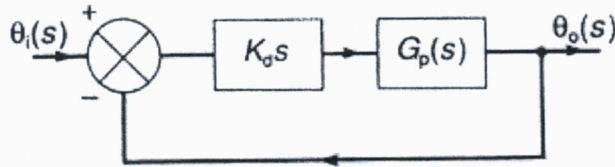
รูปที่ 2.11 แสดงสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณความผิดพลาดเป็นสัญญาณแบบ ramp เมื่อเริ่มได้รับสัญญาณความผิดพลาดและไม่ใช้ค่าของความผิดพลาดซึ่งทำให้เราได้สัญญาณส่งออกจากคอนโทรลเลอร์มีค่ามากก่อนที่จะเกิดความผิดพลาดขึ้นมากจริง ๆ อย่างไรก็ตามหากความผิดพลาดมีค่าคงที่ก็จะไม่มีการสะสมค่าความผิดพลาดแม้ว่าค่าความผิดพลาดจะมีมากก็ตาม ทำให้การควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ไม่อ่อนไหวต่อค่าความผิดพลาดที่คงที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ซึ่งผลที่ตามมาการควบคุมแบบนี้จะไม่ใช้เพียงตัวเดียว แต่มักจะใช้ควบคู่ร่วมกับการควบคุมแบบอื่นเปลี่ยนรูปลาปลาซสมการ 2.2.11 เพื่อที่จะหาฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเป็น

$$G_c(s) = K_d s \quad (2.2.12)$$

ดังนั้นสำหรับระบบควบคุม ดังที่แสดงในรูปที่ 2.12 การที่มีการควบคุมแบบอนุพันธ์จะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

$$G_0(s) = \frac{K_d s G_p(s)}{1 + K_d s G_p(s)} \quad (2.2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย Derivative Control

ถ้าหากว่าระบบเป็นแบบ type 1 หรือสูงกว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์จะลด S ในเทอมส่วนลงและลด type ของระบบลง 1 อย่างไรก็ตามเราได้กล่าวก่อนหน้านี้แล้วว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์นี้มักจะไม่ใช่เพียงคำพ้องแต่เราจะใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น เพราะเมื่อเราใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์จะทำให้เราเพิ่มความเร็วในการตอบสนองของระบบต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ในทางปฏิบัติการนำการควบคุมแบบอนุพันธ์ไปใช้นั้นค่อนข้างจะลำบาก ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะเป็นการประมาณการควบคุมแบบอนุพันธ์ โดยใช้ lead compensator ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

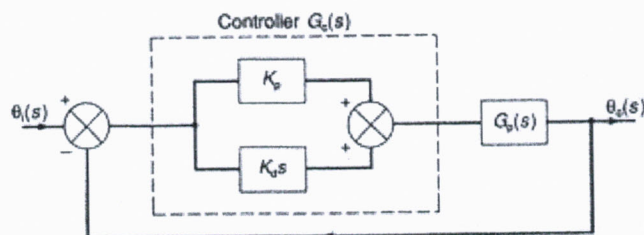
2.2.5 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์ (Proportional plus Derivative Control)

ถ้าการควบคุมแบบอนุพันธ์ใช้ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วน (PD) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.13 เราจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$G_0(s) = (K_p + K_d)G_p(s)$$

$$G_0(s) = k_d [(1/\tau_d) + s]G_p(s) \tag{2.2.14}$$

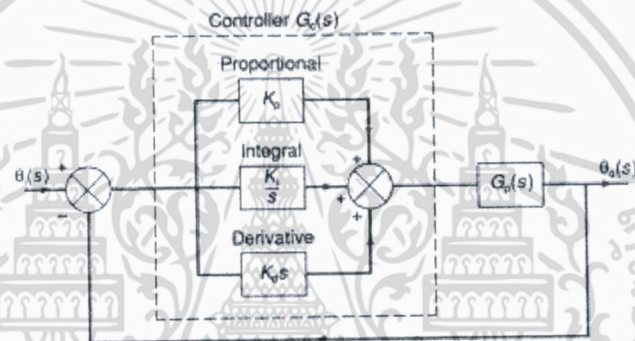
เมื่อ  $\tau_d = \frac{K_p}{K_d}$  คือ derivative time constant ซึ่งในการควบคุมแบบนี้ จะมีศูนย์เพิ่มขึ้นที่  $s = -\frac{1}{\tau_d}$  และจะเห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระบบ ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย PD Control

2.2.6 PID control



รูปที่ 2.14 Block diagram ที่ประกอบด้วย PID control

การควบคุมโดยใช้แบบสัดส่วนร่วมกับแบบปริพันธ์และรวมกับแบบอนุพันธ์ (PID control) หรือ ที่เรียก การควบคุมแบบ 3 เทอม (tree-term control) ระบบจะมีลักษณะตามรูปที่ 2.14 จะทำให้เอาที่พูดของคอนโทรลเลอร์เมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด ( $e$ ) ดังนี้

$$\text{output} = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (2.2.15)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์ จะเป็น

