

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องสแกนตัวอักษร

Character Scanner



รฟ.
๕๓๒๑
๑๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72156
วัน,เดือน,ปี..... 11 ส.ย. 2550

b. ๑๑๕ ๕๑๑๑
i.

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสแกนตัวอักษร

Character Scanner

โดย

นาย ชัยวัฒน์ ศรีโลหะสิน 46010165 4C

นาย ธนวิษ เจริญชาศรี 46010282 4C

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. กิตติพล ชิตสกุล

รายงานสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

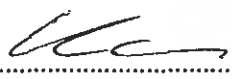
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการเรื่อง เครื่องสแกนตัวอักษร
(Character Scanner)

จัดทำโดย นาย ชัยวัฒน์ ศรีโลหะสิน รหัส 46010165 ชั้นปีที่ 4C
นาย ธนวิษ เจริญชาศรี รหัส 46010282 ชั้นปีที่ 4C

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กิติพล ชิตสกุล

รายงานฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ..........-อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. กิติพล ชิตสกุล) วันที่ ..8../..3../..50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสแกนตัวอักษร

นาย ชัยวัฒน์ ศรีโลหะสิน รหัส 46010165

นาย ธนวิษ เจริญชาศรี รหัส 46010282

ดร. กิตติพล ชิตสกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

รายงานนี้กล่าวถึงการศึกษาและสร้างอุปกรณ์ในการตรวจจับภาพของตัวอักษร โดยภาพของอักษรที่ได้จะถูกแบ่งออกเป็นข้อมูลทางดิจิทัลจำนวน 9 บิต ซึ่งในที่นี้จะใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษเป็นอินพุทของเซ็นเซอร์ แล้วส่งเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลข้อมูล แล้วทำการเปลี่ยนจากภาพตัวอักษรให้เป็นรหัสแอสกี (ASCII) โดยใช้วิธีการทางซอฟต์แวร์ แล้วจึงนำผลที่ได้มาแสดงผลผ่านทางจอหน้าแอลซีดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTER SCANNER

Mr. Chaiwat Srilohasin ID.46010165

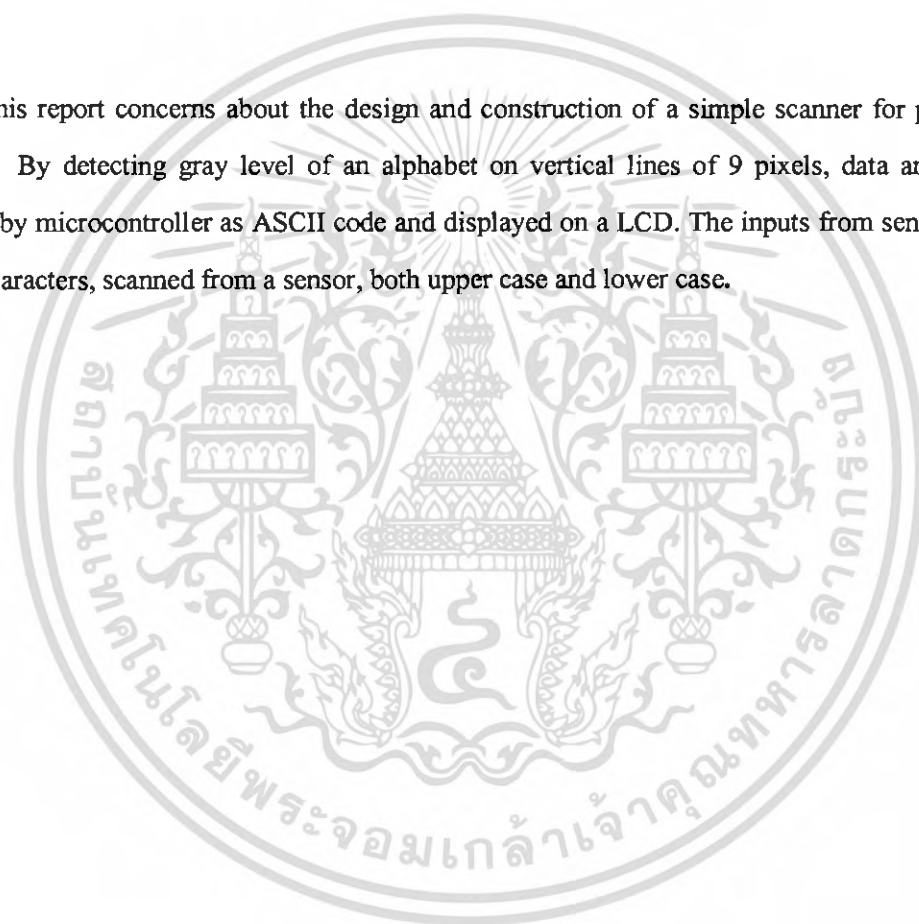
Mr. Thanawat Jaroenchasri ID.46010282

Dr. Kitiphol Chitsakul (Advisor)

2st Semester, Education year 2006

Abstract

This report concerns about the design and construction of a simple scanner for printed alphabets. By detecting gray level of an alphabet on vertical lines of 9 pixels, data are then processed by microcontroller as ASCII code and displayed on a LCD. The inputs from sensor are English characters, scanned from a sensor, both upper case and lower case.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

อาจารย์ กิตติพล ชิตสกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่คอยสอน และชี้ให้เห็นจุดบกพร่องของงาน ให้คำปรึกษา ทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์การทดลอง ตลอดจนการทำโครงการเครื่องสแกนตัวอักษรนี้ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งบอร์ด ARM7) ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่จะต้องเสียลงไปได้มาก

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่เอื้อเพื่อห้องคอมพิวเตอร์ให้ได้พิมพ์รายงานฉบับนี้โดยตลอด จนถึงการพิมพ์ลงบนกระดาษเป็นรูปเล่มเสร็จสมบูรณ์

คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยห่วง ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานและตารางเวลาในการทำงาน สนับสนุนด้านการเงิน และเพื่อนๆ หลายคนที่มีส่วนช่วยเหลือในด้านคำปรึกษา ไม่ว่าจะเป็นการแก้ปัญหา สอนใช้โปรแกรม หรือให้แหล่งที่ค้นหาข้อมูล

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในโครงการนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

..... ชัยวัฒน์ ศรีโทะสิน

(นาย ชัยวัฒน์ ศรีโทะสิน)

..... ธนวิทย์ เจริญชาติศรี

(นาย ธนวิทย์ เจริญชาติศรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

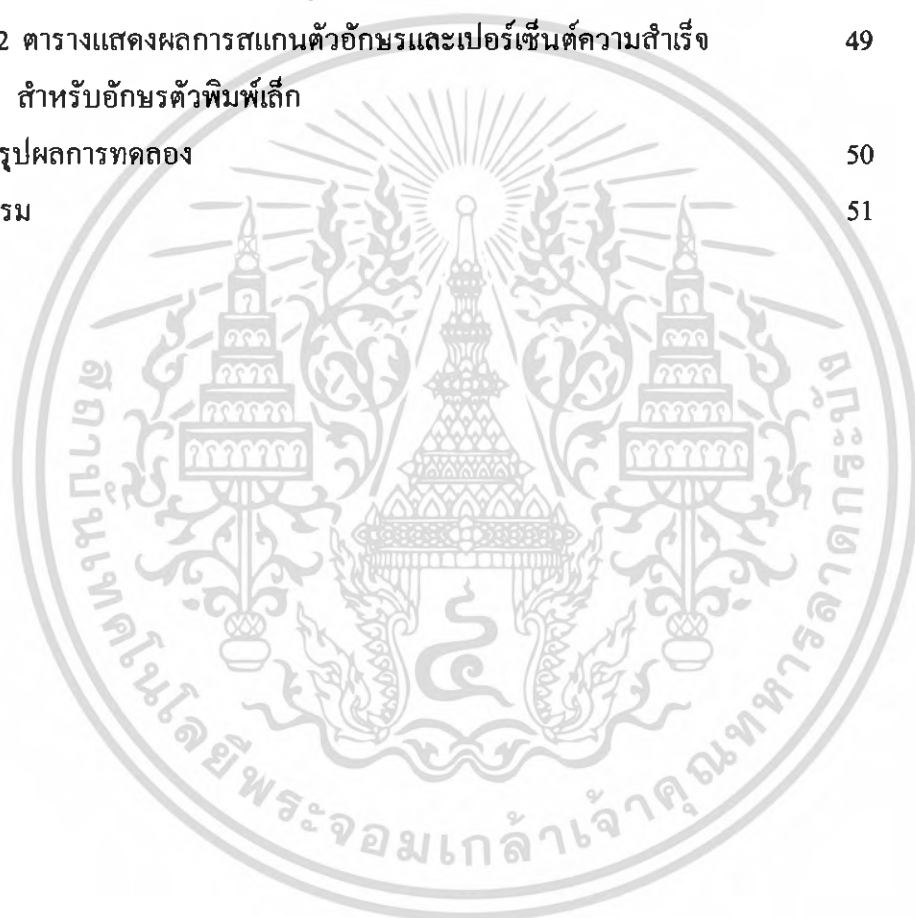
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
	1.2 แนวคิดของโครงการ	1
	1.3 โครงสร้างของรายงาน	1
บทที่ 2	หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	3
	2.1.1 การพิจารณาแรงดัน อินพุต	3
	2.1.2 อินพุต-เอาต์พุต characteristic	4
	2.1.3 Open-loop comparators	5
	2.1.3.1 Noninverting Comparator	5
	2.1.3.2 Inverting comparator	6
	2.1.4 Changing the Transition Level	7
	2.1.4.1 Noninverting Comparator with Positive Bias	7
	2.1.4.2 Inverting Comparator with Negative Bias	8
	2.1.5 Waveshaping	9
	2.1.6 Comparator with Positive Feedback	9
	2.1.7 Effect of noise on comparator circuit	9
	2.1.8 Positive Feedback	11
	2.1.8.1 Upper-Threshold Voltage	11
	2.1.8.2 Lower-Threshold voltage	12
	2.1.9 Zero-Crossing Detector with Hysteresis	12
	2.1.9.1 Defining Hysteresis	12
	2.1.9.2 Zero-Crossing Detector with Hysteresis as a Memory Element	13
	2.1.10 Voltage-level detector with hysteresis	14
	2.1.10.1 Noninverting Voltage-Level Detector with Hysteresis	15
	2.1.10.2 Inverting Voltage --Level detector with Hysteresis	16
	2.1.11 Voltage level detector with independent adjustment of hysteresis and center voltage	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 LDR ตัวต้านทานไวแสง	19
2.2.1 โครงสร้าง	20
2.2.2 สมบัติทางแสง	20
2.2.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า	22
2.3 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)	23
2.3.1 Optical fiber สามารถส่งผ่านแสงได้อย่างไร	23
2.3.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	25
2.3.3 ใยแก้วนำแสง : เทคโนโลยีการสื่อสารไร้พรมแดน	25
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 (LPC2119)	25
2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์	25
2.4.2 การออกแบบชุดคำสั่ง	28
2.4.3 การทำงาน (Pipeline)	28
2.4.4 รีจิสเตอร์	29
2.4.5 รีจิสเตอร์เก็บสถานการณ์ทำงาน	30
2.4.6 ภาวะผิดปกติ	31
2.5 เครื่องจำอักขระด้วยแสง OCR	33
2.5.1 การรู้จำตัวอักษรแบบออนไลน์	34
2.5.2 การรู้จำตัวอักษรแบบออฟไลน์	35
2.5.2.1 ตัวอักษรโคด	35
2.5.2.1.1 การรู้จำตัวพิมพ์แบบฟอนต์เฉพาะ	35
2.5.2.1.2 การรู้จำลายมือเขียนแบบตัวโคด	36
2.5.2.2 การรู้จำลายมือแบบเขียนต่อเนื่อง	36
2.5.3 ขบวนการประมวลผลขั้นต้น	37
2.5.3.1 การกรองข้อมูลแทรกซ้อน	37
2.5.3.2 การปรับแต่งข้อมูล	37
2.5.3.3 การตัดแบ่งพื้นที่ใช้งาน	37
2.5.3.4 การสกัดลักษณะสำคัญ	38
2.5.4 การรู้จำ (Recognition)	38
2.5.4.1 วิธีการเข้ารหัสรูปแบบ	38
2.5.4.2 วิธีการสถิติ	39
2.5.4.3 วิธีการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง	39
2.5.5 ขบวนการประมวลผลขั้นปลาย	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	41
3.1 เซ็นเซอร์	42
3.2 ส่วนแปลงระดับสัญญาณ	43
3.3 ส่วนประมวลผลสัญญาณ	44
3.4 ส่วนแสดงค่าตัวอักษร	47
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	48
4.1 ตารางแสดงผลการสแกนตัวอักษรและเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จ สำหรับอักษรตัวพิมพ์ใหญ่	48
4.2 ตารางแสดงผลการสแกนตัวอักษรและเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จ สำหรับอักษรตัวพิมพ์เล็ก	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง บรรณานุกรม	50 51



สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 วงจร noninverting amplifier (ซ้าย) และกราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic curve (ขวา)	4
รูปที่ 2.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบไม่กลับเฟส(ซ้าย) และ อินพุต-เอาต์พุต และ characteristic curve(ขวา)	6
รูปที่ 2.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส(ซ้าย) และ อินพุต-เอาต์พุต characteristic curve (ขวา)	7
รูปที่ 2.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบไม่กลับเฟสที่มี DC bias(ซ้าย) และกราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic(ขวา)	8
รูปที่ 2.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟสที่มี Negative bias(ซ้าย) และ กราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic(ขวา)	8
รูปที่ 2.6 Inverting zero-crossing detector	10
รูปที่ 2.7 ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดกับวงจร Zero-crossing detector	10
รูปที่ 2.8 R_1 , R_2 และแรงดันอ้างอิงที่เกิดจาก เอาต์พุต ถูกป้อนกลับมายัง อินพุต ขาววอก	11
รูปที่ 2.9 กราฟระหว่าง V_o และ V_i แสดงช่วงแรงดัน hysteresis ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	13
รูปที่ 2.10 กราฟ hysteresis ที่มี V_{ref} อยู่กึ่งกลางระหว่าง V_{LT} และ V_{UT}	14
รูปที่ 2.11 วงจร Noninverting voltage-level detector ที่มี hysteresis	15
รูปที่ 2.12 วงจร Inverting voltage-level detector ที่มี hysteresis	17
รูปที่ 2.13 วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่สามารถปรับค่าของแรงดัน hysteresis(V_H) และ แรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน และกราฟการตอบสนอง	18
รูปที่ 2.14 LDR	19
รูปที่ 2.15 โครงสร้าง LDR	20
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน	21
รูปที่ 2.17 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	22

รูปที่ 2.18 ภาพ Fiber Optics	23
รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบของ Optical fiber	23
รูปที่ 2.20 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสง ที่เดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	24
รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมของ ARM7	27
รูปที่ 2.22 แสดงไปป์ไลน์ของ ARM7	28
รูปที่ 2.23 แสดงการถ่ายโอน/แลกเปลี่ยนข้อมูลภายใน ARM7	30
รูปที่ 2.24 รีจิสเตอร์เก็บสถานะการทำงาน	31
รูปที่ 2.25 สถานะของแอดเดรสเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ	32
รูปที่ 2.26 แสดงสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7	33
รูปที่ 2.27 Block Diagram แสดงองค์ประกอบของ ไอซีอาร์	34
รูปที่ 2.28 อุปกรณ์รู้จำแบบออนไลน์	35
รูปที่ 2.29 โครงสร้างทั่วไปของระบบ ไอซีอาร์	36
รูปที่ 3.1 ไฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของเครื่องสแกนตัวอักษร	41
รูปที่ 3.2 วงจรของเครื่องสแกนตัวอักษรในรูปแบบ Block Diagram	42
รูปที่ 3.3 วงจรที่อยู่ภายในของตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยชุดของแอลดีอาร์ และหลอดแอลอีดี	43
รูปที่ 3.4 วงจรแปลงระดับสัญญาณที่ใช้วงจร Schmitt Trigger เพื่อเปลี่ยนสัญญาณจากเซ็นเซอร์ให้อยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล	43
รูปที่ 3.5 ลักษณะตัวอย่างข้อมูลของตัวอักษรที่ได้รับ	44
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเปรียบเทียบอินพุตและข้อมูลค้นแบบ	45
รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานในส่วนของโปรแกรม	46
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟ ส่วนประมวลผลด้วย ARM-7 และส่วนแสดงผลด้วย LCD	47

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในการทดสอบตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่	48
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองในการทดสอบตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

โดยทั่วไป การสแกนตัวอักษร จะต้องใช้เครื่องสแกนที่มีขนาดใหญ่ และสแกนพร้อมกันทั้งหน้าของเอกสารนั้นๆ แต่ถ้ามีเครื่องสแกนที่มีขนาดเล็ก และสามารถเลือกสแกนบางส่วนของเอกสารได้ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง เช่น เครื่องอ่านฉลากยา หรือข้อความต่างๆ ที่จะอ่านออกเสียงข้อความที่ถูกสแกนให้คนตาบอดฟัง, นำไปใช้สแกนข้อความต่างๆ เพื่อเปลี่ยนเป็นตัวอักษรแล้วส่งเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มความรวดเร็วให้งานพิมพ์ หรือเพื่อการค้นหาข้อมูลในเรื่องนั้นๆ จากภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือจากอินเทอร์เน็ตก็ตาม ซึ่งจะเห็นว่าเครื่องสแกนตัวอักษรนี้ เป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โครงการนี้จึงได้สร้างอุปกรณ์การสแกนในส่วนของเซ็นเซอร์และตัวประมวลผล ที่ใช้สแกนตัวอักษรแล้วแสดงผลออกทางจอแอลซีดี เพื่อเป็นฐานที่จะสามารถนำไปพัฒนา และประยุกต์เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อื่นๆต่อไปได้

1.2 แนวคิดของโครงการ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องสแกนตัวอักษร ซึ่งจะต้องมีส่วนที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของเซ็นเซอร์ที่จะรับภาพของตัวอักษร และส่วนของตัวประมวลผลที่ใช้แปลงภาพที่ได้ให้เป็นตัวอักษร ซึ่งเครื่องสแกนตัวอักษรนี้ใช้หลักการที่ได้กล่าวไปแล้วนี้ ในการทำงาน โดยเซ็นเซอร์จะทำการแยกความแตกต่างของสีขาวและสีดำ แล้วส่งสัญญาณในรูปของข้อมูลดิจิทัลเพื่อผ่านการประมวลผลด้วยการสุ่มตัวอย่างตามตำแหน่งต่างๆ ของตัวอักษร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการระบุว่าเป็นตัวอักษรใด

1.3 โครงสร้างของรายงาน

ในรายงานฉบับนี้ จะเป็นการกล่าวถึงการสร้างเครื่องสแกนตัวอักษร ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. ส่วนที่ใช้สแกนเพื่อรับภาพของตัวอักษรเข้าเครื่อง
2. ส่วนโปรแกรมประมวลผลที่ใช้ตรวจสอบว่าภาพที่ได้รับเข้ามาเป็นอักษรใด

โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังนี้

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน รวมไปถึงหลักการที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเซ็นเซอร์ และวงจรต่างๆ

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงการออกแบบ, การสร้าง และคำนวณค่าต่างๆ ที่ใช้ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงผลการทดลอง เมื่อวัดความสามารถในการเทียบหาชนิดของตัวอักษรจากคำอินพุตที่ได้รับเข้ามาจากการใช้อินพุตจำลอง

บทที่ 5 เป็นการกล่าวถึง สรุปและวิเคราะห์ ว่าวงจรที่ทำการออกแบบ เมื่อนำมาสร้างแล้วผลที่ได้เป็นอย่างไร น่าพึงพอใจหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์การทำงาน และการออกแบบวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เราจะพิจารณาการทำงานในลักษณะของวงจร ไม่เชิงเส้นพื้นฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่สร้างสัญญาณเอาต์พุตที่ไม่ต่อเนื่อง 2 สัญญาณ หรือมากกว่า ซึ่งสัญญาณแต่ละอันจะขึ้นอยู่กับระดับของสัญญาณอินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันทั่วไปเกือบทั้งหมดมีระดับสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นไปได้ 2 ระดับ

วงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในการประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการเลือกจำนวนของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ของวงจรที่เป็นเงื่อนไข โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะสร้างสัญญาณเอาต์พุตที่ไม่ต่อเนื่อง 2 สัญญาณ หรือมากกว่า ซึ่งสัญญาณแต่ละอันจะขึ้นอยู่กับระดับของสัญญาณอินพุตเกือบทั้งหมดของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยทั่วไปมีระดับสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นไปได้ 2 ระดับ นอกจากนี้ ในวงจร analog วงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ถูกนำไปใช้งานเป็นเสมือนกุญแจสำหรับระบบแปลงสัญญาณ analog-to-digital และ digital-to-analog และวงจรเปรียบเทียบแรงดันยังถูกนำไปประยุกต์ใช้งานเป็น oscillator และ waveform generation อีกด้วย

ในที่นี้เราจะนำ general-purpose Op-amp มาใช้งานเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งก็เพียงพอสำหรับงานที่ไม่ต้องการใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีประสิทธิภาพสูงมากนัก แต่ก็เพียงพอสำหรับงานนี้

2.1.1 การพิจารณาแรงดันอินพุต

วงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นตัวอย่างหนึ่งของวงจรที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งวงจรรูปแบบนี้จะไม่มีการป้อนกลับแบบลบ และภายใต้เงื่อนไขนี้ แรงดันที่ขาอินพุตทั้งสองของ op-amp อาจมีค่าแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ในบางวงจรอาจไม่มีป้อนกลับเลย แต่ในบางวงจรอาจมีการใช้เงื่อนไขของการป้อนกลับแบบลบเข้าช่วยเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่มีความแน่นอน ไม่ว่าจะป้อนกลับแบบลบเข้าช่วยเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่มีความแน่นอน ไม่ว่าจะป้อนกลับแบบลบเข้าช่วยเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่มีความแน่นอน ไม่ว่าจะป้อนกลับแบบลบเข้าช่วยเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่มีความแน่นอน

ในวงจร ไม่เชิงเส้นสัญญาณ เอาต์พุต ที่ได้ อาจเป็นสถานะอิมพัลส์สถานะใดสถานะหนึ่ง (v_{out} หรือ v_{sat}) แต่ถ้าวงจรมีการใช้การป้อนกลับแบบลบจะไม่สามารถทำงานในรูปแบบที่ เอาต์พุต อยู่ในเงื่อนไขสถานะอิมพัลส์ได้ และเมื่อแรงดัน อินพุต ทั้ง 2 ขา ของ op-amp มีค่าไม่เท่ากัน ก็จำเป็นที่จะต้องพิจารณาค่าสูงสุดของ differential อินพุต voltage (เช่นเดียวกับที่พิจารณาแรงดันของแต่ละเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

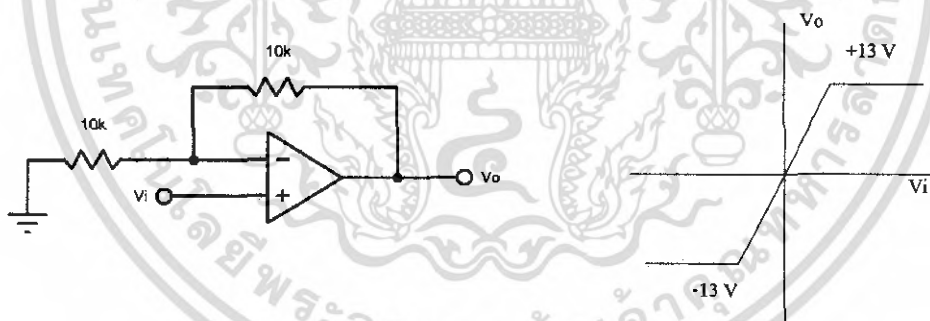
อินพุต) เพื่อคาดเดาถึงผลที่จะได้รับจากวงจรเพื่อที่จะมั่นใจได้ว่า op-amp ที่เลือกนั้นเพียงพอต่อการใช้งาน

2.1.2 อินพุต-เอาต์พุต characteristic

วงจรใดๆ ที่ทำงานในรูปแบบของสัญญาณ อินพุต เดียว และ สัญญาณ เอาต์พุต เดียว สามารถอธิบายเป็นรูปได้โดยใช้ อินพุต-เอาต์พุต characteristic curve ซึ่งกราฟนี้จะแสดงค่าของสัญญาณเอาต์พุต ที่ค่าใดๆ ของสัญญาณอินพุตสำหรับวงจรขยายแบบเชิงเส้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของอินพุต-เอาต์พุต ได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย การอธิบายด้วยรูปภาพจึงเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น แต่อย่างไรก็ตามการใช้รูปภาพนี้ มีประโยชน์อย่างมากในการอธิบายความสัมพันธ์ของอินพุต-เอาต์พุต ในวงจรที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นทางเดียวที่จะอธิบายการทำงานของวงจร

แนวคิดของอินพุต-เอาต์พุต characteristic สามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยวงจรขยายไม่กลับเฟสที่มีอัตราขยายต่ำดังรูปที่ 1 ซึ่งอัตราขยายของวงจรคือ $A_{CL} = 1 + 10\text{ k}\Omega / 10\text{ k}\Omega = 1 + 1 = 2$ ดังนั้นช่วงของแรงดันเอาต์พุต จะแสดงในรูปของแรงดันอินพุต (V_i) ได้เป็น

$$V_o = 2V_i \quad (1)$$



รูปที่ 2.1 วงจร noninverting amplifier (ซ้าย) และกราฟอินพุต-เอาต์พุต characteristic curve (ขวา)

จากกราฟได้แสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน V_i เป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น และพิจารณา V_o เป็นตัวแปรตาม ความชันของกราฟในช่วงที่เป็นเชิงเส้น คือ อัตราขยายของวงจร ซึ่งถ้าแรงดันอินพุต ถึงระดับประมาณ $+6.5\text{ V}$ หรือ -6.5 V จะทำให้ op-amp เข้าสู่ภาวะอิ่มตัวและที่จุดนั้น แรงดันเอาต์พุต จะมีค่าประมาณ $+13\text{ V}$ หรือ -13 V ตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตตามลำดับ

วงจรไม่เชิงเส้นหลายๆ วงจรจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันหรือการกระโดดเกิดขึ้นบนช่วงความชันของกราฟ ซึ่งเป็นการยากที่จะอธิบายออกมาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์หรือบางวงจรไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ทั้งหมด

2.1.3 Open-loop comparators

รูปแบบของวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ง่ายที่สุดเป็นแบบที่ไม่มีการใช้การป้อนกลับ ซึ่งเรียกว่า “open-loop comparators” และวงจรที่มีอย่างน้อยหนึ่งเงื่อนไขที่ทำให้เอาต์พุต เกิดสถานะอิ่มตัวจะถูกเรียกว่า “saturating circuits” วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ทำงานที่สถานะอิ่มตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าจึงอาจนำไปใช้งานได้ไม่กว้างขวางนัก แต่ด้วยการใช้วิธีการ clamping ที่หลากหลาย เราจะสามารถจำกัดแรงดันให้อยู่ได้ระดับอิ่มตัวได้ ทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงระดับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ วงจรประเภทนี้จะเรียกว่า “nonsaturating circuits”

วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบ open-loop ที่เราจะทำการพิจารณากันในที่นี้เป็นแบบอิ่มตัวมีเอาต์พุต ที่เป็นไปได้คืออยู่ 2 ระดับ คือ $V_o = +V_{sat}$ และ $V_o = -V_{sat}$ โดยการสมมติวงจรให้อยู่ในเงื่อนไขที่สมมาตร

วงจรเปรียบเทียบแรงดันอาจถูกแบ่งเป็นแบบ noninverting และ inverting ถ้าเอาต์พุตถูกสมมติให้เป็น high เมื่ออินพุตอยู่เหนือระดับของ transition level จะพิจารณาว่าวงจรนี้เป็น noninverting แต่ถ้าเอาต์พุตเป็น low เมื่ออินพุตอยู่เหนือระดับของ transition level จะพิจารณาว่าวงจรนี้เป็น inverting

2.1.3.1 Noninverting Comparator

วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบ open-loop ที่ง่ายที่สุด คือ แบบ noninverting saturation ดังรูปที่ 2 (ซ้าย) สัญญาณอินพุตจะเข้าทางขาบวก ในขณะที่ขาลบต่อลง ground ถ้า $V_i > 0$ differential อินพุต voltage และเอาต์พุตจะเป็น high ทั้งคู่ เนื่องจากผลของอัตราขยาย open-loop ซึ่งมีค่าสูงมากทำให้แรงดัน อินพุต เพียงระดับ microvolt สามารถทำให้เกิด เอาต์พุต ที่อิ่มตัวได้ เช่น ถ้า $V_{sat} = 13\text{ V}$ และ $A_d = 200,000$ จะต้องการแรงดันที่เป็นบวกเพียง $65\mu\text{V}$ ก็จะสามารถทำให้เกิด เอาต์พุต ที่อิ่มตัวได้

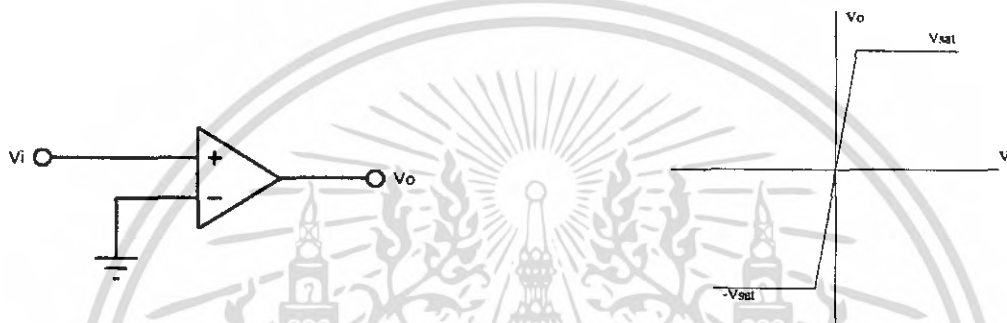
ในทางปฏิบัติ จุด transition ในวงจรนี้ถูกสมมติให้อยู่ที่ 0 V เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้คือ

$$V_o = V_{sat} \quad \text{เมื่อ } v_i > 0 \quad (2)$$

$$V_o = -V_{sat} \quad \text{เมื่อ } v_i < 0 \quad (3)$$

ซึ่งเป็นที่เข้าใจกันว่าวงจรต้องการแรงดัน อินพุต เพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพื่อที่จะทำให้เอาต์พุต เข้าสู่สถานะอิ่มตัว

กราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic curve แสดงดังรูปที่ 2 (ขวา) จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ถ้า V_i เป็นบวกแม้เพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้เกิดแรงดัน เอาต์พุต คงที่ที่ระดับอิ่มตัว ($+V_{sat}$) การทำงานในช่วงนี้อยู่ใน quadrant แรกของระบบพิกัด ($V_i > 0, V_o > 0$) ในทางกลับกันถ้า V_i มีค่าเป็นลบเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ V_o เปลี่ยนค่าเป็น $-V_{sat}$ ซึ่งการทำงานในช่วงนี้อยู่ใน quadrant ที่ 3 ของระบบพิกัด ($V_i < 0, V_o < 0$) ซึ่งเห็นจะได้ว่ากราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic มีความสอดคล้องกับสมการที่ (2) และ สมการที่ (3)



รูปที่ 2.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบไม่กลับเฟส(ซ้ำ) และ อินพุต-เอาต์พุต และ characteristic curve (ขวา)

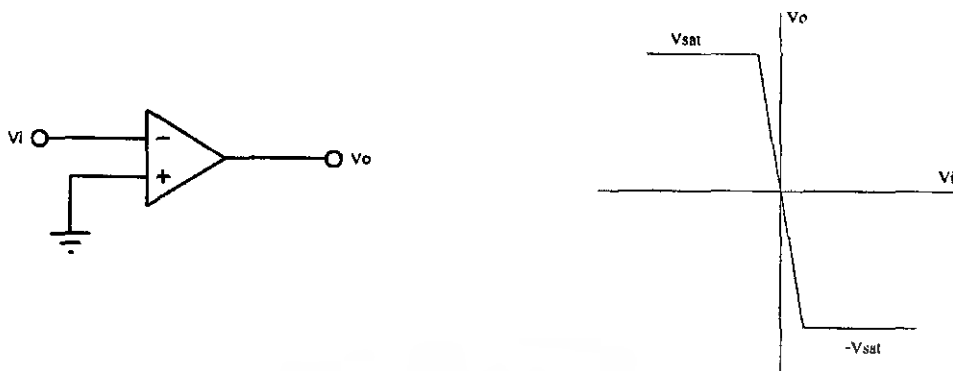
2.1.3.2 Inverting comparator

จากวงจรพื้นฐานวงจรเดิมสามารถแปลงเป็นวงจร inverting ได้โดยการต่อ ground เข้ากับขาบวกและป้อนสัญญาณเข้าที่ขาลบแทน (ดังรูปที่ 3) ซึ่งหลักการทำงานต่างๆ ก็จะเหมือนกับที่ได้อธิบายไปแล้ว ยกเว้นแต่ว่าเมื่อป้อนสัญญาณ อินพุต ที่เป็นบวก จะได้สัญญาณ เอาต์พุต ที่เป็นลบ และในทางตรงข้าม ถ้าป้อนสัญญาณ อินพุต ที่เป็นลบจะได้สัญญาณ เอาต์พุต ที่เป็นบวก ในกรณีนี้ จะสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$V_o = V_{sat} \quad \text{เมื่อ } V_i < 0 \quad (4)$$

$$V_o = -V_{sat} \quad \text{เมื่อ } V_i > 0 \quad (5)$$

และจากกราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic จะเห็นได้ว่าวงจรนี้มีการทำงานในช่วงของ quadrant ที่ 2 ($V_i < 0, V_o > 0$) และ quadrant ที่ 4 ($V_i > 0, V_o < 0$)



รูปที่ 2.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส(ซ้าย) และ อินพุต-เอาต์พุต characteristic curve (ขวา)

2.1.4 Changing the Transition Level

หลังจากที่ได้พิจารณาวงจรเปรียบเทียบแรงดัน 2 วงจรที่มี transition point อยู่ที่จุด 0 V แล้ว ถัดไปเราจะทำการให้ DC Bias กับแต่ละ อินพุต ของวงจร ซึ่งจะเป็นการกำหนด transition point ไว้ที่แรงดันค่าใดค่าหนึ่ง ขึ้นอยู่กับขั้วของแรงดัน bias และขา อินพุต ที่ได้รับ bias ของ op-amp ซึ่งในที่นี่จะแสดงการ bias 2 รูปแบบ

การวิเคราะห์จะใช้คุณสมบัติที่สำคัญ 2 ข้อ คือ

1. เมื่อ differential voltage V_d เป็นบวก จะสมมติให้ เอาต์พุต เป็นสถานะ high นั่นคือ $V_o = +V_{sat}$
2. เมื่อ differential voltage V_d เป็นลบ จะสมมติให้ เอาต์พุต เป็นสถานะ low นั่นคือ $V_o = -V_{sat}$

- ในที่นี้เราจะ ไม่คิดผลของบริเวณ transition voltage ระหว่างสภาวะซึ่งมีค่าน้อย

เมื่อ $V_d = V_+ = V_-$ หมายความว่า ถ้าแรงดันที่ขาบวก(noninverting อินพุต) มีค่ามากกว่า แรงดันที่ขาลบ(inverting อินพุต) จะทำให้แรงดันที่ เอาต์พุต มีสภาวะเป็น high ในทางกลับกัน ถ้าแรงดัน อินพุต ที่ขาบวก มีค่าน้อยกว่าที่ขาลบ จะทำให้แรงดันที่ เอาต์พุต มีสภาวะเป็น low

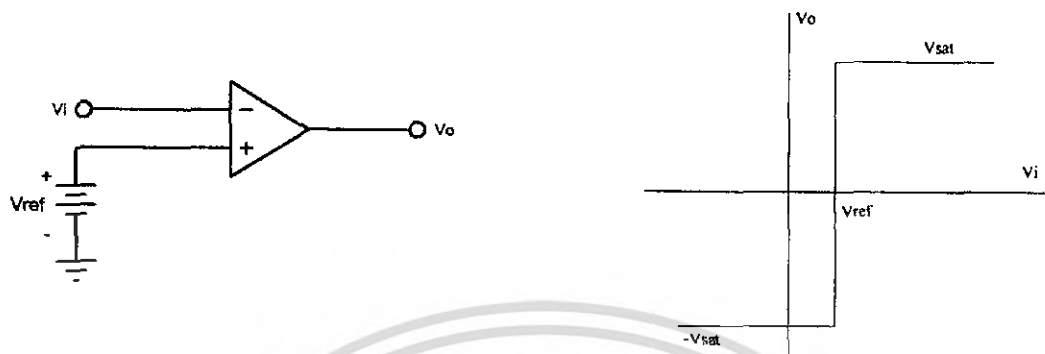
2.1.4.1 Noninverting Comparator with Positive Bias

เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 4 ซึ่งมีการป้อน positive bias ให้กับขาลบ และป้อนสัญญาณ อินพุต ให้กับขาบวก เมื่อระดับสัญญาณมีค่าต่ำกว่าระดับ positive bias จะทำให้ differential voltage มีค่าเป็นลบ และได้ เอาต์พุต ที่มีค่าเป็น $-V_{sat}$ ในทางกลับกันถ้าระดับสัญญาณมีค่าสูงกว่าระดับ อ้างอิง จะทำให้ differential voltage มีค่าเป็นบวก และได้ เอาต์พุต ที่เป็น $+V_{sat}$ ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = -V_{sat} \quad \text{เมื่อ } V_i < V_{ref} \quad (6)$$

$$V_o = V_{sat} \quad \text{เมื่อ } V_i > V_{ref} \quad (7)$$



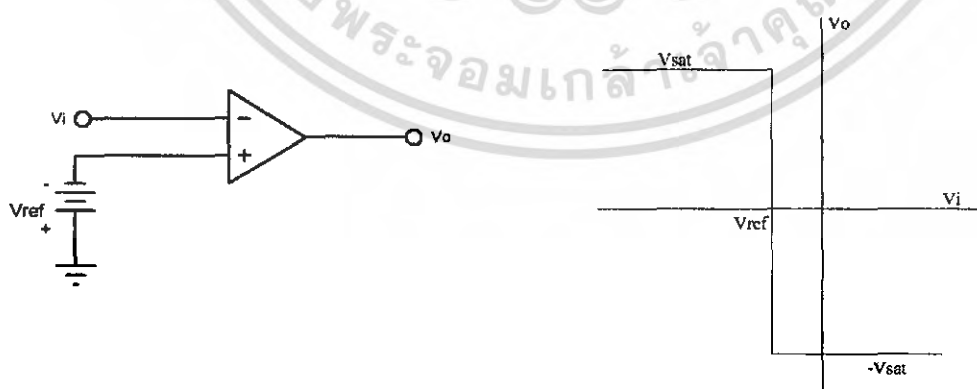
รูปที่ 2.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบไม่กลับเฟสที่มี DC bias(ซ้าย) และกราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic (ขวา)