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.2.16)$$

ซึ่งเราสามารถจัดรูปได้เป็น

$$G_c(s) = K_p \left[ 1 + \frac{K_i}{K_p s} + \frac{K_d s}{K_p} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ 
$$G_c(s) = K_p + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \quad (2.2.17)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดของระบบที่แสดงในรูปที่ 2.14 จะเป็น

$$G_o(s) = G_c(s)G_p(s) = K_p + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s$$

$$G_o(s) = \frac{K_p(\tau_i s + 1 + \tau_i \tau_d s^2)G_p(s)}{\tau_i s}$$

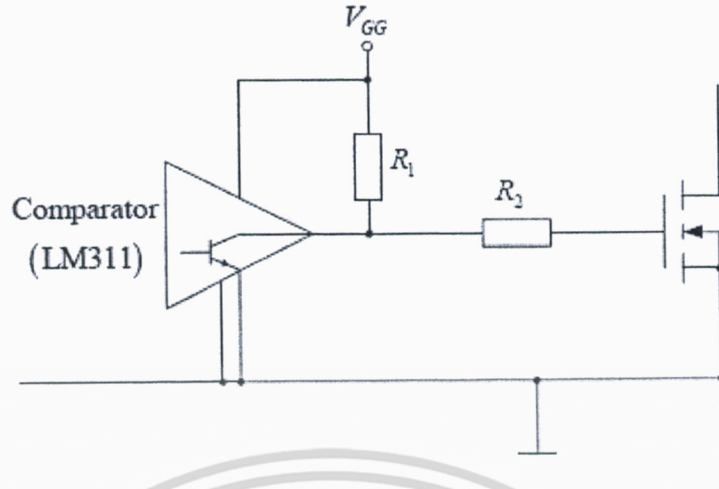
(18)

ดังนั้นการควบคุมแบบ PID controller จะเพิ่มจำนวนศูนย์ให้กับระบบเท่ากับ 2 และเพิ่มจำนวนโพล 1 โพล และทำให้ชนิด type ระบบเพิ่มขึ้น 1

### 2.3 วงจรขับเคลื่อน (Gate Driver)

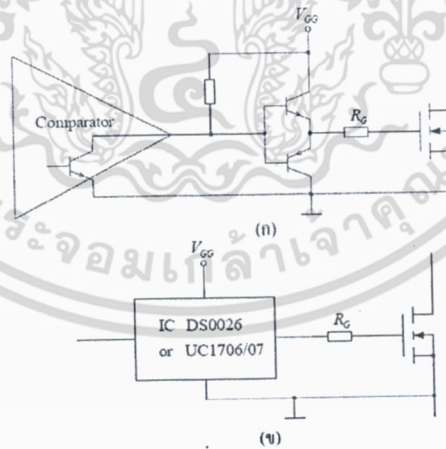
การขับเคลื่อนจากที่พิจารณาลักษณะสมบัติในการเป็นสวิตช์อัตราการเปลี่ยนแปลงของ  $V_{DS}$  และ  $I_D$  นั้น เกี่ยวข้องกับกระแสแอสเกตที่เป็นผลเกี่ยวเนื่องกับความเร็วของการเก็บและการคายประจุของตัวเก็บประจุระหว่างขาเกตและซอร์สของมอสเฟต ดังนั้นการออกแบบวงจรควบคุมเวลาการสวิตช์มอสเฟต จึงเป็นการควบคุมแหล่งจ่ายกระแสด้วยวงจรขับเคลื่อน ข้อดีของความเร็วการสวิตช์ที่สูงเป็นการลดกำลังการสูญเสียตลอดจนการลดเวลาการเปลี่ยนสถานะสวิตช์ ซึ่งมีผลกับการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่สูง แต่ข้อเสียของความเร็วการสวิตช์ที่สูงๆจะมีผลเสียดต่อสัญญาณแทรกและรบกวนสูงการเพิ่มขึ้นของปัญหากระแสย้อนกลับที่ผ่านฟรีวีลิ่งไดโอด และการเกิดแรงดันเกินที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะลดลงที่ความเร็วการสวิตช์ต่ำ มอสเฟตมักถูกเลือกใช้งานความถี่การเป็นสวิตช์สูงที่ต้องการในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถสวิตช์ดีกว่าอุปกรณ์ประเภทอื่นๆในการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่สูง มอสเฟตนั้นต้องการกระแสเกตที่มากพอในขนาดประมาณ 1 แอมแปร์หรือมากกว่าเพื่อให้ความเร็วในการสวิตช์สูงสัญญาณที่ควบคุมมอสเฟตนั้นโดยปกติจะถูกส่งจากวงจรลอจิกเกตที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ประเภทไอซีหรือไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น สัญญาณที่ได้จากวงจรลอจิกนั้นปกติจะไม่สามารถขับมอสเฟตได้โดยตรง เพราะจะต้องคำนึงถึงค่าของกระแสเกตและขนาดทั้งการไหลออกและเข้าที่ขาเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจรจับเกิดอย่างง่าย

วงจรจับเกิดอย่างง่ายที่จะใช้กับการควบคุมหนึ่งสวิตช์เพื่อควบคุมกระแสเกิดดังแสดงในรูปที่ 2.15 และเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียที่เกิดจากวงจรจับ  $R_1$  จะต้องมีค่ามาก รูปที่ 2.16 (ก) เป็นการปรับปรุงวงจรในรูปที่ 2.15 โดยการเพิ่มทรานซิสเตอร์คู่ NPN และ PNP ซึ่งจะพบว่าสามารถอัดประจุและคายประจุที่เกิดและชอร์สได้อย่างรวดเร็ว ในรูปที่ 2.16 (ข) เป็นวงจรจับเกิดอีกแบบหนึ่งที่ยง่ายโดยการใช้ไอซีบัฟเฟอร์เช่น เบอร์ CD4069 หรือ 4068 ในกรณีที่ไม่ต้องการกระแสเกิดมากนักซึ่งสามารถจ่ายและผ่านกระแสได้ไม่เกิน 1 แอมแปร์

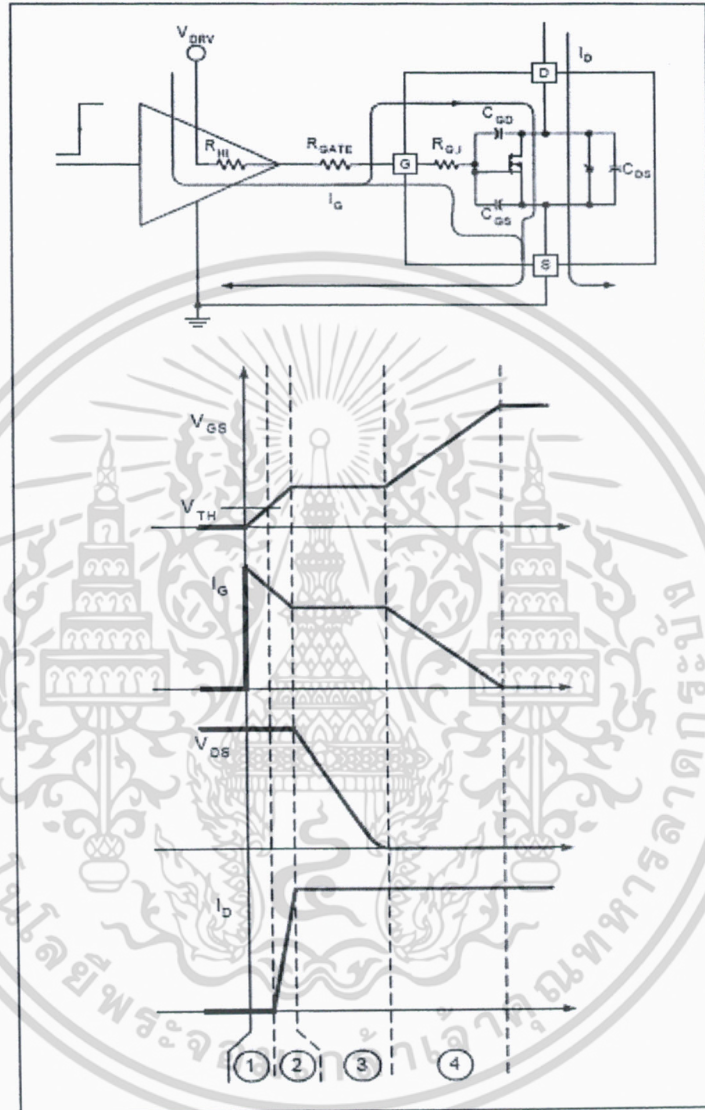


รูปที่ 2.16 วงจรจับเกิดแบบใช้ไอซีบัฟเฟอร์

### 2.3.1 Turn-On , Turn-Off Procedure

การ turn-on ของมอสเฟตสามารถแบ่งช่วงเวลาการทำงานออกเป็น 4 ช่วงดังแสดง

ในรูปที่ 2.17



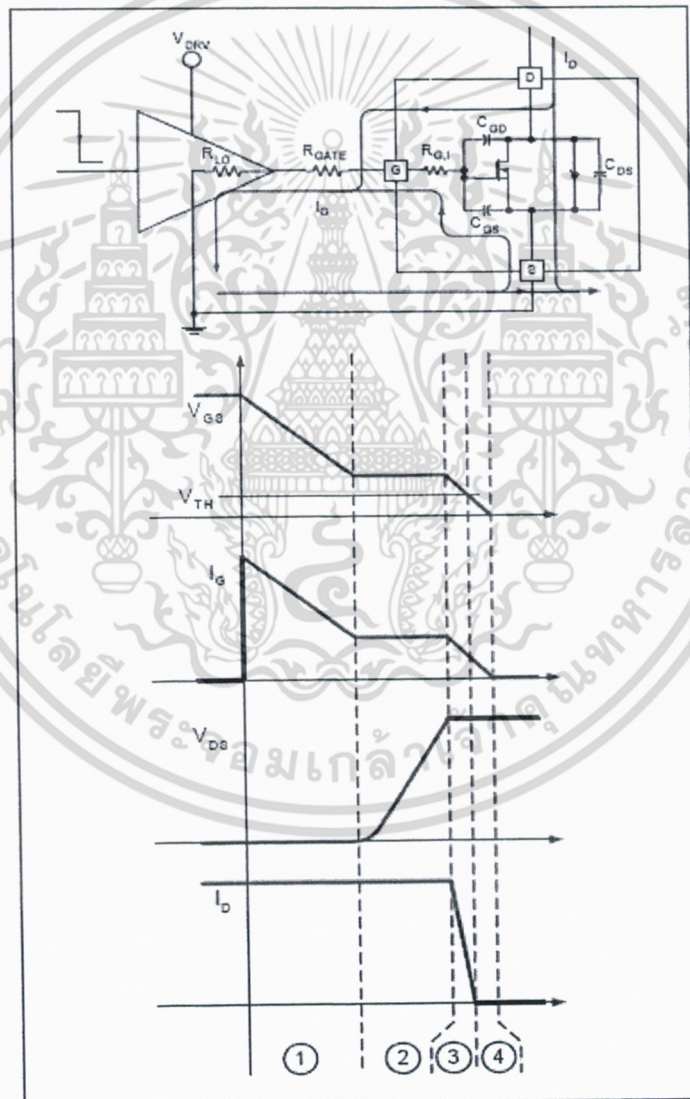
รูปที่ 2.17 MOSFET turn-on time

ช่วงที่ 1 เมื่อความจุประจุทางด้านอินพุตมีแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 0 V ไปจนถึง  $V_{th}$  ในช่วงเวลานี้กระแสที่ขาเกตจะเข้าไปชาร์จประจุที่  $C_{GS}$  และมีกระแสอีกจำนวนหนึ่งซึ่งมีปริมาณที่น้อยมากเข้าไปชาร์จที่ตัวเก็บประจุระหว่างเกตและเดรน ( $C_{GD}$ ) และทำให้แรงดันขาเกตและเดรนค่อยๆ ลดลง ช่วงเวลานี้เรียกว่า Turn-on delay (ช่วงที่ 1 ของรูป 2.17) ตอนนี้ขาเกตถูกชาร์จประจุที่  $V_{th}$  มอสเฟตก็พร้อมที่จะนำกระแสแล้ว ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ขาเกตมีแรงดันเพิ่มขึ้นจาก  $V_{th}$  ไปจนถึงระดับ  $V_{GSMiller}$  ในขณะนี้กระแสเดรนจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่ม  $V_{GS}$  ให้มากขึ้น ทั้งๆที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ขาเดรน-ซอร์สยังมีค่าเท่าเดิม ช่วงที่ 3 เมื่อพิจารณาจากภาพ 2.17 แล้วจะเห็นว่า มอสเฟตนำกระแสได้แล้ว และแรงดันระหว่างเดรน-ซอร์สจะลดลง ในช่วงเวลานี้ประจุที่ได้จากการชาร์จจากเดรนนั้นจะไหลไปยัง  $C_{GD}$  เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอย่างรวดเร็วของขาเดรน-ซอร์ส และกระแสเดรนที่ไหลนั้นสามารถจำกัดได้โดยวงจรภายนอกมาต่อ ช่วงสุดท้ายของการ turn-on มอสเฟตสามารถนำกระแสได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งกระแสที่ไหลได้ทั้งหมดขึ้นอยู่กับ  $V_{GS}$  ที่เป็นแรงดันในการสร้างความกว้างของเซนแนลในตัวมอสเฟต

ในส่วนของการ turn-off มอสเฟตสามารถพิจารณาย้อนกลับได้เหมือนกับการ turn-on มอสเฟต ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 MOSFET turn-off time

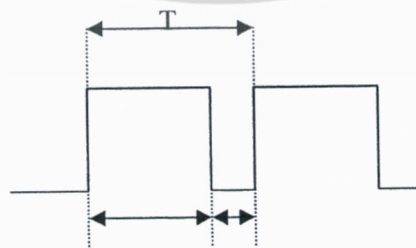