2.1.4.2 Inverting Comparator with Negative Bias

วงจรมีลักษณะที่ตรงข้ามกับวงจรที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 5 ในกรณีนี้เมื่อแรงดัน negative bias ถูกป้อนเข้าทางขาบวก และสัญญาณ อินพุต ถูกป้อนเข้าทางขาลบ เมื่อสัญญาณมีความเป็นลบมากกว่าแรงดัน bias จะทำให้แรงดัน differential voltage มีค่าเป็นบวก จึงได้ เอาต์พุต ที่เป็น $+V_{sat}$ แต่ในทางกลับกัน ถ้าระดับสัญญาณ อินพุต มีความเป็นบวกมากกว่าระดับแรงดัน bias จะทำให้ differential voltage มีค่าเป็นลบ จึงได้ เอาต์พุต เป็น $-V_{sat}$ เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$V_o = V_{sat} \quad \text{เมื่อ } V_i < -V_{ref} \quad (8)$$

$$V_o = -V_{sat} \quad \text{เมื่อ } V_i > -V_{ref} \quad (9)$$



รูปที่ 2.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟสที่มี Negative bias(ซ้าย) และ กราฟ อินพุต-เอาต์พุต characteristic(ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 Waveshaping

วงจรเปรียบเทียบแรงดันสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวงจรแปลงรูปสัญญาณได้ เช่น เมื่อสัญญาณใดๆ ที่มีลักษณะเป็นคาบ เช่น sinusoid หรือสัญญาณสามเหลี่ยม ผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม หรือ pulse train

แต่วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ถูกใช้ในการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมก็มักจะถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนและลดคุณภาพของสัญญาณลง โดยระบบการส่งข้อมูล เพื่อต้องการให้วงจรแปลงรูปสัญญาณ(จากจุดตัดผ่านศูนย์) ได้ถูกต้อง จึงได้มีการสร้างวงจรรูปแบบใหม่ที่สัญญาณรบกวนไม่มีผลต่อสัญญาณข้อมูลขึ้น

2.1.6 Comparator with Positive Feedback

เนื้อหาในส่วนนี้ เป็นเรื่องของวงจรเปรียบเทียบระดับสัญญาณที่มี positive feedback ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในชื่อของวงจร “Schmitt Trigger” การใส่ positive feedback ลงไปในวงจรทำให้เกิดผลที่เรียกว่า “Hysteresis” ซึ่ง hysteresis เป็นปรากฏการณ์ที่ transition point ของแรงดัน อินพุต มีการเปลี่ยนที่ เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจาก high เป็น low หรือ เปลี่ยนสถานะจาก low เป็น high หรือพูดอีกอย่างก็คือกระบวนการเปลี่ยนสภาวะมีความไวต่อทิศทาง(direction-sensitive) ของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ

สิ่งที่ได้จากกระบวนการนี้คือ

1. ลดโอกาสความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนสถานะ โดยไม่พึงปรารถนาที่เกิดจาก spurious noise ด้วยการใส่ hysteresis
2. กระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะจะถูกควบคุมโดย positive feedback ในวงจร Schmitt Trigger ผลของ hysteresis จึงถูกนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์กับการแปลงรูปสัญญาณ

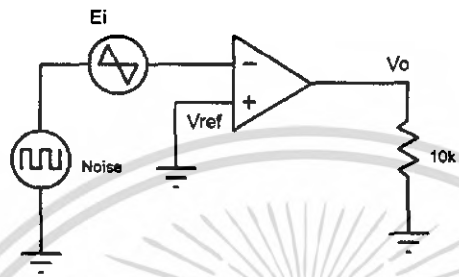
2.1.7 Effect of noise on comparator circuit

จากรูปที่ 6 สัญญาณ อินพุต V_i ถูกป้อนเข้าที่ขาลบของ op-amp ถ้าไม่มีสัญญาณรบกวนวงจรนี้จะตรวจจับการตัดผ่านศูนย์(zero-crossing) ของสัญญาณ อินพุต เพราะ $V_{ref} = 0$

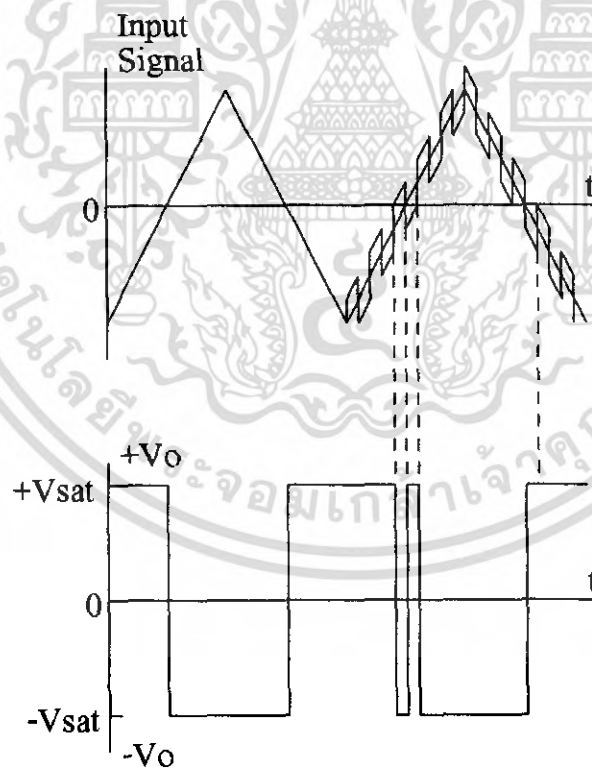
เมื่อมีสัญญาณรบกวน(สมมติให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อความง่าย) ปนมากับสัญญาณ V_i จะเกิดผลดังรูปที่ 6 ซึ่งจากรูปได้มีการเปรียบเทียบให้เห็นทั้งสัญญาณ อินพุต ที่มีสัญญาณรบกวน และไม่มีสัญญาณรบกวนซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าสัญญาณรบกวนทำให้สัญญาณ เอาต์พุต เกิดความผิดพลาดหรือมีรูปแบบที่ไม่ถูกต้องตามการเปลี่ยนแปลงของ อินพุต เนื่องจากสัญญาณที่เราต้องการ

คือ เอาต์พุต ที่เกิดจากการตัดผ่านจุดศูนย์ของสัญญาณ อินพุต V_i ไม่ใช่ เอาต์พุต ที่เกิดจากการตัดผ่านศูนย์ของสัญญาณรบกวน

ถ้า V_i เข้าใกล้ค่าแรงดันอ้างอิงอย่างช้าๆ และมาอยู่ที่ระดับที่ใกล้กับระดับของแรงดันอ้างอิงมาก V_o จะสามารถเปลี่ยนแปลงตามการแกว่งของสัญญาณรบกวนได้ทั้งหมด หรือเกิดการ oscillate ที่ความถี่สูง ซึ่งความผิดพลาดของการตัดผ่านศูนย์นี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการป้อนกลับแบบบวก



รูปที่ 2.6 Inverting zero-crossing detector

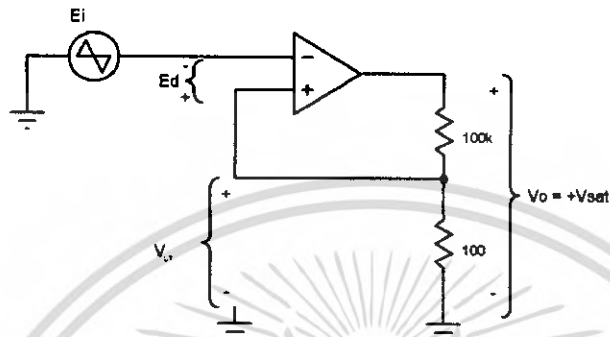


รูปที่ 2.7 ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดกับวงจร Zero-crossing detector

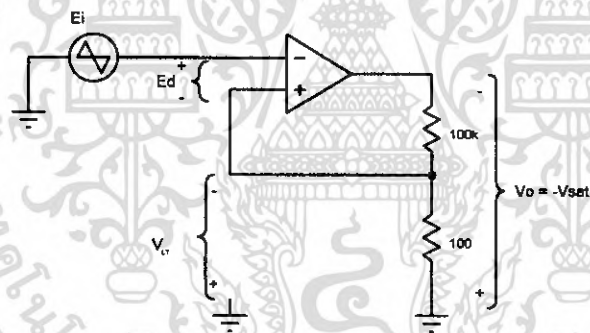
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 Positive Feedback

Positive feedback ถูกสร้างขึ้น โดยการนำส่วนหนึ่งจาก เอาต์พุต มาป้อนกลับเข้าที่ อินพุต ขาบวก ซึ่งแรงดัน เอาต์พุต จะถูกแบ่งระหว่าง R_1 และ R_2 โดยส่วนที่ถูกป้อนกลับไปที่ อินพุต ขาบวกจะสร้างแรงดันอ้างอิงที่ขึ้นกับ V_o .



(a) Upper-threshold voltage, V_{UT}



(b) Lower-threshold voltage, V_{LT}

รูปที่ 2.8 R_1 , R_2 และแรงดันอ้างอิงที่เกิดจาก เอาต์พุต ถูกป้อนกลับมายัง อินพุต ขาบวก

2.1.8.1 Upper-Threshold Voltage

จากรูปที่ 8(a) แรงดัน เอาต์พุต ถูกแบ่งไปที่ R_1 และ R_2 โดยส่วนที่ได้จากการแบ่งถูกป้อนกลับมายัง ขา อินพุต ขาบวก เมื่อ $V_o = +V_{sat}$ แรงดันที่ถูกป้อนกลับมานี้จะเรียกว่า upper-threshold voltage, V_{UT} ซึ่งเขียนสมการได้เป็น

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{SAT}) \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณ V_i มีค่าต่ำกว่า V_{UT} แรงดันที่ขาบวกจะมีค่ามากกว่าแรงดันที่ขาลบ ดังนั้น V_o จะมีค่าเป็น $+V_{sat}$

ถ้าแรงดัน V_i ถูกทำให้มีค่าเป็นบวกมากกว่า V_{UT} เพียงเล็กน้อย ขั้วของแรงดัน E_d จะกลับขั้ว ทำให้ค่าแรงดัน V_o เริ่มที่จะลดลง ทำให้ส่วนของ V_o ที่ถูกป้อนกลับมายังขา อินพุต บวกมีค่าน้อยลง ดังนั้น E_d จะมีค่ามากกว่า จากนั้น V_o จะลดลงอย่างรวดเร็วไปที่ $-V_{sat}$ แล้ววงจรจะเข้าสู่สภาวะเสถียรอีกครั้ง ดังรูปที่ 8(b)

2.1.8.2 Lower-Threshold voltage

เมื่อ V_o อยู่ที่ระดับ $-V_{sat}$ แรงดันที่ถูกป้อนกลับมายัง อินพุต ขาบวก จะเรียกว่า lower-threshold voltage V_{LT} เขียนสมการได้เป็น

$$V_{LT} = \frac{R2}{R1 + R2} (-V_{sat}) \quad (11)$$

V_{LT} จะมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับ ground ดังนั้น V_o อยู่ที่ $-V_{sat}$ ตรวจจับที่ V_i มีค่ามากกว่า หรือ เป็นบวกเมื่อเทียบกับ V_{LT} และ V_o จะเปลี่ยนสถานะกลับไป $+V_{sat}$ เมื่อ V_i เป็นลบมากกว่าหรือ มีค่าต่ำกว่า V_{LT}

เราจะสรุปได้ว่า ถ้าช่วงของแรงดัน threshold กว้างกว่าค่าสูงสุดของแรงดันจากสัญญาณรบกวน ผลของ positive feedback จะช่วยกำจัดความผิดพลาดของ เอาต์พุต ที่เกิดจากสัญญาณรบกวนได้

2.1.9 Zero-Crossing Detector with Hysteresis

2.1.9.1 Defining Hysteresis

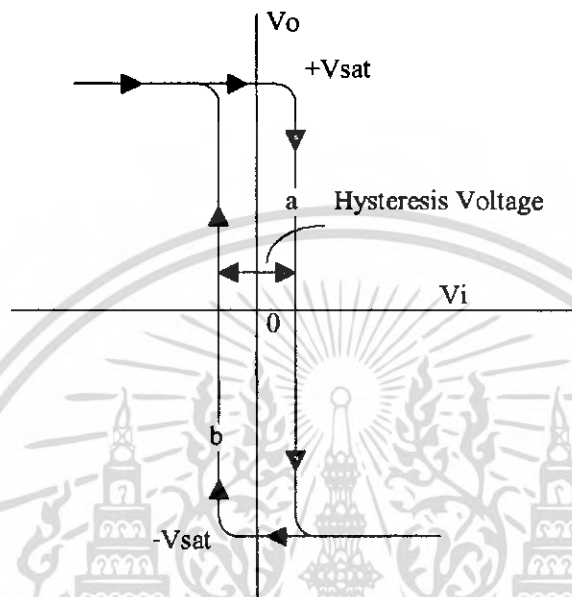
มีเทคนิคมาตรฐานที่จะแสดงการทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันบนกราฟเดี่ยวแทนการใช้ 2 กราฟ โดยการวาดกราฟ V_i บนแกนนอน และ V_o บนแกนตั้ง เราจะได้ เอาต์พุต-อินพุต voltage characteristic ดังรูปที่ 9 เมื่อค่าของ V_i น้อยกว่าค่าของ V_{LT} จะได้ $V_o = +V_{sat}$ เส้นตั้ง (a) แสดงการเปลี่ยนแปลงของ V_o จาก $+V_{sat}$ ไปยัง $-V_{sat}$ เมื่อ V_i มีค่ามากกว่า V_{LT} และเส้นตั้ง (b) แสดงการเปลี่ยนแปลงของ V_o จาก $-V_{sat}$ ไปยัง $+V_{sat}$ เมื่อ V_i น้อยกว่า V_{LT} ความต่างระหว่างแรงดัน V_{UT} และ V_{LT} เรียกว่า hysteresis voltage, V_H

วงจรใดก็ตามที่เปลี่ยนสภาวะจากสภาวะหนึ่งสู่อีกสภาวะหนึ่งสู่สภาวะที่สองด้วยสัญญาณบางอย่าง และเปลี่ยนกลับจากสภาวะที่สองสู่สภาวะที่หนึ่งด้วยสัญญาณ อินพุต ที่ต่างกับสัญญาณในครั้งแรก วงจรนั้นเรียกได้ว่าเป็น hysteresis สำหรับ positive feedback compaator ความต่างของสัญญาณ อินพุต คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} \quad (12)$$

ถ้าแรงดัน hysteresis ถูกออกแบบมาให้มีช่วงกว้างกว่าระดับแรงดัน peak-to-peak ของสัญญาณรบกวนจะ ไม่มีความผิดพลาดของ เอาต์พุต ที่เกิดจากสัญญาณรบกวน ดังนั้น V_H จะเป็นตัวบอกว่า ความแรงเป็น peak-to-peak ของสัญญาณรบกวนค่าเท่าใดที่วงจรจะสามารถทนได้



รูปที่ 2.9 กราฟระหว่าง V_o และ V_i แสดงช่วงแรงดัน hysteresis ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

2.1.9.2 Zero-Crossing Detector with Hysteresis as a Memory Element

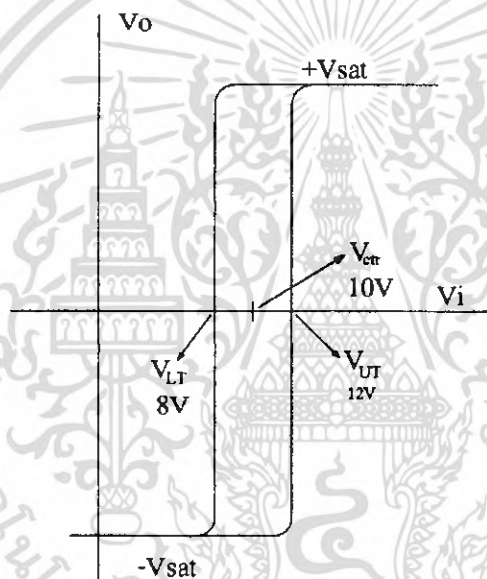
ถ้าระดับสัญญาณของ V_i อยู่ระหว่าง V_{UT} และ V_{LT} เป็นเรื่องที่ไม่ได้ที่จะคาดเดาค่าของ V_o ถ้าไม่รู้ค่าสถานะเดิมของ V_o อยู่ก่อน ตัวอย่างเช่น ถ้าสมมติให้แทนค่า V_i เป็น ground ($V_i = 0$ V) ในรูปที่ 8 แล้วจ่ายไฟเลี้ยงให้วงจร op-amp จะเป็นสถานะ $+V_{sat}$ หรือ $-V_{sat}$ ขึ้นอยู่กับสัญญาณรบกวนซึ่งจะเป็นตัวกำหนดค่าเริ่มต้นของ op-amp ถ้า op-amp เปลี่ยนสถานะไปสู่ เอาต์พุต ที่เป็น $+V_{sat}$ แล้ว V_i จะต้องมีค่ามากกว่า V_{UT} ในการที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ เอาต์พุต แต่ถ้าเดิม V_o เป็น $-V_{sat}$ แล้ว V_i จะต้องมีค่าน้อยกว่า V_{LT} จึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ V_o ได้ ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มี hysteresis จึงแสดงคุณสมบัติของ memory นั่นคือถ้า V_i อยู่ระหว่าง V_{UT} และ V_{LT} (ภายในช่วงของ hysteresis voltage) op-amp จะจำค่าของสถานะสุดท้ายของ V_i ไว้ว่ามีค่ามากกว่า V_{UT} หรือ น้อยกว่า V_{LT}

2.1.10 Voltage-level detector with hysteresis

ในวงจรที่ตรวจสอบการตัดผ่านศูนย์ ค่าแรงดัน hysteresis มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ระดับอ้างอิง (ศูนย์), V_{cr} จึงเป็นที่น่าสนใจถ้าจะมีวงจรที่แสดงคุณสมบัติของ hysteresis โดยมี center voltage อยู่ที่ค่าแรงดันที่เป็นบวกหรือลบ

ตัวอย่างเช่น ในงานบางอย่างอาจต้องการ เอาต์พุต ที่เป็นบวก เมื่อ V_i มีค่ามากกว่า upper threshold voltage, $V_{UT} = 12\text{ V}$ หรือเราอาจต้องการให้ V_o มีค่าเป็นลบเมื่อ V_i มีค่าต่ำกว่า lower threshold voltage, $V_{LT} = 8\text{ V}$ ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้สรุปได้เป็นกราฟ V_o ต่อ V_i ดังรูปที่ 10 ซึ่งหาได้จากสมการที่ 12

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = 12\text{ V} - 8\text{ V} = 4\text{ V}$$



รูปที่ 2.10 กราฟ hysteresis ที่มี V_{cr} อยู่กึ่งกลางระหว่าง V_{LT} และ V_{UT}

แรงดัน hysteresis V_H ควรจะมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ค่าเฉลี่ยของ V_{UT} และ V_{LT} ซึ่งเรียกว่า center voltage V_{cr} โดย

$$V_{cr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = \frac{12\text{ V} + 8\text{ V}}{2} = 10\text{ V}$$

เมื่อเราต้องการจะสร้างวงจรประเภทที่ตรวจระดับแรงดัน วงจรนั้นจึงควรมีลักษณะพิเศษ 4 อย่าง คือ

1. มีตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อใช้ปรับค่าของ V_H
2. ตัวต้านทานปรับค่าได้(แยกต่างหาก) เพื่อปรับค่าของ V_{cr}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การปรับค่าของ V_H และ V_{cr} ไม่ควรส่งผลกระทบต่อซึ่งกันและกัน
 4. V_{cr} ควรมีค่าเท่ากับ หรือ มีความสัมพันธ์อย่างง่ายกับแรงดันอ้างอิงภายนอก V_{ref}
- เพื่อที่จะใช้อุปกรณ์ให้น้อยที่สุด ควรใช้แรงดันไฟเลี้ยงของ op-amp และวงจร R network เพื่อเลือกค่า V_{ref}

2.1.10.1 Noninverting Voltage-Level Detector with Hysteresis

จากรูปที่ 11 มีการต่อตัวต้านทาน เพื่อทำ positive feedback จาก เอาต์พุต กลับมายัง อินพุต ขาบวก แสดงถึง hysteresis ในวงจร และ V_i ถูกป้อนเข้า อินพุต ขาลบผ่านทางตัวต้านทาน ดังนั้น วงจรนี้เป็น noninverting (V_i ต้องเป็นแหล่งจ่ายที่มีความต้านทานต่ำหรือ เอาต์พุต จาก voltage follower หรือ วงจรขยายที่เป็น op-amp) ส่วนแรงดันอ้างอิง V_{ref} ถูกป้อนเข้าที่ อินพุต ค่าแรงดัน threshold ทั้ง upper และ lower หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_{UT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{(-V_{sat})}{n} \quad (13)$$

$$V_{LT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{+V_{sat}}{n} \quad (14)$$