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะนำมาใช้นั้น ต้องมีความเร็วในการปฏิบัติการไม่ต่ำกว่า 20 MHz (DC) ซึ่งถือเป็นความเร็วมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไป อีกทั้งยังมีค่า 200 ns Instruction cycle เพื่อที่จะสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) ไปขับวงจรไดโอดเปล่งแสงกำลัง (Power LED) ได้ สำหรับ พอร์ตที่ใช้เป็นอินพุต และ เอาท์พุต นั้นต้องมีอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 5 พอร์ต ประกอบไปด้วย ตัวจับค่ากระแสย้อนกลับ จากเอาท์พุต (Current Feedback) ตัวจับค่าโวลเตจย้อนกลับ (Voltage Feedback) ตัวส่งสัญญาณพัลส์ (Pulse) ออกทางเอาท์พุต เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการ ต้องการไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟประมาณ 2.0 – 5.5 โวลต์ และต้องทนอุณหภูมิภายในได้ ตั้งแต่ -40 องศาเซลเซียส ถึง 85 องศาเซลเซียส องค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์คือสามารถควบคุมและสร้างสัญญาณให้เกิดเป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณพัลส์ (Pulse) ดังนั้นต้องมี ในส่วนของตัวสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม ก็มีโมดูลของ CCP (Capture Compare PWM) และในส่วนของ ECCP (Enhanced Capture Compare PWM) ซึ่งข้อแตกต่างจะกล่าวต่อไป ทั้งสองฟังก์ชันนี้ สามารถสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อไปขับ MOSFET หรือ ภาศเอาท์พุตได้

### 2.4.1 สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation)

สัญญาณ PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation เป็นสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (Pulse) หรือสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม หรือเรียกว่าดิวตี้ไซเคิล Duty Cycle เนื่องจากการปรับดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) จะเป็นตัวกำหนดปริมาณพลังงานให้กับอุปกรณ์ เช่น จำพวกมอเตอร์ และหลอดไฟฟ้า



รูปที่ 2.19 แสดงรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Pulse) แสดงโครงสร้าง PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 โครงสร้างของสัญญาณ

- ความถี่ (frequency) หรือ  $f$  จะเป็นตัวกำหนดความถี่ของสัญญาณ ซึ่งความถี่ที่เราใช้อยู่กับอุปกรณ์ที่เราจะควบคุม

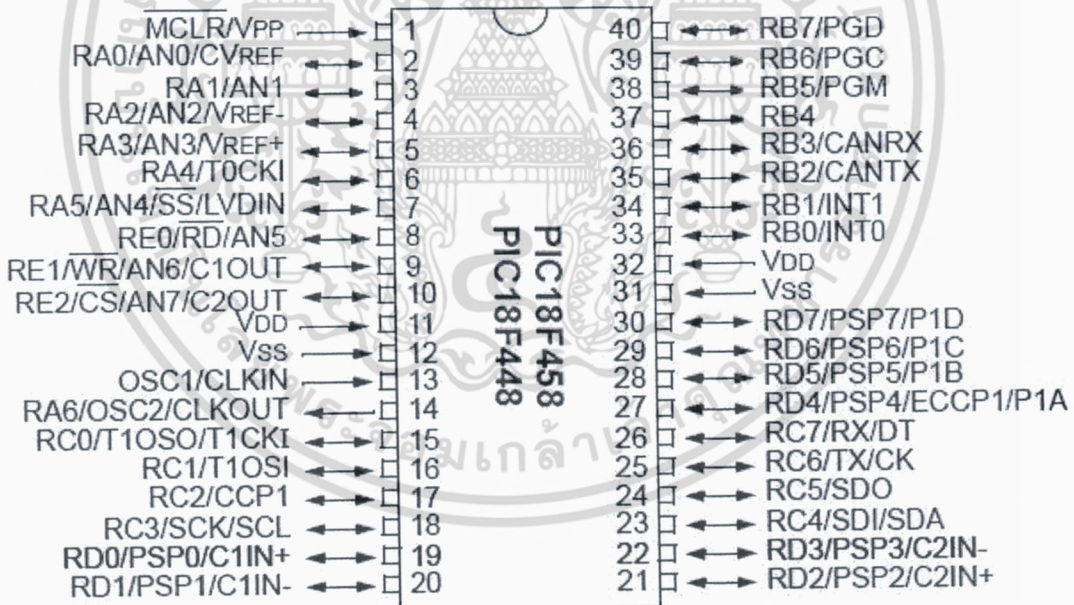
- คาบเวลา (Period) หรือ  $T$  จะเป็นตัวบอกช่วงเวลาความยาวของเวลาในรูปสัญญาณ โดยคาบเวลาจะขึ้นอยู่กับความถี่

$$T = \frac{1}{f}$$

- ช่วงเวลาในการทำงาน ( $t_1$ ) จะเป็นตัวควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน โดยช่วงเวลานี้ ถ้าความยาวมากก็จะทำให้มีพลังงานมาก ถ้าน้อยก็จะพลังงานน้อย

- ช่วงหยุดทำงาน ( $t_2$ ) ช่วงหยุดหรือช่วงที่มอเตอร์หยุดทำงาน  $t_2 = T - t_1$

- าคิวตี้ ไซเคิล (Duty Cycle) จะเป็นตัวบอกปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อเรานำสัญญาณ PWM ไปควบคุม อุปกรณ์โดยมีค่า 0-100 %



รูปที่ 2.20 แสดงการจัดเรียงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F458

ส่วนประกอบที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้ คือ มีฟังก์ชันการทำงานของ PWM ทั้ง CCP และ ECCP เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม (Pulse) อีกทั้งความเร็วที่ใช้สูงมาก ใช้งานที่แรงดัน 2 - 5 โวลต์ มี พอร์ตอินพุต และ

เอาต์พุต ส่วนพอร์ตที่เหลือใช้สำหรับในการพัฒนา และการทดลองอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 โมดูล LCD (LCD MODULE)

### 2.5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD

ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนดังนี้

**ตัวแสดงผล (display)** ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

**ตัวควบคุม (controller)** เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ ชิปที่นิยมใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61380 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักษร ส่วน HD61380 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

**ตัวขับ (driver)** เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

### 2.5.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน ในหนังสือนี้ขอยกตัวอย่างโมดูล LCD แบบอักษร เพราะสามารถเข้าใจได้ง่าย ในรูปที่ 2.21 เป็นบล็อกไดอะแกรมภายในของชิปควบคุม LCD เบอร์ HD44780 ซึ่งใช้โมดูล LCD แบบอักษร ประกอบด้วย

**บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต** เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

**รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR)** เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

**รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register : DR)** เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร



### 2.5.3 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด (LCD 16x2)

สำหรับโมดูล LCD ที่ยกมาใช้ในการเรียนรู้ในการทดลอง เป็นขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขาตั้งในรูปแบบที่ 2.22 รายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้

$V_{SS}$  (ขา 1) : ต่อกราวด์

$V_{DD}$  (ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง +5 โวลต์

$V_O$  (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการ

แสดงผล

$RS$  (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผล ในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

$R/W$  (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้ในการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

$E$  (ขา 6) : เป็นขาเอเบิล LCD ให้ทำงาน

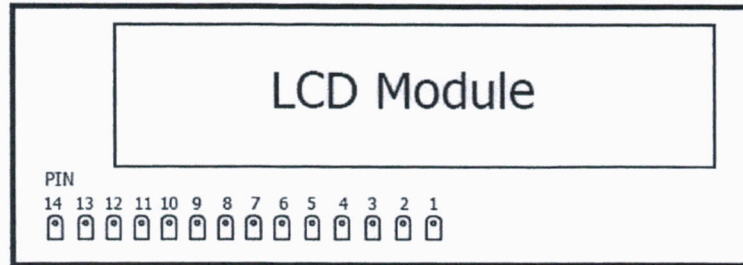
$D0-D7$  (ขา 7-14) : เป็นขาข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

อนึ่งขา  $RS$  และ  $R/W$  และ  $E$  จะใช้งานร่วมกัน โดยมีความสัมพันธ์ดังตารางที่ 1

RS	R/W	E	การทำงาน
0	0		เขียนคำสั่ง
0	1		อ่านสถานะของ LCD
1	0		เขียนข้อมูล
1	1		อ่านข้อมูล

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของการทำงานร่วมกันระหว่าง ขา  $RS, R/W$  และ  $E$  ของโมดูล LCD แบบอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขาที่	ชื่อขา	หน้าที่ใช้งาน
1	GND	ต่อกับกราวด์ของวงจร
2	+V <sub>DD</sub>	ต่อกับไฟเลี้ยง +5V
3	Vo	เป็นขาสำหรับป้อนแรงดันเพื่อปรับความสว่างของจอแสดงผลแอลซีดี
4	Rs	เป็นขาเลือกการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่งหรือรีจิสเตอร์ข้อมูล 0 : จะติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่ง 1 : จะติดต่อกับรีจิสเตอร์ข้อมูลเพื่อนำข้อมูลไปแสดงผล
5	R/W	เป็นขาเลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD
6	E	เป็นขาสำหรับป้อนสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลให้โมดูล LCD ทำงาน
7-14	D0-D7	เป็นขาข้อมูล 8 บิต โดยใช้ขา 7 คือ D0 ไล่ไปจนถึงขา 14 คือ D7