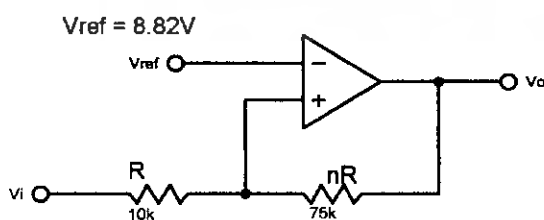
Hysteresis voltage หาได้จาก

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n} \quad (15)$$

ในวงจร zero-crossing detector V_H มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ระดับอ้างอิง(0V) แต่สำหรับวงจรในรูปที่ 11 V_H ไม่ได้มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ระดับอ้างอิง V_{ref} แต่จะอยู่ที่ค่าเฉลี่ยของ V_{UT} และ V_{LT} ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้เรียกว่า center voltage, V_{cr} หาได้จาก

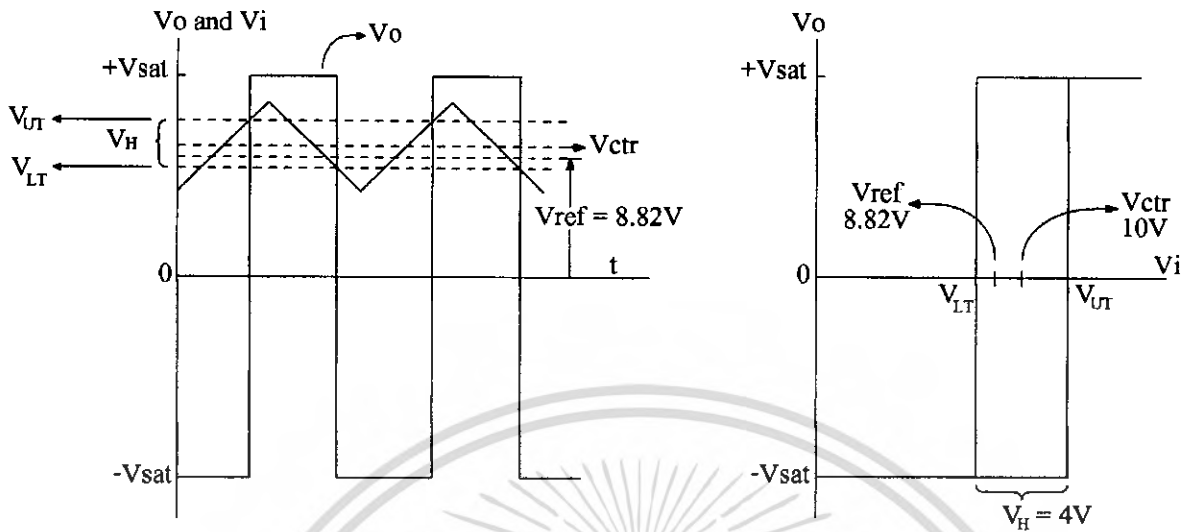
$$V_{cr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) \quad (16)$$

เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของ V_{cr} และ V_{ref} กับในรูปที่ 10 และสมการที่ 15 และ 16 จะเห็นว่า n ปรากฏในทั้งสองสมการ หมายความว่า การปรับค่าตัวต้านทานจะมีผลกับทั้ง V_{cr} และ V_H



- (a) วงจร Noninverting voltage-level detector ซึ่งใช้อัตราส่วนของ R ต่อ nR และ V_{ref} ในการกำหนดค่าของ V_{UT} , V_{LT} , V_H และ V_{cr}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(b) กราฟของ V_o และ V_i เทียบกับ เวลา(c) กราฟ V_o กับ V_i

รูปที่ 2.11 วงจร Noninverting voltage-level detector ที่มี hysteresis โดยแรงดัน hysteresis และ center voltage จะไม่สามารถปรับได้อย่างอิสระ เนื่องจากทั้งคู่ขึ้นกับอัตราส่วนของ n ในสมการ

2.1.10.2 Inverting Voltage –Level detector with hysteresis

ถ้า V_i และ V_{ref} ถูกเปลี่ยนตำแหน่งกันดังรูปที่ 12 จะทำให้ได้วงจร inverting-level detector ที่มี hysteresis จะได้สมการของ V_{UT} และ V_{LT} เป็น

$$V_{UT} = \frac{n}{n+1}(V_{ref}) + \frac{+V_{sat}}{n+1} \quad (17)$$

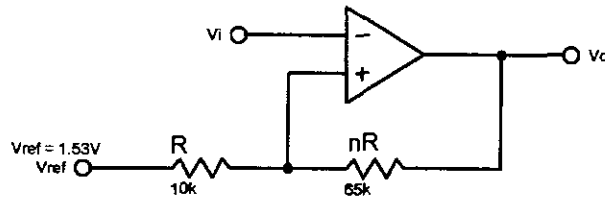
$$V_{LT} = \frac{n}{n+1}(V_{ref}) + \frac{(-V_{sat})}{n+1} \quad (18)$$

V_{ctr} และ V_H จะอยู่ที่

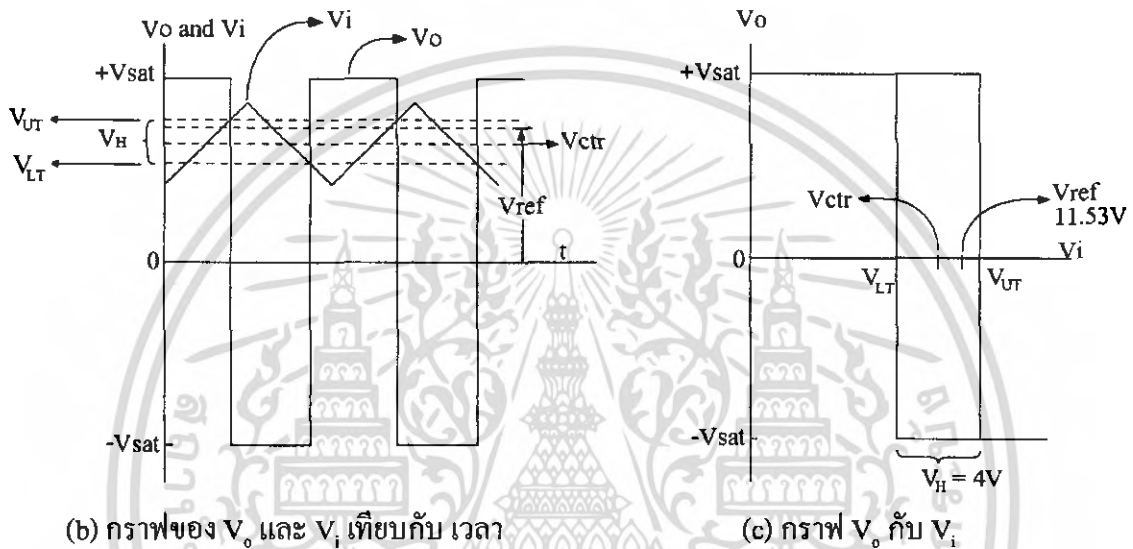
$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = \left(\frac{n}{n+1}\right)V_{ref} \quad (19)$$

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n+1} \quad (20)$$

ซึ่ง V_{ctr} และ V_H จะขึ้นกับ n ดังนั้น จะไม่สามารถปรับค่าได้อย่างอิสระ



(a) วงจร Noninverting voltage-level detector ซึ่งใช้อัตราส่วนของ R ต่อ nR และ V_{ref} ในการกำหนดค่าของ V_{UT} , V_{LT} , V_H และ V_{ctr}



(b) กราฟของ V_o และ V_i เทียบกับ เวลา

(c) กราฟ V_o กับ V_i

รูปที่ 2.12 วงจร Inverting voltage-level detector ที่มี hysteresis โดยแรงดัน hysteresis และ center voltage จะไม่สามารถปรับได้อย่างอิสระ เนื่องจากทั้งคู่ขึ้นกับอัตราส่วนของ n ในสมการ

2.1.11 Voltage level detector with independent adjustment of hysteresis and center voltage

วงจรในรูปที่ 13 เป็นวงจร noninverting voltage-level detector ที่สามารถปรับค่าของ hysteresis voltage และ center voltage ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งแรงดัน V_{ctr} นี้จะหาได้จากทั้งตัวต้านทาน mR และ แรงดันอ้างอิง V_{ref} ซึ่ง V_{ref} นี้สามารถเป็นได้ทั้งแรงดันไฟเลี้ยงที่เป็นขั้วบวกหรือขั้วลบก็ได้ (ซึ่งจากที่ได้อธิบายไปแล้วการใช้แรงดันไฟเลี้ยงของ op-amp มาทำ V_{ref} ก็เพื่อจะลดจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้) แรงดัน hysteresis, V_H จะหาได้จากตัวต้านทาน mR ซึ่งสามารถปรับค่าได้ ดังนั้น V_H จะสามารถถูกปรับค่าได้อย่างเป็นอิสระจาก V_{ctr} การปรับค่าตัวต้านทาน mR จะปรับ

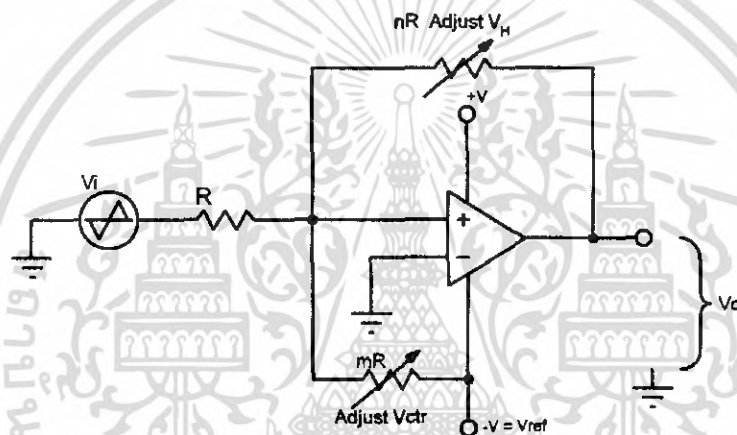
แรงดัน V_{ctr} โดยไม่ส่งผลกระทบต่อ V_H (แหล่งกำเนิดสัญญาณ V_i ต้องเป็นแหล่งกำเนิดที่มีความต้านทานต่ำ) จากวงจรในรูปที่ 13 สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$V_{UT} = -\frac{-V_{sat}}{n} - \frac{V_{ref}}{m} \tag{21}$$

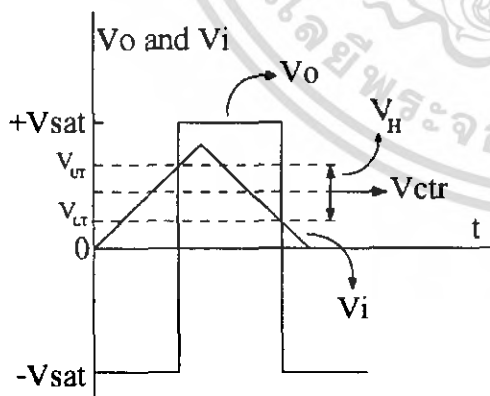
$$V_{LT} = \frac{-V_{ref}}{m} - \frac{+V_{sat}}{n} \tag{22}$$

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n} \tag{23}$$

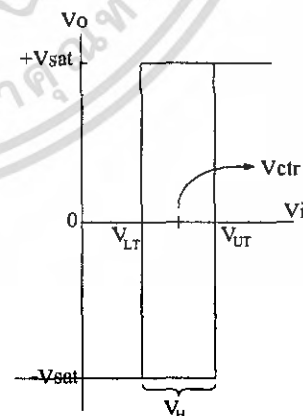
$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = -\frac{V_{ref}}{m} - \frac{+V_{sat} + (-V_{sat})}{2n} \tag{24}$$



(a) วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่สามารถปรับค่าของแรงดัน hysteresis (V_H) และ แรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน



(b) กราฟของ V_o และ V_i เทียบกับ เวลา



(c) กราฟ V_o กับ V_i

รูปที่ 2.13 วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่สามารถปรับค่าของแรงดัน hysteresis (V_H) และ แรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน และกราฟการตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทาน mR และแรงดันไฟเลี้ยง(-V) ถูกใช้เพื่อสร้าง center voltage, V_{cr} และ ตัวต้านทาน nR จะใช้เพื่อปรับแรงดัน hysteresis, V_H ซึ่งจะได้ช่วงของ V_H ที่ขยายออกอย่างเป็นสมมาตรรอบ V_{cr}

สมการทั่วไปสำหรับ V_{cr} อาจดูเหมือนจะซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าขนาดของ $+V_{sat}$ และ $-V_{sat}$ มีค่าใกล้เคียงกัน จะทำให้สมการ V_{cr} เป็น

$$V_{cr} = -\frac{V_{ref}}{m} \quad (25)$$

ดังนั้น V_{cr} จึงขึ้นกับ m เท่านั้น และ V_H ขึ้นกับ n เท่านั้น

2.2 LDR ตัวต้านทานไวแสง

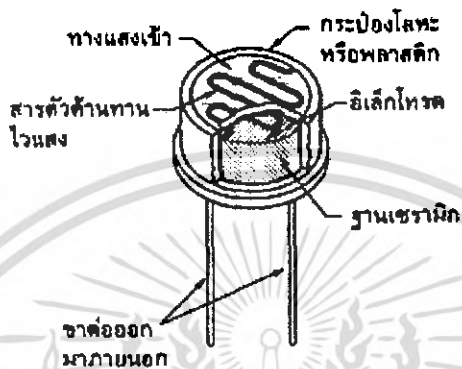


รูปที่ 2.14 LDR

ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือ เปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณของแสงมีอยู่หลายอย่าง ตั้งแต่ LDR(light dependent resistor), โฟโวลตาอิกเซลล์ (photovoltaic cell) ซึ่งจ่ายแรงดันออกมาเมื่อได้รับแสง, โฟโอดีไดโอด(photodiode), โฟโอดีทรานซิสเตอร์(phototransistor) ไปจนถึงเอสซีอาร์ที่ทำงานด้วยแสง(LASCR - light activated silicon controlled rectifier) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น อุปกรณ์ที่จะกล่าวถึงในที่นี้คือ LDR

2.2.1 โครงสร้าง

ตัว LDR ที่จริงแล้วมีเรียกกันอีกหลายชื่อ เช่น โฟโต้คอนดักทีฟเซลล์(photoconductive cell) หรือตัวต้านทานไวแสง(LSR - light sensitive resistor) ส่วนใหญ่จะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือโมทีแคดเมียมซีนิไนด์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา

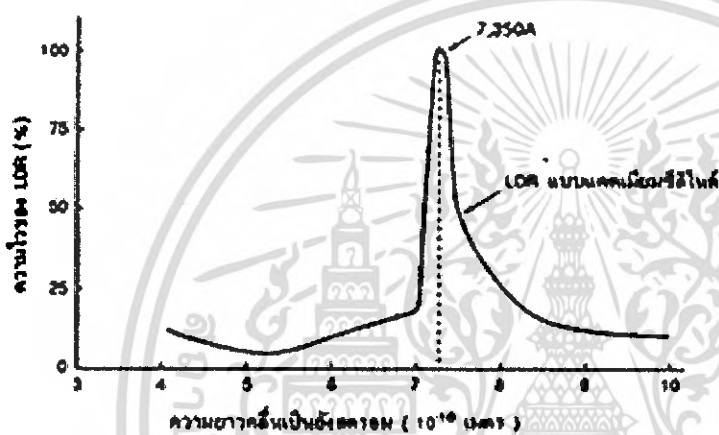
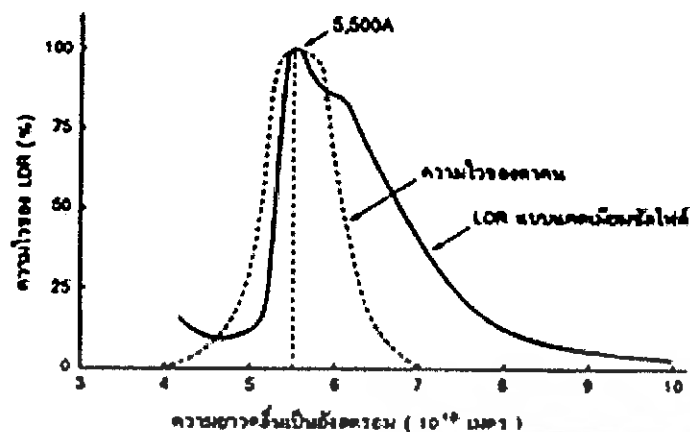


รูปที่ 2.15 โครงสร้าง LDR

รูปร่างของมันจะเห็นได้ในรูปที่ 1 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กๆ สีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีค้ำนั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าดูของจริงจะเห็นว่าบริเวณออกติทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกภายนอก หรือเรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มมันซึ่งมีได้หลายแบบ

2.2.2 สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR มีหลักการที่ไม่ยาก เพราะว่ามันเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงาน ให้กับสาร ที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ โฮลกับ อิเล็กตรอน ซึ่งการที่มีโฮล กับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากเป็นผลให้ความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น



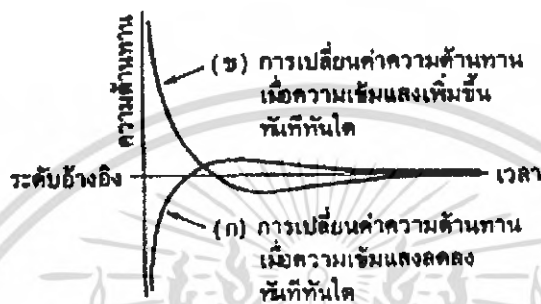
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั้น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10^{-10} เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ยังเป็นช่วงคลื่นเพียงแคบๆ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่นๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิได้อยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่นที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลือง สำหรับบางตัวแล้วความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความยาวคลื่นประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจากแคดเมียมซีลีไนด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่าอังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

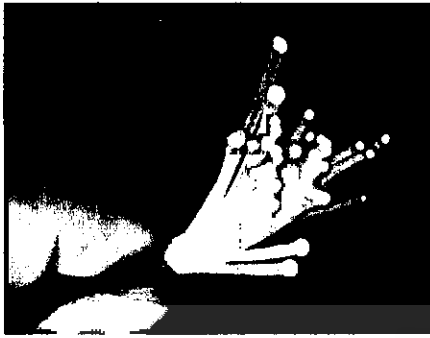
อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ $0.5 \text{ M}\Omega$ ขึ้นไป ในที่มีคสณิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า $2 \text{ M}\Omega$ และ ในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ $10 - 20 \text{ k}\Omega$ ลงไป อาจจะไม่ถึงไม่กี่โอห์ม หรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และกำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.17 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสง เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 3 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำ และในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ที่ระดับอ้างอิงมันกลับเพิ่มเลขขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดี และในทำนองเดียวกัน ถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดัง ในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลดลงต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซันไนด์ จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่ง ความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาที หรือบางทีก็เป็นวินาทีเลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