รูปที่ 2.22 การจัดขาของโมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

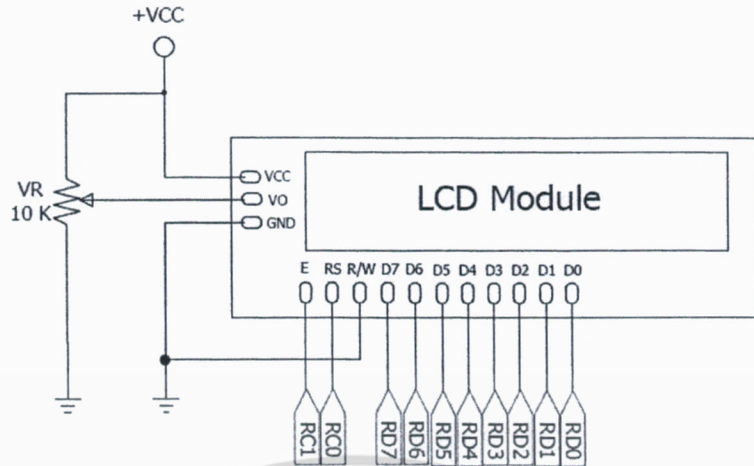
#### 2.5.4 การติดต่อกับโมดูล LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ แบบ 8 บิต และแบบ 4 บิต โดยปกติจะมีการใช้แบบ 8 บิต มากกว่า แต่หากมีข้อจำกัดเรื่องจำนวนของพอร์ต ควรเลือกใช้การติดต่อแบบ 4 บิต ซึ่งจะมีขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่จะใช้สายสัญญาณเพียง 6 เส้น ในขณะที่แบบ 8 บิต จะใช้สายสัญญาณ 10 เส้น

##### การติดต่อแบบ 8 บิต

ในรูปที่ 2.15 แสดงการเชื่อมต่อโมดูล LCD กับ CPU แบบ 8 บิต ขา D0-D7 ของโมดูล LCD เชื่อมต่อกับขา RD0-RD7 , ขา RS ต่อกับ RC0 และ E ต่อกับ RC1 ส่วนขา R/W ให้ต่อลงกราวด์ เพื่อให้แอลซีดีทำงานในลักษณะเขียนข้อมูลอย่างเดียว ในขณะที่ขา Vo ต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 k $\Omega$  เพื่อปรับความสว่างของจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงการต่อใช้งาน LCD แบบ 8 Bit Data

### ลำดับขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานโมดูล LCD

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมให้ จอแอลซีดี แสดงผลนั้น ในขั้นแรก จะต้องทำการกำหนดฟังก์ชันการทำงานต่างๆของแอลซีดีเสียก่อน หรือ เรียกว่าการ อินิเชียลแอลซีดี (Initial LCD) ซึ่งก็คือการเขียนข้อมูลคำสั่งไปยังรีจิสเตอร์คำสั่งภายใน โมดูล LCD เพื่อเตรียมความพร้อมให้แก่โมดูล LCD ซึ่งในการอินิเชียล LCD ก็คือ การ กำหนดให้แอลซีดีมีการทำงานในรูปแบบต่างๆ เช่น กำหนดตำแหน่งของเคอร์เซอร์มาอยู่ที่ จุดเริ่มต้นที่ตำแหน่งซ้ายมือสุด , เปิดจอแสดงผล , เปิด-ปิดเคอร์เซอร์ , กำหนดรูปแบบการ แสดงผลของตัวอักษร , กำหนดจำนวนบรรทัด และการกำหนดโหมดในการติดต่อ โดยใน การส่งข้อมูลไปยัง LCD จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชนิด คือ ข้อมูลคำสั่ง(Command) และ ข้อมูล ในการแสดงผล (Data) ซึ่งการส่งข้อมูลทั้งสองชนิดจะมีลำดับขั้นตอนเหมือนกันแต่ จะต่างกันตรง การกำหนดข้อมูลที่บิต RS เพื่อแยกชนิดของข้อมูลซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- การเขียนข้อมูลคำสั่งไปยังจอแอลซีดี

1. ทำให้ขา RS เป็น “0” เพื่อแจ้งให้โมดูล LCD ทราบว่า ข้อมูลที่ขา Data เป็นข้อมูลคำสั่ง
2. ส่งข้อมูลคำสั่งที่ต้องการไปยังขา Data ทั้ง 8 เส้น
3. ส่งพัลส์ Enable ไปยังขา E

- การเขียนข้อมูล (DATA) เพื่อแสดงผลข้อมูล

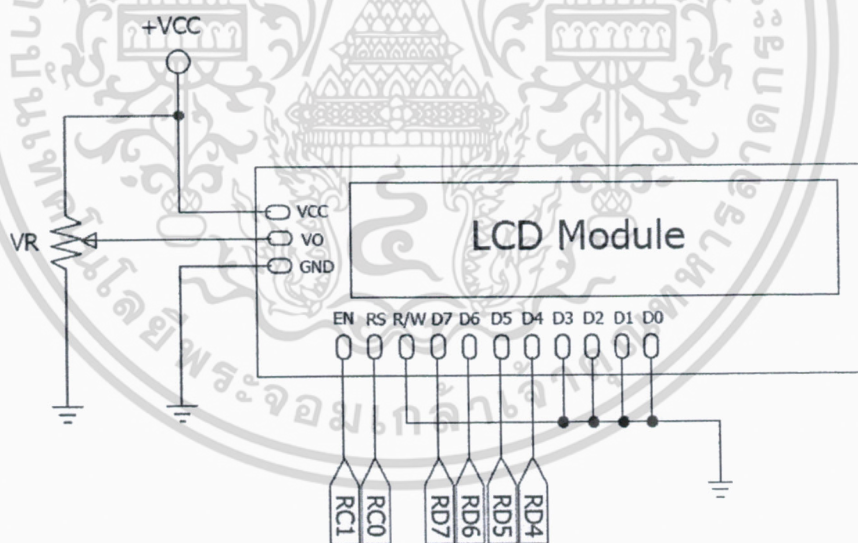
1. ทำให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้โมดูล LCD ทราบว่า ข้อมูลที่ขา DATA เป็นข้อมูลที่จะแสดงผล
2. เขียนข้อมูลที่ต้องการไปยังขา Data ทั้ง 8 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่งพัลส์ Enable ไปยังขา E ดังนั้นหากมีการเขียนคำสั่งสลับกับข้อมูล ต้องทำการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกที่ขา RS อย่างถูกต้องด้วย