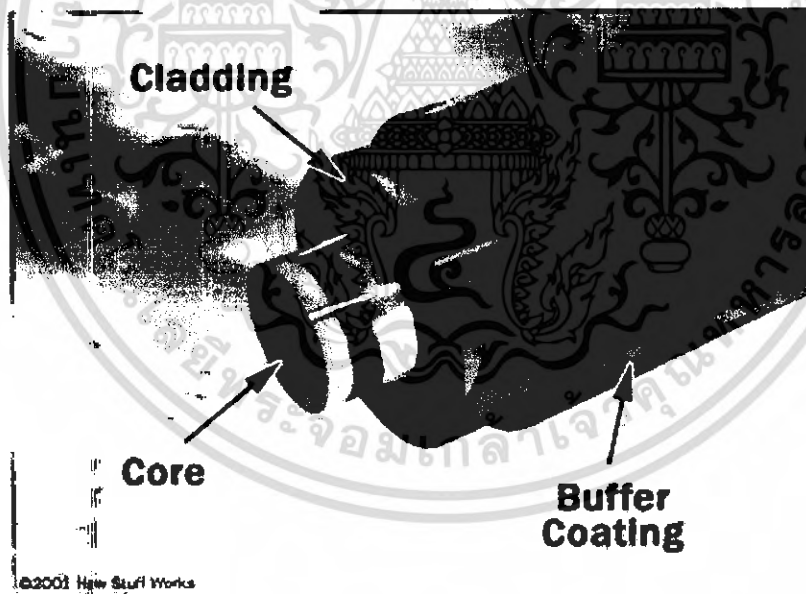
2.3 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)



รูปที่ 2.18 ภาพ Fiber Optics

Fiber optic (optical fiber) เป็นแก้วที่มีความบริสุทธิ์สูง ถูกนำมาทำเป็นเส้นยาวและบาง มีความหนาเพียงประมาณเส้นผมของมนุษย์ เส้นใยแต่ละเส้นจะถูกนำมาเรียงกันเป็นมัดเรียกว่า “optical cables” และใช้เพื่อส่งแสงผ่านระยะทางไกลๆ

Fiber optics ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแกน (Core) เป็นแก้วในลักษณะของเส้นบางที่ซึ่งแสงจะเดินทางผ่านทางนี้ ส่วนเปลือก (Cladding) เป็นวัสดุที่ล้อมรอบอยู่ด้านนอกของส่วน core จะทำหน้าที่สะท้อนแสงกลับสู่ส่วนแกน และส่วนที่ใช้ห่อหุ้มเพื่อป้องกันความเสียหายและความชื้น (Buffer Coating)



รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบของ Optical fiber

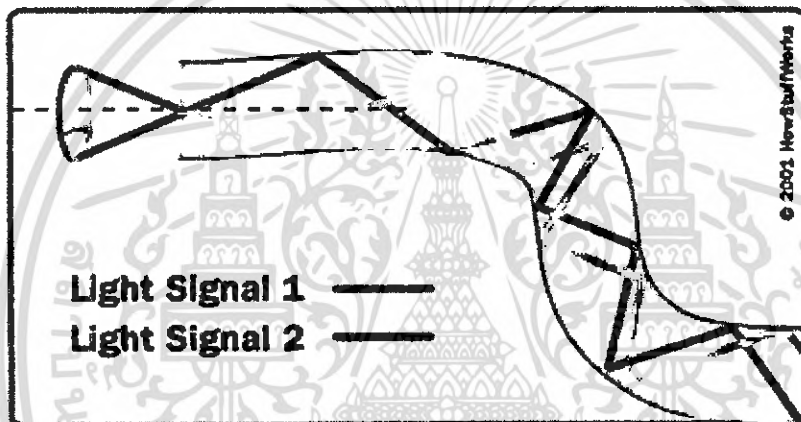
2.3.1 Optical fiber สามารถส่งผ่านแสงได้อย่างไร

ส่วนแกนจะเป็นเนื้อแก้ว ที่มีดัชนีหักเหสูงกว่าชั้นเปลือกเล็กน้อย ดังนั้น หากให้ลำแสง สัญญาณที่มีมุมตกกระทบพอเหมาะ ไปบนใยแก้ว จะเกิดการสะท้อนกลับหมดที่รอยต่อระหว่างชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสอง ไม่เกิดการหักเหออกไปสู่ภายนอก โดยหลักการนี้เป็นหลักการที่เป็นธรรมชาติของแสง คือ เมื่อมีแสงตกกระทบบนที่รอยต่อของตัวกลางใดๆ แสงจะหักเหออกจากเส้นปกติในกรณีที่ค่าดัชนีหักเหในตัวกลางที่ 1 มีค่าน้อยกว่าในตัวกลางที่ 2 แต่แสงจะหักเหเข้าสู่เส้นปกติในกรณีที่ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 น้อยกว่าตัวกลางที่ 1 (กฎของสเนลล์)

ดังนั้นถ้าค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 น้อยกว่า ตัวกลางที่ 1 จะทำให้มุมหักเหกว้างขึ้น และยังมุมตกกระทบบมีค่ามากขึ้นเท่าใด มุมหักเหก็จะมากตามเท่านั้น เมื่อทำการเพิ่มมุมตกกระทบบจนถึงค่าค่าหนึ่ง จะทำให้มุมหักเหกลายเป็นมุมฉากกับเส้นปกติ มุมตกกระทบบนี้เรียกว่า “มุมวิกฤติ” และถ้าเพิ่มมุมตกกระทบบของแสงต่อไปอีก แสงจะไม่ผ่าน ไปสู่ตัวกลางที่ 2 แต่จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “การสะท้อนกลับหมด”



รูปที่ 2.20 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสง ที่เดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

ด้วยหลักการดังกล่าวนี้ ถ้าแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงจึงสามารถเดินทางผ่านไปตามใยแก้วนำแสงเป็นระยะทางไกลๆ โดยมีการสูญเสียพลังงานน้อยมาก เปรียบเทียบกันแล้วระบบสื่อสารผ่านสวดทองแดงจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (repeater) ทุกๆ 1 ไมล์ ขณะที่ระบบใยแก้วนำแสงใช้เพียง 1 จุดต่อระยะทางถึง 20 ไมล์ รวมทั้งยังสามารถร้อยใยแก้วจำนวนมากไว้ในท่อเดียวกันได้ โดยที่สัญญาณไม่แผ่ออกมารบกวนซึ่งกันและกัน นอกจากนั้นสัญญาณในรูปแบบลำแสงที่เคลื่อนที่ไปตามใยแก้วซึ่งเป็นระบบปิดยังช่วยให้ปลอดภัยจากสิ่งรบกวนภายนอก เช่น สภาพอากาศแปรปรวน หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แผ่ออกมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง คุณภาพของสัญญาณที่ได้จึงมีความคมชัดสูง ไม่ประสบปัญหาคลื่นแทรกเนื่องจากสิ่งรบกวนเหมือนกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม ในด้านการบำรุงรักษานั้น ใยแก้วนำแสงทนความร้อนสูงและไม่นำไฟฟ้า จึงมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง รวมทั้งทนต่อการกัดกร่อนได้ดี มีอายุใช้งานยาวนาน สาเหตุหลักที่ทำให้ใยแก้วนำแสง หมดอายุใช้งานคือ การแตกหัก หรือการดูดซับโมเลกุล ของไฮโดรเจนเข้าไปในเนื้อแก้ว ซึ่งทำให้คุณภาพการนำสัญญาณเสียไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงมี 2 ชนิด คือ

1. Single-mode fibers

มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กประมาณ 3.5×10^{-4} นิ้วหรือ 9 ไมครอน สามารถส่งผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 1,300 ถึง 1,550 นาโนเมตร

2. Multi-mode fibers

มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า คือประมาณ 5×10^{-3} นิ้วหรือ 62.5 ไมครอน สามารถส่งผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 850 ถึง 1,300 นาโนเมตร

แต่ก็มี optical fibers บางชนิดที่ผลิตจากพลาสติก ซึ่ง fibers ชนิดนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของ core ที่ใหญ่กว่า คือประมาณ 0.04 นิ้ว หรือ 1 มิลลิเมตร และสามารถส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ (สีแดง, ความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตร จากหลอดแอลอีดี ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ optical fiber ชนิดนี้

2.3.3 ใยแก้วนำแสง : เทคโนโลยีการสื่อสารไร้พรมแดน

ในปัจจุบัน ระบบการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงได้เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารคมนาคมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารได้เป็นจำนวนมาก หัวใจของระบบการสื่อสารนี้ก็คือ ใยแก้วนำแสง (Fiber optic) ซึ่งเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลในรูปของลำแสงนั่นเอง

ใยแก้วนำแสงนอกจากใช้ในด้านการสื่อสารคมนาคมแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้อีก เช่น เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งแปลกปลอม เพื่อป้องกันการบุกรุก ตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และยังมีควมพยายามที่จะนำมาใช้ในทางการแพทย์ โดยผลิตเป็นอุปกรณ์ตรวจภายในร่างกาย ที่สามารถสอดเข้าไปยังจุดที่ต้องการ และส่งสัญญาณภาพออกมา เพื่อช่วยในการตรวจวินิจฉัยโรค เป็นต้น

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 (LPC2119)

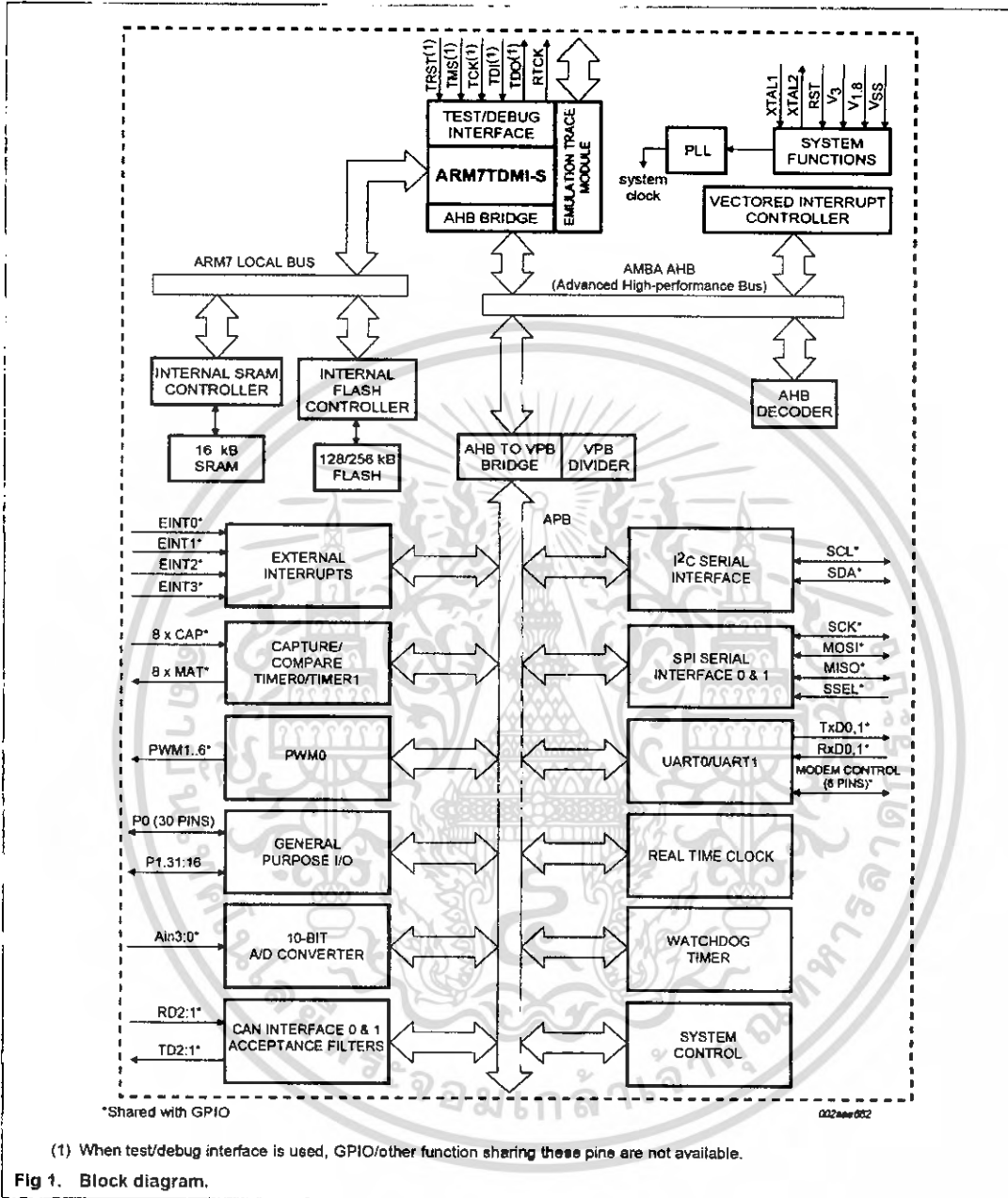
2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ LPC2119

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 16/32 bit
2. ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 128/256 kB สามารถลบและเขียนใหม่ได้
3. หน่วยความจำพื้นฐานเป็นแบบแรม 16 kB
4. ขาพอร์ตเป็นแบบ สองทิศทางคือเป็นได้ทั้ง input และ output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สามารถเขียนโปรแกรมได้ทั้งแบบ ISP(In-System Programming) และ แบบ IAP (In-Application Programming)
6. มีวงจรเปลี่ยนสัญญาณ Analog เป็น Digital ขนาด 10 bit 4 พอร์ต
 - มีความเร็วในการแปลงน้อยสุด 2..44 us
 - วัดได้ระหว่าง 0-3 V
 - ใช้งานได้กว่า 400,000 ครั้ง มีความเร็วในการสุ่มสัญญาณ 10 บิตต่อวินาที
 - แปลงได้ทั้ง 1 อินพุต และ 2 อินพุต
7. มีวงจรสื่อสารอนุกรม 2 ช่อง
8. CPU clock มีความเร็วสูงสุดถึง 60 MHz เมื่อทำการโปรแกรม PLL ให้มีค่า 100 us
9. ไทมเมอร์ 32 บิต 2 พอร์ต
10. Pulse Width Modulator 6 outputs
11. Real Time Clock
12. Watchdog
13. บนชิปมีคริสตัลอสซิลเลเตอร์ทำงานในช่วง 1-30 MHz
14. มีการทำงาน 2 แบบคือแบบทำงานปกติ (Idle) และแบบประหยัดพลังงาน (Power-down)
15. คีนส์โฮมคการทำงานปกติได้โดย อินเตอร์รัปต์ภายนอก

บล็อกไดอะแกรมของ ARM7



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมของ ARM7

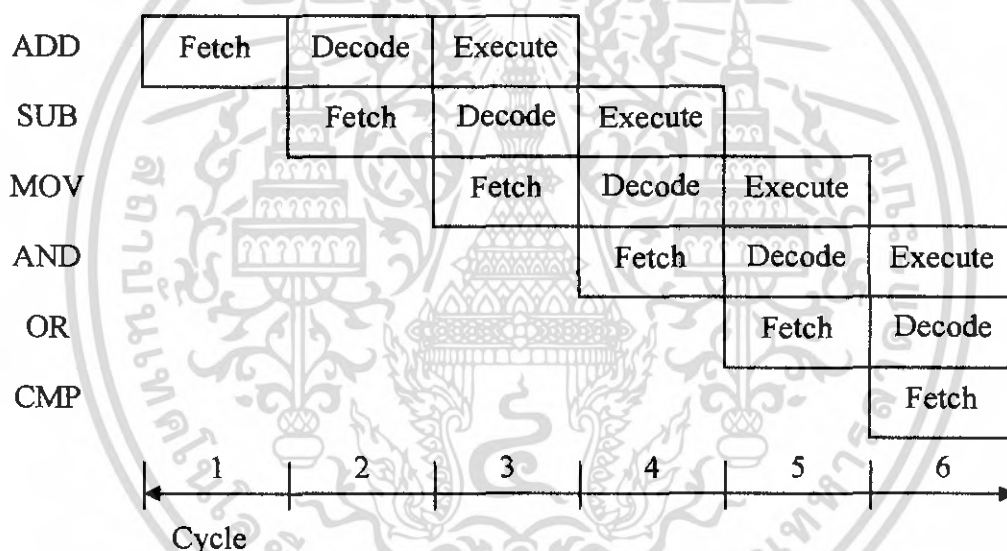
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การออกแบบชุดคำสั่ง

ชุดคำสั่งของ ARM7 นั้นจะเป็นชนิด RISC (reduce instruction set computer) ที่มีการออกแบบให้มีคำสั่งขนาดเล็ก ทำให้สามารถประมวลผลได้เร็ว โดยเฉพาะใน ARM7 นี้คำสั่งที่ออกแบบนั้นสามารถทำงานเสร็จในเพียง 1 รอบการทำงานเท่านั้น

2.4.3 การทำงาน (Pipeline)

การทำงานแบบสายท่อของ ARM7 มีการออกแบบการทำงานของชุดคำสั่งเอาไว้ 3 ลำดับ คือ ระยะเวลาของการอ่านชุดคำสั่ง (fetch) ระยะเวลาการถอดรหัสของชุดคำสั่ง (decode) และระยะเวลาการทำงานตามชุดคำสั่ง (execute) ซึ่งการออกแบบด้วยวิธีการนี้มีข้อดีคือทำให้สามารถเรียกคำสั่งได้หลายคำสั่งมาซ้อนกันได้ ดังรูปที่ 22



รูปที่ 2.22 แสดงไปป์ไลน์ของ ARM7

จะเห็นว่าในช่วงแรกของการทำงานรอบที่ 1 นั้นจะมีการอ่านชุดคำสั่งที่ 1 (ADD) เข้าสู่ไปป์ไลน์ หลังจากนั้นเมื่อทำการถอดรหัสชุดคำสั่งที่ 1 (ADD) ระยะเวลาอ่านจะว่างจึงทำการอ่านชุดคำสั่งที่ 2 (SUB) เมื่อทำการทำตามชุดคำสั่งที่ 1 อยู่ นั้น ชุดคำสั่งที่ 2 (SUB) ก็จะถูกถอดรหัสและชุดคำสั่งที่ 3 (MOV) จะถูกอ่านเข้ามา และเมื่อทำไปเรื่อยๆ จะเห็นว่าจะสามารถทำงานได้ 4 คำสั่งโดยใช้การทำงานเพียง 2 รอบเท่านั้น

2.4.4 รีจิสเตอร์

รีจิสเตอร์ (register) เป็นหน่วยความจำที่อยู่ในหน่วยประมวลผลกลาง และตัว ARM7 มีสถาปัตยกรรมการทำงานแบบ โหลดและสโตร์ (load and store) ซึ่งหมายความว่า ข้อมูลที่จะใช้ในการประมวลผลนั้นจะต้องถูกนำเข้ามาเก็บในรีจิสเตอร์แล้วจึงจะทำการประมวลผลและเมื่อได้ทำการประมวลผลเสร็จ ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะถูกนำไปเก็บเอาไว้ในรีจิสเตอร์ ซึ่งสรุปการทำงานได้ทั้ง 3 ขั้นตอนดังนี้

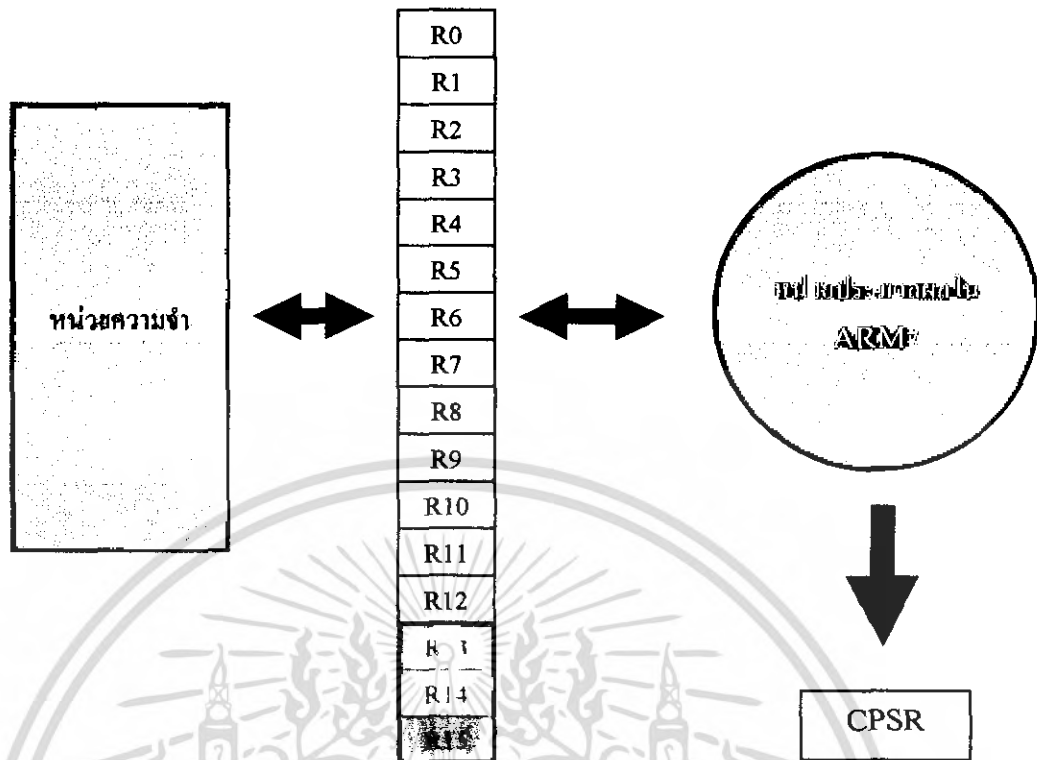
- 1 ทำการโหลดข้อมูลมาเก็บในรีจิสเตอร์
- 2 ทำการประมวลผลจากข้อมูลในรีจิสเตอร์
- 3 นำผลลัพธ์ที่ได้เก็บในรีจิสเตอร์ปลายทาง

เช่น ถ้าต้องการหาผลบวกของ M1 กับ M2 แล้วนำผลลัพธ์มาเก็บใน M3 สามารถนำมาเขียนเป็น 3 ขั้นตอนได้ดังนี้

- ขั้นที่ 1 ทำการโหลด M1 ไปเก็บในรีจิสเตอร์ (สมมติว่าเป็น R1)
ทำการโหลด M2 ไปเก็บในรีจิสเตอร์ (สมมติว่าเป็น R2)
- ขั้นที่ 2 เรียกคำสั่งบวก นั่นคือ ADD R3,R2,R1 (สมมติว่าเก็บผลลัพธ์ใน R3)
คำสั่งนี้มีความหมายว่า $R3=R1+R2$
- ขั้นที่ 3 โอนข้อมูลจากรีจิสเตอร์ (R3) มาเก็บใน M3

รีจิสเตอร์สำหรับผู้ใช้ของหน่วยประมวลผล ARM7 นั้นจะมีขนาด 32 บิต ซึ่งมีทั้งหมด 17 ตัวคือ R0 ถึง R15 และ CPSR (current program status register) โดยจำแนกกลุ่มทำงานได้ดังนี้

- R0 ถึง R12 สามารถใช้งานได้ตามที่ผู้ใช้หรือเขียน โปรแกรมต้องการ
 - R13 ถูกใช้เป็นที่เก็บค่าตัวชี้ไปยังหน่วยความจำแอสตค (stack pointer)
 - R14 หรือเรียกว่า LR (link register) ถูกใช้เป็นที่เก็บตำแหน่งของชุดคำสั่งถัดไปที่จะต้องประมวลผลก่อนที่จะเกิดที่จะเกิดการเรียก โปรแกรมย่อย (call) ซึ่งเป็นคำสั่งที่จะต้องนำมาทำงานหลังจากที่ โปรแกรมย่อยนั้นทำงานเสร็จแล้ว
 - R15 หรือเรียกว่า PC (program counter) ถูกใช้เป็นที่เก็บตำแหน่งของคำสั่งถัดไปที่จะถูกนำมาประมวลผล
 - CPSR ใช้เป็นที่เก็บสถานะการทำงานของคำสั่งที่ถูกประมวลผลไปหลังสุด ซึ่งนิยมเรียกรีจิสเตอร์นี้กันว่า รีจิสเตอร์สถานะหรือรีจิสเตอร์แฟล็ก (flag register)
- จากรีจิสเตอร์ที่กล่าวมานี้สามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกัน ได้ดังรูปที่ 23

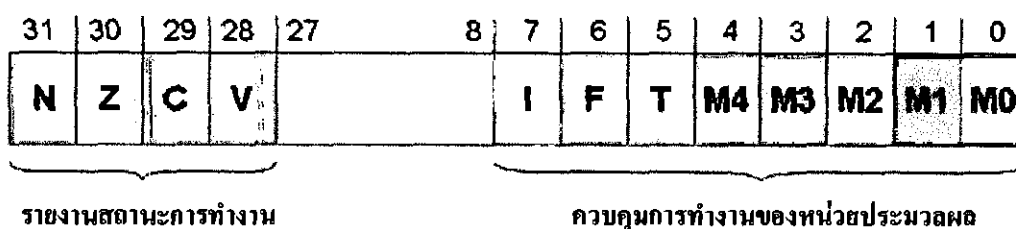


รูปที่ 2.23 แสดงการถ่ายโอน/แลกเปลี่ยนข้อมูลภายใน ARM7

ซึ่งจะเห็นว่าหน่วยความจำนั้นจะต้องถ่ายโอน/แลกเปลี่ยนข้อมูลกับรีจิสเตอร์ โดยการประมวลผลนั้นจะใช้ข้อมูลจากรีจิสเตอร์ประกอบการทำงาน และเมื่อเสร็จจะบันทึกสถานะของการทำงานจากคำสั่งปัจจุบันเก็บไว้ใน CPSR

2.4.5 รีจิสเตอร์เก็บสถานะการทำงาน

รีจิสเตอร์เก็บสถานะการทำงานของ ARM7 จะมีขนาด 32 บิต มีหน้าที่รายงานและใช้ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผล ARM7 นั่นคือเมื่อหน่วยประมวลผลทำงานเสร็จจะเก็บสถานะการทำงานใน CPSR แล้วผู้เขียน โปรแกรมสามารถนำค่าเหล่านี้มาใช้ในการควบคุมโปรแกรมที่เขียนเพื่อสั่งงานหน่วยประมวลผล หรืออาจจะกำหนดสถานะบางอย่างเพื่อให้หน่วยประมวลผลทำงานภายใต้ภาวะ ที่ผู้เขียน โปรแกรมกำหนด



รูปที่ 2.24 รีจิสเตอร์เก็บสถานะการทำงาน

โครงสร้างของรีจิสเตอร์ตัวนี้เป็นคังรูปที่ 3 แบ่งได้ 2 กลุ่มคือ

1. กลุ่มรายงานสถานะการทำงาน ได้แก่

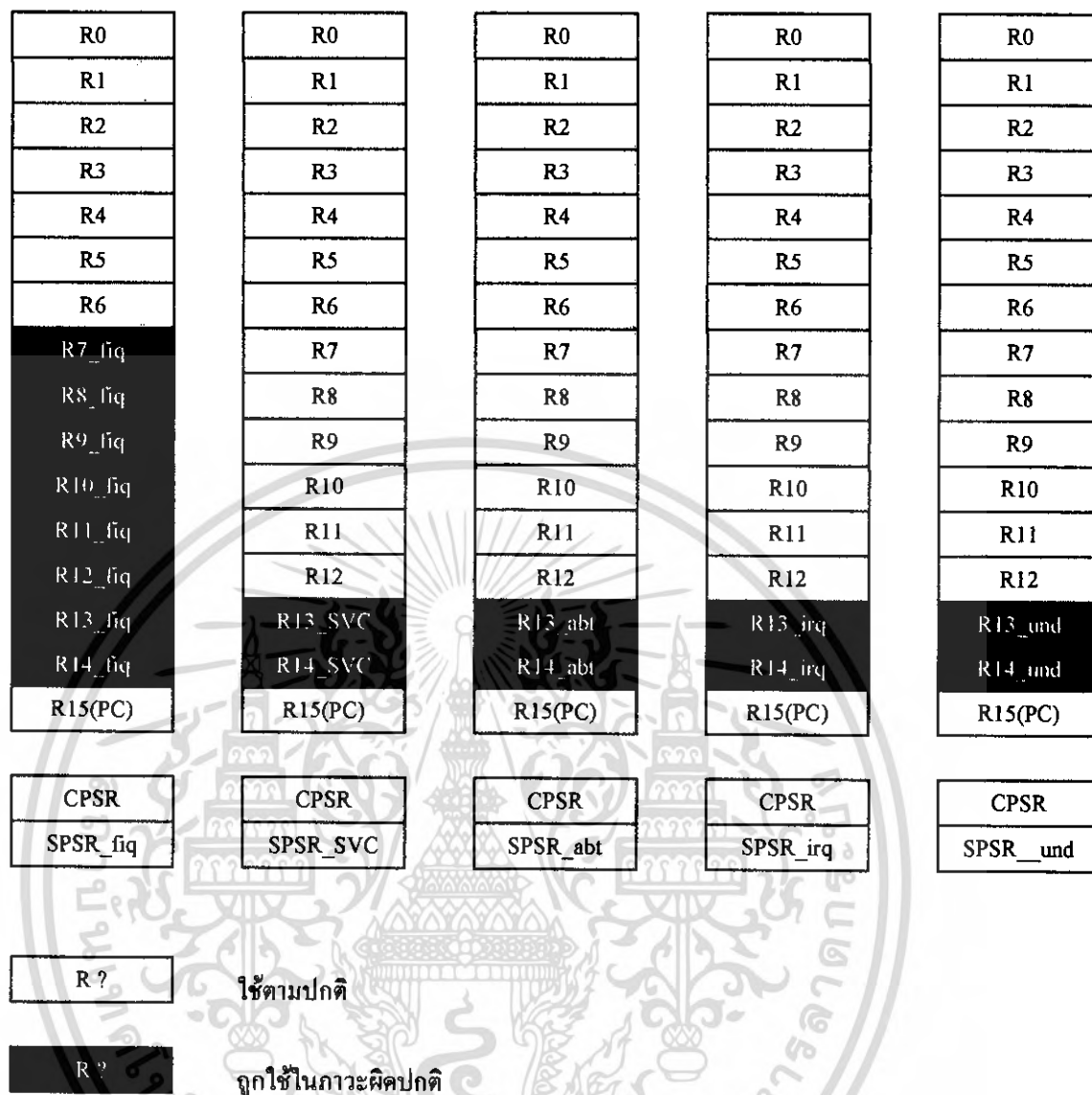
- N (negative) เป็น 1 เมื่อผลการทำงานก่อให้เกิดค่าลบ
- Z (zero) เป็น 1 เมื่อผลการทำงานทำให้เกิดค่าศูนย์
- C (carry) เป็น 1 เมื่อผลการทำงานทำให้เกิดการทดค่า
- V (overflow) เป็น 1 เมื่อผลการทำงานทำให้เกิดการล้นของข้อมูล

2. กลุ่มกำหนดการทำงานของหน่วยประมวลผล ได้แก่

- I (interrupt enable) กำหนดให้เป็น 1 เมื่อต้องการดักสัญญาณขัดจังหวะแบบ IRQ
- F (fast interrupt enable) กำหนดให้เป็น 1 เมื่อต้องการดักสัญญาณขัดจังหวะแบบ FIQ
- T (thumb instruction set) กำหนดเป็น 1 เมื่อต้องการให้ทำงานชุดคำสั่งแบบ 16 บิต ซึ่งจะทำให้ ARM7 สามารถประมวลผลคำสั่งได้ 2 คำสั่งในการทำงานเพียง 1 รอบการทำงาน
- M4,M3,M2,M1,M0 ใช้ในการกำหนดภาวะการทำงาน ซึ่งมีทั้งหมด 7 โหมด (mode) ที่มีผลต่อการใช้งานรีจิสเตอร์แตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ดี ในการทำงานแบบโหมดผู้ใช้ (user mode) จะมีการทำงานเหมือนกับที่ได้อธิบายเอาไว้ในหัวข้อรีจิสเตอร์

2.4.6 ภาวะผิดปกติ

ภาวะผิดปกติ (exception modes) เป็นการเกิดสิ่งผิดปกติจากการทำงานทั่วไป และเมื่อเกิดสิ่งผิดปกตินี้หน่วยประมวลผลจะเปลี่ยนภาวะการทำงานของตัวเองพร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC เพื่อกระโดดไปทำงาน ณ ตำแหน่งที่กำหนดเอาไว้ดังตารางที่ 1 เพื่อตอบสนองการทำงานตามชนิดของภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยแต่ละภาวะนั้นจะมีการใช้รีจิสเตอร์แตกต่างกันออกไปดังรูปที่ 25



รูปที่ 2.25 สถานะของรีจิสเตอร์เมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ

เนื่องจากมีภาวะผิดปกติได้หลายประเภท ARM7 จึงมีการจัดลำดับความสำคัญเรียงจากมากไปน้อยเอาไว้ดังนี้

1. Reset
2. Data Abort
3. FIQ
4. IRQ
5. Prefetch Abort
6. Undefined instruction และ SWI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งผิดปกติ	ภาวะการทำงาน	ตำแหน่ง
Reset	Supervisor	0x00000000
Undefined instruction	Undefined	0x00000004
Software interrupt (SWI)	Supervisor	0x00000008
Prefertch Abort (fetch memory abort)	Abort	0x0000000C
Data Abort (data access memory abort)	Abort	0x00000010
IRQ (interrupt)	IRQ	0x00000018
FIQ (Fast interrupt)	FIQ	0x0000001C

รูปที่ 2.26 แสดงสภาวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7

เมื่อเกิดสิ่งผิดปกติจะมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. อ่านตำแหน่งถัดไปที่จะเรียกขึ้นมาทำงาน ไปเก็บใน LR
2. คัดลอกสถานะใน CPSR ไปเก็บใน SPSR
3. นำค่าข้อมูลจากตำแหน่งที่ใช้ตอบสนองกับภาวะที่ผิดปกติไปเก็บใน PC ซึ่งหมายความว่าค่าที่เก็บในหน่วยความจำที่กำหนดตามตารางที่ 1 นั้นจะเป็นค่าตำแหน่งของชุดคำสั่งที่จะถูกเรียกใช้งานเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ
4. เริ่มทำงาน ณ ตำแหน่งที่ระบุใน PC
5. เมื่อทำงานชุดคำสั่งตอบสนองต่อสิ่งผิดปกติเสร็จแล้วจะนำค่าที่เก็บใน LR มาเก็บใน PC เพื่อเตรียมทำงานชุดคำสั่งปกติ
6. นำค่าจาก SPSR มาเก็บใน CPSR เพื่อนำสถานะการทำงานปกติกลับมา
7. เรียกคำสั่ง ณ ตำแหน่งที่เก็บใน PC มาทำงาน แล้วเลื่อน PC เป็นตำแหน่งของชุดคำสั่งถัดไป

2.5 เครื่องจำอักขระด้วยแสง OCR

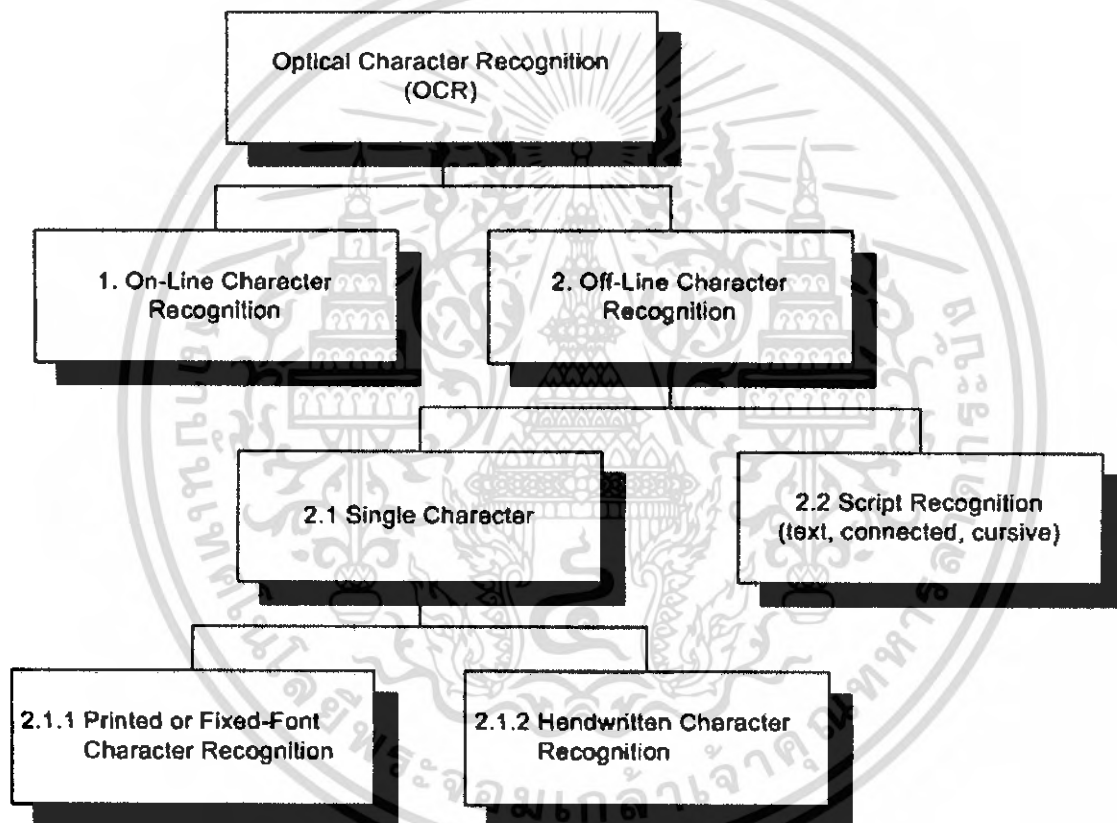
Optical Character Recognition” หรือ OCR แปลเป็นภาษาไทยว่า “การรู้จำตัวอักษร โดยการมองเห็น(ภาพ)” โอซีอาร์ (OCR - Optical character recognition) หรือ เครื่องจำอักขระด้วยแสง คือซอฟต์แวร์อย่างหนึ่งที่ออกแบบเพื่อให้แปลความหมายที่ปรากฏในไฟล์รูปภาพ ไปเป็นข้อมูลที่ สามารถประมวลผลได้ โดยปกติการนำเข้ารูปภาพเพื่อเข้าสู่กระบวนการแปลสามารถใช้เครื่อง สแกนเนอร์หรือกล้องดิจิทัล หรืออุปกรณ์ที่ออกแบบมาเฉพาะทาง โอซีอาร์เริ่มมีขึ้น โดยเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการของการตรวจสอบในระบบปัญญาประดิษฐ์และการมองเห็นของเครื่องจักร และมีการวิจัยต่อไปโดยมุ่งประเด็นไปที่การใช้ไอซีอาร์เป็นเครื่องมือในการพิสูจน์ เช่น พิสูจน์อักษร ลายมือ ลายนิ้วมือ ใบหน้า ดวงตา เป็นต้น

ประเภทของไอซีอาร์

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นเราสามารถแบ่ง โปรแกรม ไอซีอาร์ได้เป็นกลุ่มๆ ตามลักษณะหรือแหล่งที่มาของตัวอักษรที่ตรงกับความสามารถของโปรแกรม ซึ่งเราสามารถจะแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้



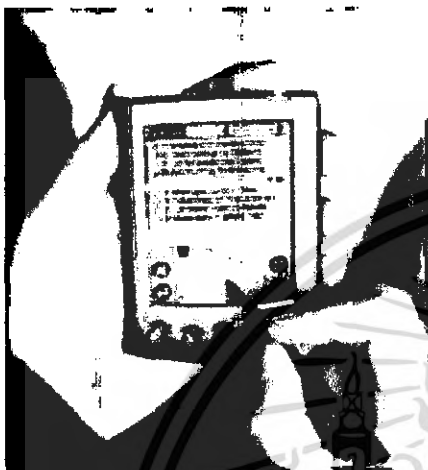
รูปที่ 2.27 Block Diagram แสดงองค์ประกอบของไอซีอาร์

2.5.1 การรู้จำตัวอักษรแบบออนไลน์ (On-line Character Recognition)