#### การติดต่อแบบ 4 บิต

มีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าขาของข้อมูลที่ให้มีเพียง 4 เส้น คือ D4-D7 ซึ่งต่อเข้ากับ RD4-RD7 ของ CPU สำหรับขา D0-D3 ของโมดูล LCD ให้ต่อลงกราวด์ ส่วนขา RS ต่อเข้ากับ RC0 และ E ต่อเข้ากับ RC1 จุดที่แตกต่างจากการติดต่อแบบ 8 บิตในการเขียนโปรแกรมคือ ต้องทำการส่งข้อมูล 2 ครั้ง คือส่ง 4 บิตบนของข้อมูลก่อน จากนั้นจึงส่งข้อมูล 4 บิตล่างตามไป สำหรับการอินิเชียลนั้นมีสิ่งที่จะต้องทำก่อนเสมอ คือ ต้องส่งข้อมูล 03h (0011) ออกไปให้ LCD ที่ขา D7-D4 แล้ว ทำการส่งสัญญาณ Enable จำนวน 2 ครั้ง เพื่อจัดสถานะการทำงานของแอลซีดี จากนั้นส่งข้อมูลคำสั่ง 02h ออกไปที่ขา D7-D4 แล้ว Enable อีกเช่นกันเพื่อกำหนดให้แอลซีดีทำงานในโหมด 4 บิต เท่านั้นแอลซีดีก็พร้อมที่จะทำงานในโหมด 4 บิตแล้ว ส่วนการกำหนดค่าอื่นๆ สามารถทำต่อจากนี้ได้เลยแต่ต้องส่งข้อมูลในแบบ 4 บิต



รูปที่ 2.24 แสดงการเชื่อมต่อ LCD แบบ 4 Bit Data

• การเขียนข้อมูลคำสั่งไปยังจอแอลซีดี

1. ทำให้ขา RS เป็น “0” เพื่อแจ้งให้โมดูล LCD ทราบว่า ข้อมูลที่ขา DATA เป็นข้อมูลคำสั่ง

2. ส่งข้อมูลคำสั่ง 4 บิตบน ( บิต 7 → บิต 4 ) ที่ต้องการไปยังขา Data

ทั้ง 4 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่งพัลส์ Enable ไปยังขา E
4. ส่งข้อมูลคำสั่ง 4 บิตล่าง ( บิต 3 → บิต 0 ) ที่ต้องการไปยังขา Data

ทั้ง 4 เส้น

5. ส่งพัลส์ Enable ไปยังขา E

- การเขียนข้อมูล (DATA) เพื่อแสดงผลข้อมูล

1. ทำให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้โมดูล LCD ทราบว่า ข้อมูลที่ขา DATA เป็นข้อมูลในการแสดงผล

2. ส่งข้อมูล (Data) 4 บิตบน ( บิต 7 → บิต 4 ) ที่ต้องการไปยังขา Data

ทั้ง 4 เส้น

3. ส่งพัลส์ Enable ไปยังขา E

4. ส่งข้อมูล (Data) 4 บิตล่าง ( บิต 3 → บิต 0 ) ที่ต้องการไปยังขา Data

ทั้ง 4 เส้น

5. ส่งพัลส์ Enable ไปยังขา E

#### 2.5.5 คำสั่งในการควบคุมการทำงานของ LCD

- คำสั่งเคลียร์หน้าจอแสดงผล

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	0	1

ข้อมูลคำสั่งคือ 0x01 ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลคำสั่งนี้ไปยัง LCD จะเป็นการเขียนข้อมูลที่ เป็นช่องว่างเข้าไปยังหน่วยความจำ DDRAM ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้เก็บข้อมูลที่แสดงผลบน LCD จะทำให้จอแสดงผล LCD อยู่ในลักษณะจอแสดงผลว่างๆ หรือไม่แสดงผลใดๆ และจะทำให้เคอร์เซอร์กลับมาอยู่ ณ ตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล

\* DDRAM คือ หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลที่ จะแสดงผลบนจอแอลซีดี

- คำสั่ง Return Home

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	1	X

ข้อมูลคำสั่งคือ 0x02 หรือ 0x03 ก็ได้แต่นิยมใช้ 0x02 เป็นคำสั่งควบคุมให้เคอร์เซอร์ไปแสดงผลในตำแหน่งซ้ายสุดของจอ LCD ซึ่งข้อมูลที่แสดงผลอยู่นั้นจะไม่เปลี่ยนแปลง

\* X หมายถึง การกำหนดให้เป็นอะไรก็ได้ (don't Care)

• คำสั่งกำหนดโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode set)

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

I/D : เป็นบิตที่ใช้กำหนดการเพิ่มขึ้นหรือ ลดลงของแอดเดรสที่ใช้แสดงผล (DDRAM) หลังจากมีการเขียนข้อมูลเข้าไปแสดงผล

“0” = ลดแอดเดรสลงหนึ่ง

“1” = เพิ่มแอดเดรสขึ้นหนึ่ง

S : เป็นบิตใช้กำหนดรูปแบบการแสดงผล

“0” = เคอร์เซอร์เลื่อนไปทางขวามือเมื่อมีการเขียนตัวอักษรเข้ามาใหม่

“1” = เคอร์เซอร์อยู่ที่เดิม แต่ตัวอักษรเลื่อนไปทางซ้ายเมื่อมีการเขียนตัวอักษรเข้ามาใหม่