กลุ่มนี้จะต่างจากกลุ่มอื่นๆ ในแง่ของวิธีการอินพุตข้อมูล ซึ่งจะได้มาจากคีย์บอร์ดหรือปากกาอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์มือถือ ส่วนการวิเคราะห์ตัวอักษรจะทำในขณะที่มีการลากเส้นเพื่อเขียนตัวอักษร (ออนไลน์) ซึ่งมีวิธีการทำงานที่ต่างจากวิธีการอื่นๆ ถ้าจะเทียบความยากง่ายกับการรู้จำลายมือเขียนแบบออฟไลน์ กลุ่มนี้จะง่ายกว่าเพราะจะได้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางและลำดับการลากเส้นมาช่วยด้วย โอซีอาร์กลุ่มนี้มักมาพร้อมกับอุปกรณ์การเขียนที่จะกำหนดพื้นที่ให้อินพุตข้อมูล โดยส่วนใหญ่มักต้องเขียนทีละตัวอักษร ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านนี้จะมีผลเป็นอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของธุรกิจในวงการเครื่องคอมพิวเตอร์มือถือที่เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งต้องอาศัยการใส่อินพุตจากปากกาอิเล็กทรอนิกส์แทนคีย์บอร์ด



รูปที่ 2.28 อุปกรณ์รู้จำแบบออนไลน์

2.5.2 การรู้จำตัวอักษรแบบออฟไลน์ (Off-line Character Recognition)

อินพุตของระบบจะเป็นภาพของตัวอักษรที่ได้จากเครื่องสแกน อาจจะเป็นตัวอักษรแบบพิมพ์ หรือแบบเขียน และอาจเป็นตัวอักษรแบบเดี่ยวๆ หรือติดกันเป็นกลุ่มตัวอักษร

2.5.2.1 ตัวอักษรโดด (Single Character)

คือกลุ่มของโปรแกรมโอซีอาร์ที่ทำงานกับภาพตัวอักษรฉบับที่เป็นตัวเดี่ยวๆ ไม่ได้เชื่อมติดกับตัวอื่น โปรแกรมกลุ่มนี้สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

2.5.2.1.1 การรู้จำตัวพิมพ์แบบฟอนต์เฉพาะ (Printed Fixed-Font Character Recognition)

เป็นกลุ่มของโปรแกรมที่ใช้ได้กับตัวอักษรประเภทตัวพิมพ์ที่มีการกำหนดกลุ่มของฟอนต์ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับง่ายที่สุดในด้านการพัฒนาเทคนิคในการทำงานของโปรแกรม ถึงกระนั้นก็ตาม โปรแกรมในกลุ่มนี้ก็ยังมีประสบกับปัญหาที่เกิดจากเอกสารคุณภาพต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้ได้ภาพที่เปราะบางขึ้น ทำให้ภาพตัวอักษรติดกันหรือขาดออกจากกัน เหล่านี้เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้อัตราความถูกต้องของโปรแกรมลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.1.2 การรู้จำลายมือเขียนแบบตัวโดด (Isolated Handprint Character Recognition (ICR))

ตัวอักษรของกลุ่มนี้เป็นลายมือเขียนที่มักจะถูกกำหนดให้เขียนในกรอบที่จัดไว้ โดยเขียนทีละตัวแยกออกจากกัน ตัวอย่างงานที่เข้าข่ายกลุ่มนี้ได้แก่ โปรแกรมโอซีอาร์ที่ใช้แยกจดหมายจากรหัสไปรษณีย์ซึ่งเป็นตัวเลขจากลายมือเขียนเป็นต้น การรู้จำลายมือเขียนเป็นเรื่องยากมาก เพราะตัวอักษรแต่ละตัวที่เขียนโดยคนแต่ละคนมีความหลากหลายมาก ถึงแม้บางครั้งจะเป็นการเขียนโดยคนๆ เดียว การเขียนแต่ละครั้งก็ยังคงแตกต่างกัน ดังนั้นโปรแกรมพวกนี้มักมีข้อกำหนดบางอย่าง เช่น สามารถอ่านได้เฉพาะตัวเลข หรือสามารถอ่านลายมือของคนที่ได้ลองเขียนตัวอักษรตัวอย่างชุดหนึ่งให้โปรแกรมรู้จักก่อนเท่านั้น

2.5.2.2 การรู้จำลายมือแบบเขียนต่อเนื่อง (Script recognition)

กลุ่มนี้ได้ใจทัยในระดับที่ยากที่สุดในจำนวนตระกูลโอซีอาร์ทั้งหลาย เพราะตัวอักษรที่โปรแกรมจะต้องอ่านเป็นตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียนโดยไม่มีข้อกำหนดใดๆ ผู้เขียนสามารถเขียนได้ตามธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นตัวอักษรที่ได้อาจมีเส้นที่ลากเชื่อมตัวอักษรหลายๆ ตัวให้ติดกัน และประกอบกับความแตกต่างอย่างมากของลายมือของคนแต่ละคน โปรแกรมในกลุ่มนี้บางทีเรียกว่าการรู้จำลายมือเขียนแบบอิสระ (freestyle handwriting recognition) ถึงแม้จะมีผลิตภัณฑ์โอซีอาร์กลุ่มนี้ออกสู่ตลาดบ้างแล้ว แต่หัวข้อนี้ก็ยังคงต้องการการวิจัยเพิ่มเติมอีกมาก

โครงสร้างระบบโอซีอาร์

โครงสร้างของระบบโอซีอาร์โดยทั่วไปประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงานหลัก 3 ขั้นตอน

- 1 Pre-Processing
- 2 Recognition
- 3 Post-Processing



รูปที่ 2.29 โครงสร้างทั่วไปของระบบโอซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.3 ขบวนการประมวลผลขั้นต้น (Pre-Processing)

ในการทำงานของโปรแกรมโอซีอาร์นั้น ก่อนที่โปรแกรมจะสามารถบอกได้ว่ารูปภาพที่ส่งเข้าไปประกอบด้วยตัวอักษรอะไรบ้าง จำเป็นจะต้องผ่านขั้นตอนที่สำคัญหลายขั้น ขั้นตอนดังกล่าวนี้มักถูกเรียกรวมกันว่า กระบวนการประมวลผลขั้นต้น (Pre-Processing) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการปรับแต่งและจัดเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมกับขั้นตอนการรู้จำต่อไป ขั้นตอนเหล่านี้มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เพราะหากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในส่วนนี้ ก็จะส่งผลกระทบต่อยังส่วนถัดไปของระบบด้วย

ขั้นตอนการประมวลผลเบื้องต้นใน โปรแกรมโอซีอาร์ที่สำคัญ ได้แก่

2.5.3.1 การกรองข้อมูลแทรกซ้อน (Noise Filtering)

การกรองข้อมูลแทรกซ้อนมีจุดประสงค์เพื่อลดทอนส่วนของรูปภาพที่เป็นสิ่งแปลกปลอมอันไม่พึงประสงค์ออกไป โดยข้อมูลแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักจะมาจากคุณภาพของเอกสารต้นฉบับที่นำมาทำการอ่าน ซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้ความถูกต้องของโปรแกรมลดลง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดการกับส่วนเกินเหล่านี้ออกไปให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่เรา尚无มีวิธีการใดที่รับรองได้ว่าสามารถจัดการกับข้อมูลแทรกซ้อนได้ โดยสมบูรณ์ ดังนั้นส่วนการรู้จำของโอซีอาร์ก็จะต้องมีความทนทานต่อการแทรกซ้อนเหล่านี้ได้พอสมควร

2.5.3.2 การปรับแต่งข้อมูล (Normalization)

การปรับแต่งข้อมูลเป็นการปรับภาพตัวอักษรให้อยู่ในรูปแบบที่ระบบต้องการเพื่อนำไปใช้ในขั้นต่อไป ตัวอย่างการปรับแต่งข้อมูลในโปรแกรมโอซีอาร์ต่างๆ ไป อาทิเช่น การปรับขนาดรูปตัวอักษร, การปรับตัวอักษรที่เอียงให้ตรง, การแปลงรูปสี่หรือเกรย์สเกลให้เป็นขาวดำ หรือในทางกลับกัน การแปลงรูปขาวดำให้เป็นสีหรือเกรย์สเกล เป็นต้น

2.5.3.3 การตัดแบ่งพื้นที่ใช้งาน (Cropping)

การตัดแบ่งพื้นที่เป็นการตัดแยกเอาเฉพาะรูปตัวอักษรออกมาจากภาพ เพื่อส่งให้ขั้นตอนการรู้จำในการระบุตัวอักษรนั้นเป็นรหัสอักขระใด หลักการพอดังที่เรารู้จักสำหรับการตัดรูปตัวอักษร โดยทั่วไปจะใช้พื้นที่สีขาว (สีพื้น) รอบรูปเป็นตัวกำหนดขอบเขตในการตัด ในขั้นตอนนี้มักจะประสบปัญหาที่ส่งผลกระทบต่ออัตราความถูกต้องของระบบ โดยรวมอยู่สองปัญหา ปัญหาแรกคือปัญหาตัวติด เกิดจากรูปของตัวอักษรตั้งแต่สองตัวขึ้นไปมีส่วนที่เชื่อมติดกัน ทำให้ไม่สามารถแยกตัวอักษรออกจากกันโดยใช้พื้นที่สีขาวรอบๆ ได้ จำเป็นต้องหาอัลกอริทึมพิเศษมาช่วยในการแยกตัวอักษรออกจากกัน ส่วนปัญหาที่สองในทางตรงกันข้าม เป็นปัญหาตัวขาดที่รูปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอักษรหนึ่งๆ ถูกแยกออกเป็นส่วนๆ ทำให้เวลาตัดตัวอักษรจากตัวเดียวจะ ได้เป็นสองตัว ซึ่งก็ต้องหาวิธีการเฉพาะสำหรับมาจัดการอีกเช่นกัน

2.5.3.4 การสกัดลักษณะสำคัญ (Feature Extraction)

การสกัดลักษณะสำคัญเป็นอีกขบวนการหนึ่งที่สำคัญมาก คำว่าส่วนใหญ่จะแยกส่วนนี้ออกจากการประมวลผลเบื้องต้น คือจะอยู่ระหว่างขั้นตอนการประมวลผลเบื้องต้นกับขั้นตอนการรู้จำ แต่ในที่นี้ขอรวมไว้ในตอนเดียวกัน การสกัดลักษณะสำคัญเป็นการดึงเอาโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของตัวอักษรนั้นออกมา โดยโครงสร้างพื้นฐานที่ว่าจะต้องมีการกำหนดไว้ก่อนว่าจะมีอะไรบ้าง มีการนิยามอย่างไร ตัวอย่างเช่น สำหรับภาษาไทยเราอาจกำหนดว่าตัวอักษรภาษาไทยทั้งหมดประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานคือ เส้นตรง (แนวตั้ง/นอน) เส้นเอียง หัว (วงกลม) ส่วนโค้ง ส่วนเว้า จุดแตกกิ่ง จุดตัด เป็นต้น เมื่อเราสามารถแยกเอาองค์ประกอบของตัวอักษรแต่ละตัวออกมาได้แล้ว จากนั้นเราก็นำเสนอรูปภาพของตัวอักษรนั้นในรูปแบบของรายการขององค์ประกอบพื้นฐานต่างๆ แทน ซึ่งจะถูกส่งต่อเป็นอินพุตสำหรับขั้นตอนการรู้จำต่อไป

2.5.4 การรู้จำ (Recognition)

ขั้นตอนนี้ถือเป็นหัวใจของระบบ เพราะเป็นส่วนที่จะตัดสินว่ารูปตัวอักษรที่ส่งเข้าไปเป็นรหัสตัวอักษรอะไร เช่นเดียวกับส่วนอื่นๆ ที่มีวิธีการหลากหลายซึ่งนำมาใช้เพื่อให้ได้ผลการทำงานที่ดีที่สุด เทคนิคใหม่ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับกับปัญหาที่เกิดจากเอกสารที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้น อย่างไรก็ตามเราพอที่จะจัดแบ่งเทคนิคเหล่านี้ออกเป็นกลุ่มตามแนวทางหลักที่ใช้ในการแก้ปัญหา ถึงแม้บ่อยครั้งที่พบว่ามีความคาบเกี่ยวกับเทคนิคที่นำมาใช้ระหว่างกลุ่มที่ว่านี้ ทั้งนี้เพราะแต่ละแนวทางก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน จึงมีความพยายามที่จะรวมเอาเทคนิคเหล่านี้มาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มความสามารถของระบบเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นการแบ่งกลุ่มในที่นี้ เป็นการแบ่งที่เน้นความชัดเจนในแง่ของขอบเขตทางทฤษฎีเป็นหลัก โดยแนวทางการรู้จำสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

2.5.4.1 วิธีการเข้ารูปร่าง (Template Matching)

วิธีการเข้ารูปร่างเป็นวิธีการแรกๆ ที่มาใช้ในการรู้จำตัวอักษร หลักการ โดยทั่วไปคือจะต้องมีรูปร่าง (template) ที่สร้างขึ้นมาสำหรับอ่านตัวอักษร โดยมีการกำหนดตำแหน่งสำคัญที่สามารถใช้แยกแยะความแตกต่างระหว่างตัวอักษรแต่ละตัว เวลาทำงานก็ให้นำรูปภาพที่ต้องการอ่านไปทาบบนแบบเพื่อวัดความคล้ายคลึงกันของภาพกับตัวแบบ จากนั้นก็ระบุว่าเป็นรหัสตัวอักษรอะไร โดยใช้ค่าผ่านระดับหรือวิธีการบางอย่างในการตัดสิน วิธีการนี้จะค่อนข้างอ่อนไหวต่อข้อมูลแทรกซ้อน ขนาด และการเอียงของตัวอักษร จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการปรับแต่งข้อมูลที่ตี นอกจากนั้นขั้นตอนการเปรียบเทียบก็ไม่ใช่ว่าสามารถเทียบกันแบบจุดต่อจุดได้ เพราะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติตัวอักษรที่ส่งเข้าสามารถมีความแปรปรวนได้หลายรูปแบบ ดังนั้นวิธีการเทียบก็ต้องมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะรองรับกับปัญหาดังกล่าวได้

2.5.4.2 วิธีทางสถิติ (Statistical Approach)

วิธีทางสถิติเป็นวิธีการที่ใช้หลักการทางสถิติ โดยนำค่าความน่าจะเป็นและ/หรือฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นมาใช้ในการตัดสินใจ รูปภาพอินพุตที่ได้มาจากขั้นตอนการสกัดลักษณะสำคัญ จะถูกส่งเข้าไปในส่วนการรู้จำเฉพาะของแต่ละตัวอักษร ซึ่งได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าความน่าจะเป็นที่อินพุตเป็นตัวอักษรใด เมื่ออินพุตได้ผ่านส่วนการรู้จำครบทุกตัวแล้ว ก็นำเอาผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันว่า ค่าความน่าจะเป็นของตัวอักษรใดมากที่สุด ผลลัพธ์จะออกเป็นตัวอักษรนั้น

2.5.4.3 วิธีการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง (Structural Analysis)

วิธีการวิเคราะห์ทางโครงสร้างคือการวิเคราะห์โครงสร้างตัวอักษร โดยถือว่าตัวอักษรทุกตัวประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งได้มาจากการสกัดลักษณะสำคัญ เช่นเดียวกับวิธีการทางสถิติ ต่างกันตรงที่ลักษณะสำคัญ ที่ส่งมาให้กับขั้นตอนการรู้จำแบบการวิเคราะห์ทางโครงสร้างนี้ มักจะใช้เป็นชื่อหรือค่าที่บอกาลักษณะ โครงสร้างสำคัญนั้นเป็นอะไร เช่น เส้นตรง วงกลม เป็นต้น แทนที่จะเป็นค่าจำนวนจริง ในขั้นตอนการรู้จำลักษณะสำคัญทั้งหลายที่ประกอบเป็นตัวอักษรนั้น จะถูกส่งเข้าไปให้กับส่วนที่ตรวจวิเคราะห์กฎการเขียนตัวอักษร เช่น ฟอรัมอลแกรมมาแมชชีน (formal grammar machine) โครงสร้างกราฟ หรือ โครงสร้างต้นไม้เป็นต้น เพื่อระบุว่าเป็นตัวอะไร ซึ่งจะตัดสินใจโดยการดูที่รูปแบบการเชื่อมต่อขององค์ประกอบต่างๆ เข้าเป็นตัวอักษรนั้น วิธีการนี้มีข้อดีตรงที่มีความยืดหยุ่นต่อความหลากหลายของตัวอักษรค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามอัตราความถูกต้องของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับ การสร้างกฎและการวิเคราะห์กฎที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของวิธีการนี้

2.5.5 ขบวนการประมวลผลขั้นปลาย (Post-Processing)

หลังจากที่ผ่านขั้นตอนการรู้จำแล้ว รูปตัวอักษรที่ถูกส่งเข้าไปจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นรหัสตัวอักษร ซึ่งก็ไม่ได้หมายความว่าเอาท์พุตที่ได้มาจะถูกต้องทั้งหมด ไม่มีผลิตภัณฑ์ไอซีอาร์ตัวใด ไม่ว่าจะเป็นภาษาใดก็ตามที่รับรองความถูกต้อง 100 % ดังนั้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องให้แก่โปรแกรมจึงได้มีการเสริมส่วนการตรวจสอบและแก้ไขข้อความเข้ามา โปรแกรมส่วนนี้มักจะทำงานเกี่ยวกับการตรวจสอบความถูกต้องของการสะกดคำและไวยากรณ์ภาษา โดยมักจะใช้พจนานุกรมมาช่วยในการตรวจสอบคำผิด ซึ่งอาจแก้ไขให้โดยอัตโนมัติหรือแสดงเครื่องหมายบางอย่างเพื่อบอกให้ผู้ใช้ทราบว่าคำดังกล่าวอาจไม่ถูกต้อง ซึ่งผู้ใช้อาจแก้ไขหรือไม่แก้ก็ขึ้นกับการตัดสินใจของผู้ใช้เอง นอกเหนือไปจากการตรวจสอบความถูกต้องระดับคำแล้ว บางโปรแกรมยังมีความสามารถตรวจสอบไวยากรณ์ในระดับประโยคได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนขบวนการประมวลผลขั้นปลายใน โปรแกรมโอซีอาร์เป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ถ้าพึ่งแต่ความสามารถของส่วนการรู้จำนั้น ไม่สามารถไปถึงระดับที่ผู้ใช้อยอมรับได้ (ซึ่งที่ต้องการจริงๆ คือ 100%) ดังนั้นส่วนนี้สามารถเพิ่มอัตราความถูกต้องให้แก่โปรแกรมได้ โดยเฉพาะในส่วนที่นอกเหนือจากความสามารถของส่วนการรู้จำ เช่น ตัวอักษรที่เปราะบางๆ หรือตัวอักษรที่ติดหรือขาด เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

เครื่องสแกนตัวอักษรนี้มีลักษณะการทำงานคือ ใช้หลักการสะท้อนจากแสงที่กระทบบนตัวอักษร(สีดำ) และบริเวณที่ไม่มีตัวอักษร(สีขาว) มาเข้าที่เซ็นเซอร์รับแสง จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณที่ได้รับจากการสะท้อนของสีขาวและสีดำ แล้วจึงส่งสัญญาณที่ได้ในลักษณะของข้อมูลดิจิทัลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลว่าเป็นตัวอักษรใด จากนั้นจึงแสดงผลผ่านจอแอลซีดีต่อไป