• คำสั่งควบคุมลักษณะการแสดงผลของจอแอลซีดี

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	D	C	B

เป็นคำสั่งในการกำหนดรูปแบบการทำงานของจอแอลซีดี ซึ่งมี 3 ส่วน

ดังนี้คือ

**D** : เป็นบิตที่ใช้กำหนดการปิดเปิดจอแสดงผลแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“0” = ปิดจอแสดงผล

“1” = เปิดจอแสดงผล

C : เป็นบิตที่ใช้ควบคุมการแสดงผลของเคอร์เซอร์

“0” = ไม่แสดงเคอร์เซอร์

“1” = แสดงเคอร์เซอร์

B : เป็นบิตที่ใช้กำหนดการแสดงผลตัวกระพริบของจอแสดงผลแอลซีดี

“0” = ไม่แสดงตัวกระพริบ

“1” = แสดงตัวกระพริบ

• คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์ และ ตัวอักษร

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	1	S/C	R/L	X	X

เป็นคำสั่งควบคุมการเลื่อนตำแหน่งเคอร์เซอร์และตัวอักษร โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

S/C : เป็นบิตที่ใช้กำหนดลักษณะของการเลื่อนว่าเป็นการเลื่อนเคอร์เซอร์หรือ เลื่อนตัวอักษร

“0” : เป็นการเลื่อนเคอร์เซอร์

“1” : เป็นการเลื่อนตัวอักษร

R/L : เป็นบิตที่ใช้กำหนดรูปแบบทิศทางการเลื่อนข้อมูล ไปทางขวา หรือ ซ้าย

“0” : เลื่อนซ้าย

“1” : เลื่อนขวา

\* บิต D0 และ D1 กำหนดเป็นอะไรก็ได้

• คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงานของแอลซีดี

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	1	DL	N	F	X	X

เป็นคำสั่งกำหนดฟังก์ชันในการทำงานต่างๆ ของแอลซีดี ซึ่งมีการกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

DL : เป็นบิตที่ใช้กำหนดโหมดของการติดต่อกับแอลซีดี

“0” = กำหนดการทำงานเป็น โหมด 4 บิต

“1” = กำหนดการทำงานเป็น โหมด 8 บิต

N : เป็นบิตที่ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดที่ต้องการแสดงผล

“0” = แสดงผลเป็น 1 บรรทัด

“1” = แสดงผลเป็น 2 บรรทัดขึ้นไป

F : = ใช้กำหนดความละเอียดของตัวอักษรที่ใช้แสดงผล

“0” = แสดงผลแบบ 5 x7 จุด

“1” = แสดงผลแบบ 5 x10 จุด

\* ในกรณีการกำหนดจำนวนบรรทัด หากใช้แอลซีดีรุ่น 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด ที่มีแอดเดรสไม่ต่อเนื่องกันจะต้องกำหนดให้บิต N เป็น “1” เสมือนกับการกำหนดให้แอลซีดีเป็นแบบ 2 บรรทัด เพื่อให้แอลซีดีมองเห็นแอดเดรสทั้งหมด

• คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	X	X	X	X	X	X

เป็นคำสั่งกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของ CGRAM ที่ต้องการติดต่อโดยจะต้องกำหนดให้บิต D7 เป็น “0” และ บิต D6 เป็น “1” ส่วนใน 6 บิตที่เหลือ D5 → D0 จะเป็นค่าตำแหน่งแอดเดรสของ CGRAM โดยในการติดต่อกับ CGRAM จะต้องมีการกำหนดแอดเดรสตรงนี้เสียก่อน

• คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	1	X	X	X	X	X	X	X

สามารถทำได้โดยกำหนดค่าที่ D7 เป็น “1” จากนั้นอีก 6 บิตที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ชิ่ง

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกวงจรเกือบ 100% จะต้องมีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้วงจร แต่แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่หาได้ง่ายที่สุด ก็คือ ขนาดแรงดันไฟ 220 V 50Hz ที่มีอยู่ตามอาคารบ้านเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจะมาศึกษาถึง การออกแบบแหล่งจ่ายไฟที่มีแหล่งกำเนิดมาจากไฟฟ้า 220V 50Hz ให้ตรงกับความต้องการในการใช้งานจริง

ข้อได้เปรียบของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ชิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น คือประสิทธิภาพที่สูง ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบากว่าแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ชิ่งอาศัยหลักการทำงานในลักษณะเปิด-ปิดเป็นช่วงๆอย่างต่อเนื่องของทรานซิสเตอร์ จึงทำให้เสียพลังงานน้อยกว่าแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น อย่างไรก็ตามแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ชิ่งจะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ต่ำกว่า และก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น รวมทั้งแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ชิ่งยังมีความซับซ้อนของวงจรมากกว่าและมีราคาสูง

### 2.6.1 พื้นฐานการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฟลายแบคเคอร์เวอเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.25 การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงานโดยนำกระแส (ON) และหยุดนำกระแส (OFF) สลับกันไป เมื่อ Q1 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดไฟโพรมารี่ ( $I_p$ ) แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดไฟโพรมารี่และขดเซคันดารีพันอยู่ในลักษณะกลับทิศกัน ดังนั้นในขณะที่ Q1 นำกระแส ไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับและไม่มีการไหลไปยังโหลด RL พลังงานจึงถูกสะสมอยู่ที่ขดลวดของหม้อแปลง เมื่อ Q1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดันที่ขดเซคันดารี ไดโอด D1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ที่ขดไฟโพรมารี่จะถูกถ่ายเทไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดตัวเก็บประจุเอาต์พุตได้