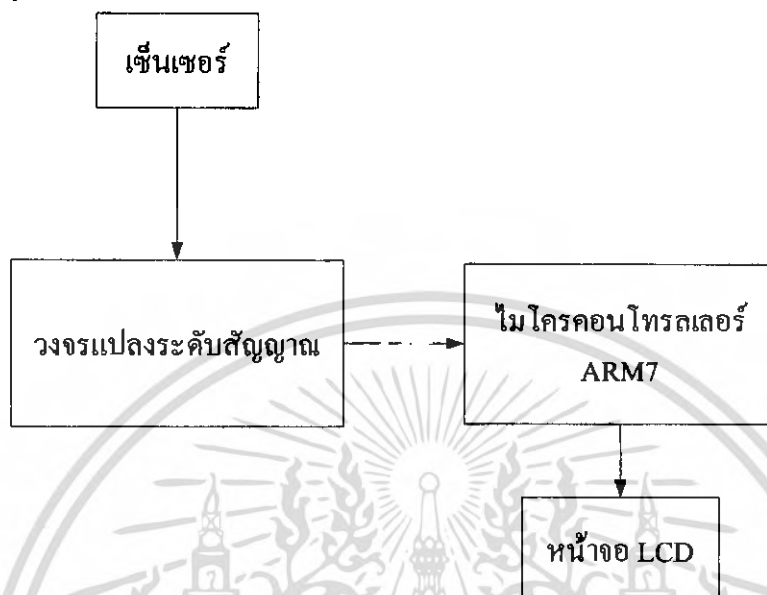
จากหลักการเบื้องต้นดังกล่าวสามารถแสดงได้ในรูปแบบของโฟลวชาร์ตได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของเครื่องสแกนตัวอักษร

Block Diagram

จากโฟลทวาร์ตสามารถแสดงการทำงานของเครื่องสแกนตัวอักษรในรูปแบบของ Block Diagram ได้ดังรูป



รูปที่ 3.2 วงจรของเครื่องสแกนตัวอักษรในรูปแบบ Block Diagram

จากรูปการทำงานของวงจรในแบบ Block Diagram แสดงให้เห็นว่าวงจรนี้แบ่งตามหน้าที่การทำงานจะประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้

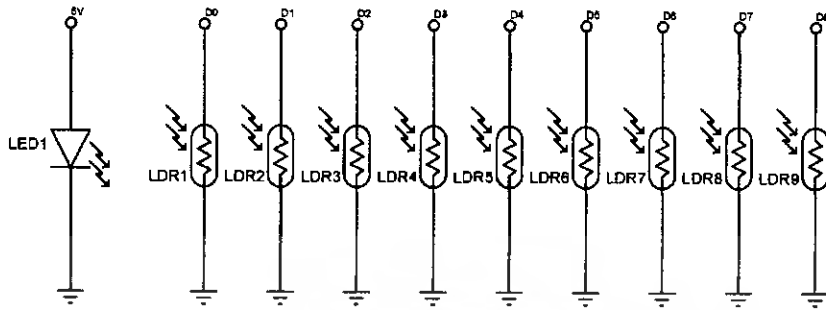
1. เซ็นเซอร์
2. ส่วนแปลงระดับสัญญาณ
3. ส่วนประมวลผลสัญญาณ
4. ส่วนแสดงค่าตัวอักษร

3.1 เซ็นเซอร์

ส่วนของเซ็นเซอร์ ใช้หลักการของการสะท้อนของแสง โดยใช้หลอดไฟแอลอีดีส่งแสงลงไปบนกระดาษที่มีตัวอักษรอยู่แล้วให้แสงสะท้อนกลับขึ้นมาจากกระดาษ เข้าสู่เซ็นเซอร์ อุปกรณ์การรับแสงที่ใช้ในวงจรนี้คือ แอลดีอาร์ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามความเข้มของแสงที่ได้รับ โดยภายในของเซ็นเซอร์จะเป็นแอลดีอาร์จำนวน 9 ตัว เพื่อใช้ในการรับค่าข้อมูลจำนวน 9 บิต แต่เนื่องจากถ้านำแอลดีอาร์มาเรียงกันทั้ง 9 ตัวจะได้เซ็นเซอร์ที่มีขนาดใหญ่มาก จึงได้มีการประยุกต์ใช้เส้นใยนำแสงมาเรียงกัน 9 เส้นแทน เพื่อให้ได้พื้นที่ของหัว (บริเวณปลาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ที่มีขนาดเล็กลง แล้วจึงนำปลายอีกด้านไปต่อกับแอลดีอาร์แต่ละตัวเพื่อนำแสงที่รับได้จากภายนอกเข้าสู่แอลดีอาร์

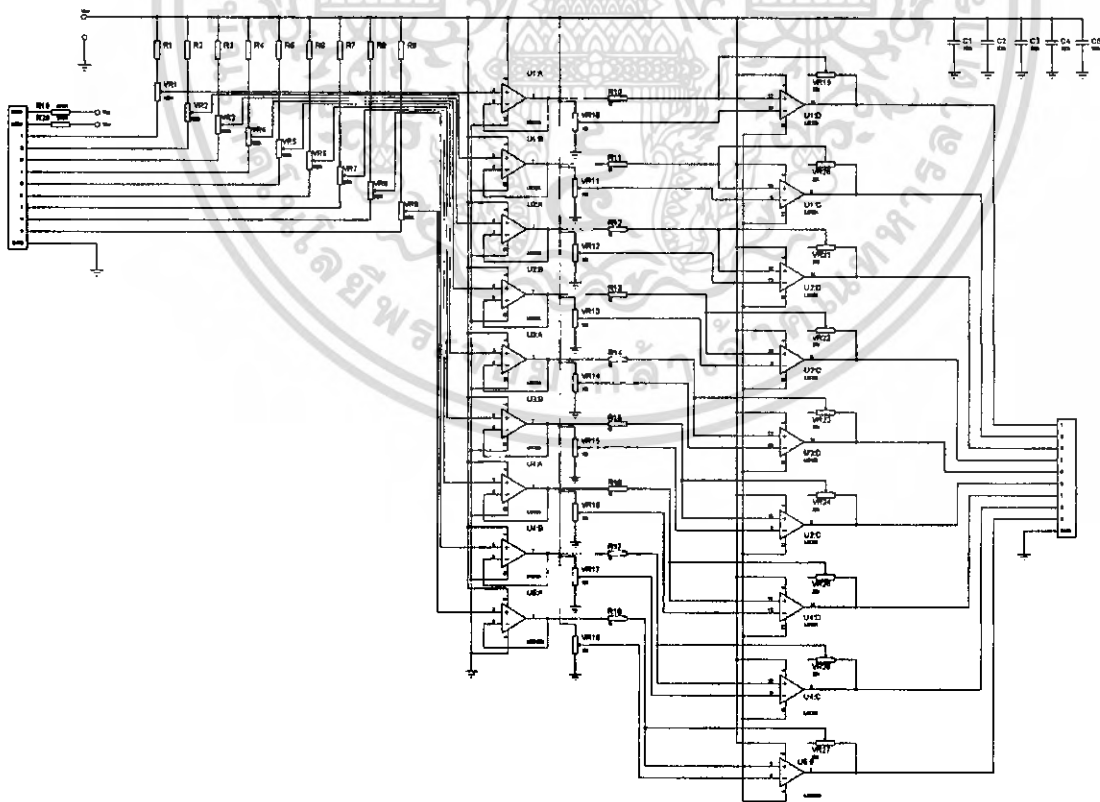


รูปที่ 3.3 วงจรที่อยู่ภายในของตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยชุดของแอลดีอาร์ และหลอดแอลอีดี

3.2 ส่วนแปลงระดับสัญญาณ

เป็นส่วนที่รับสัญญาณมาจากเซ็นเซอร์ เพื่อแปลงค่าที่ได้รับมาให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล

โดยการใช้วงจร Schmitt Trigger



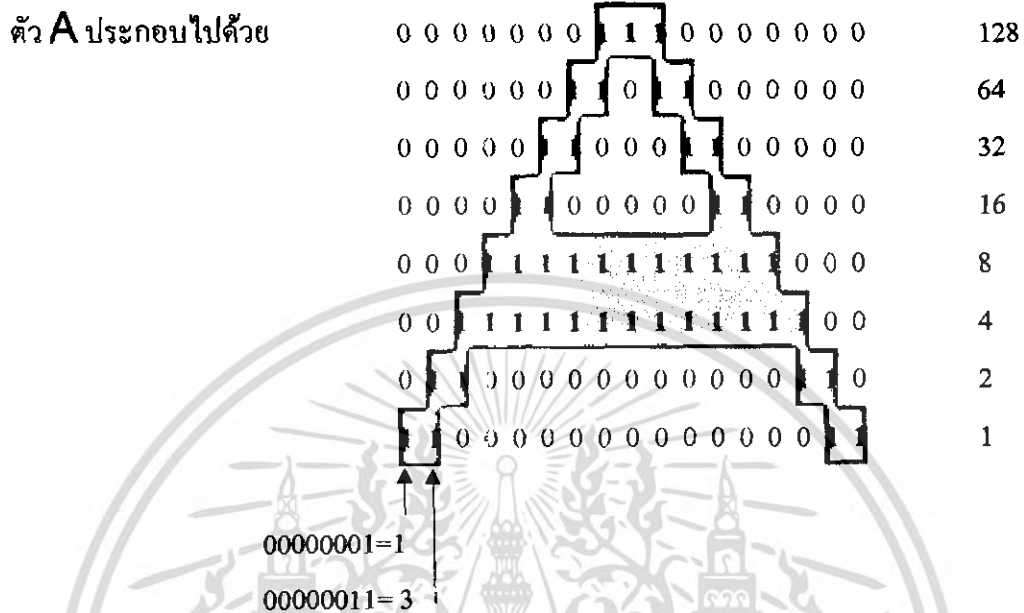
รูปที่ 3.4 วงจรแปลงระดับสัญญาณที่ใช้วงจร Schmitt Trigger เพื่อเปลี่ยนสัญญาณจากเซ็นเซอร์ให้อยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับขอใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ส่วนประมวลผลสัญญาณ

ข้อมูลที่ได้มาจาก Sensor จะอยู่ในรูปของเลขไบนารี 9 bit โดยจะแบ่งตามแถวแนวดิ่งตามลักษณะที่ได้จากการ Scan เช่น



ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์เมื่อแปลงเป็นเลขฐาน 10 แล้วจะได้ดังนี้

$$A = \{1, 3, 6, 12, 30, 62, 108, 204, 140, 204, 108, 62, 30, 12, 6, 3, 1\}$$

รูปที่ 3.5 ลักษณะตัวอย่างข้อมูลของตัวอักษรที่ได้รับ

การประมวลผลทำได้โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ว่าในข้อมูล 1 ข้อมูล มีค่าน้ำหนักของตัวอักษรใดเท่าไรบ้าง โดยจะสามารถหาน้ำหนักของข้อมูลได้โดยนำ 1.00 มาหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด จะได้ค่าน้ำหนักออกมา

$$\text{Weight } x = (1.00 / \text{จำนวนข้อมูลของ } x)$$

$$\text{เช่น Weight } A = (1.00 / 17) = 0.058$$

จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปประกอบการประมวลผล ว่าควรจะเป็นตัวอักษรนั้นๆ เท่าไร โดยเรียงตามลำดับก่อนหลัง

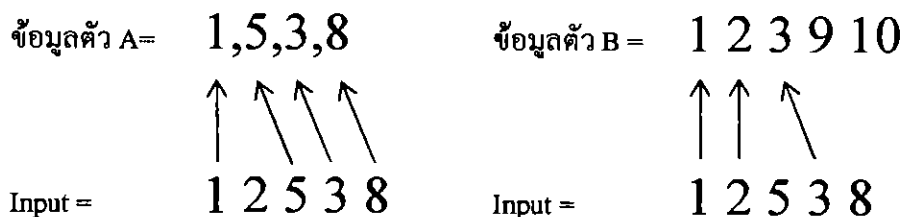
ตัวอักษรที่ได้จะเป็นตัวอักษรที่มีค่าผลรวมของน้ำหนักมากที่สุด

$$\text{เช่น ข้อมูลตัว } A = \{1, 5, 3, 8\} \text{ weight ของ ตัว } A = 0.25$$

$$\text{ข้อมูลตัว } B = \{1, 2, 3, 9, 10\} \text{ weight ของ ตัว } B = 0.20$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input = {1,2,5,3,8}



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเปรียบเทียบอินพุตและข้อมูลต้นแบบ

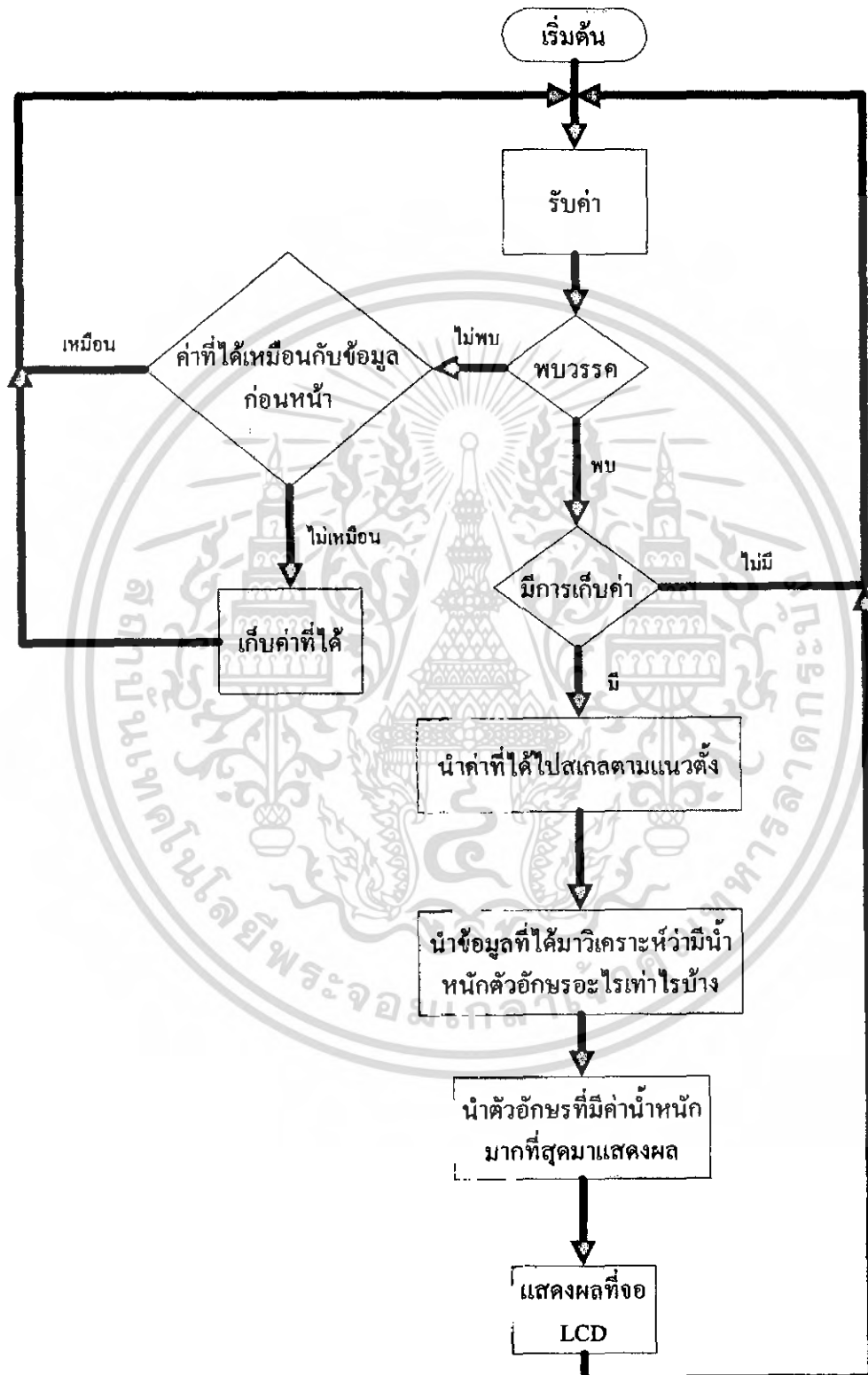
จะได้ น้ำหนักรวมของตัว A = $0.25_1 + 0.25_2 + 0.25_3 + 0.25_4 = 1.00$

น้ำหนักรวมของตัว B = $0.20_1 + 0.20_2 + 0.20_3 = 0.60$

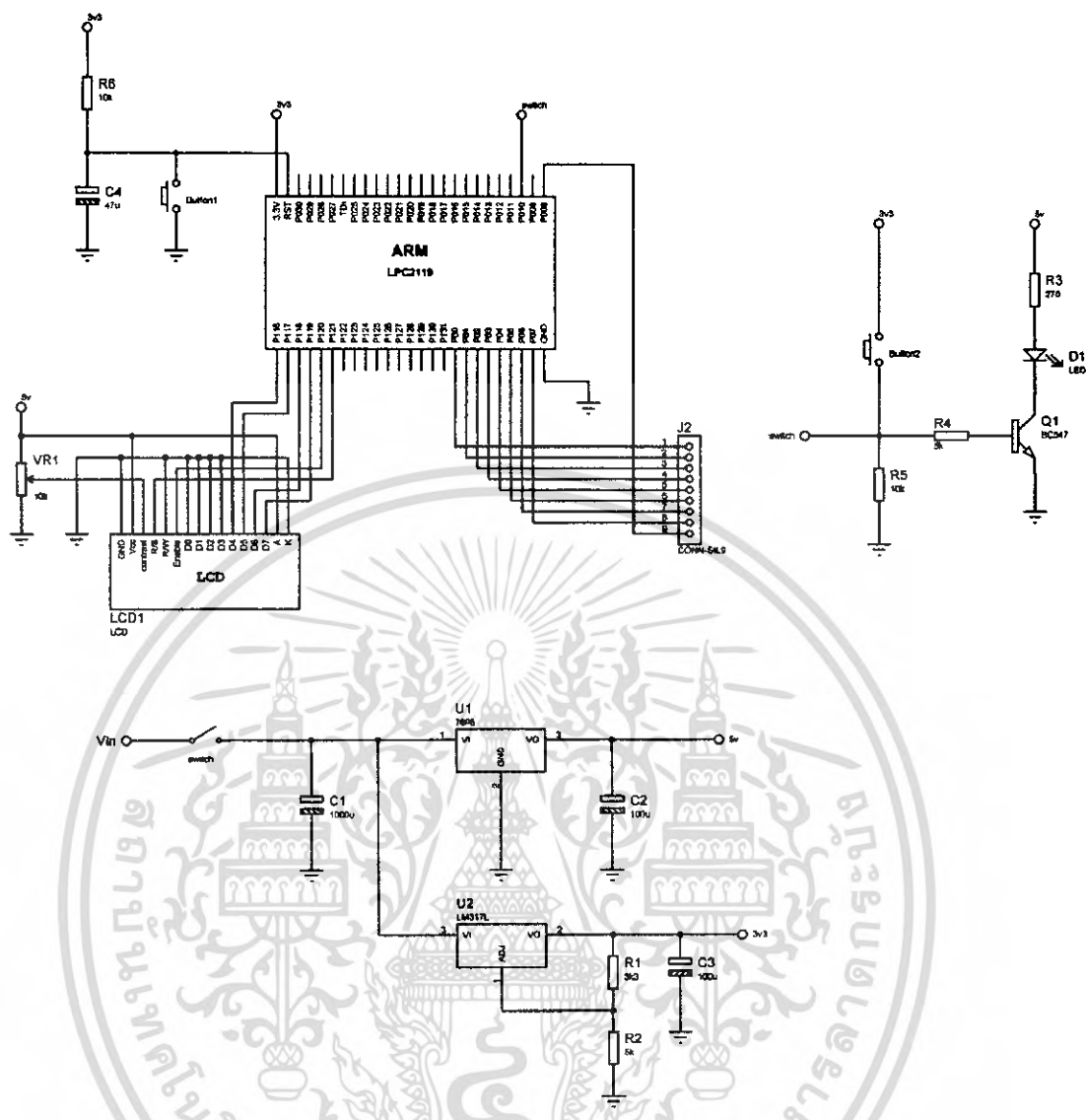
เพราะฉะนั้นเมื่อเทียบกันแล้วจะพบว่าน่าจะเป็นตัว B เพียง 0.60 แต่น่าจะเป็นตัว A ถึง 1.00 จึงได้ว่ามีความเป็นตัวอักษร A มากที่สุด

ลำดับขั้นตอนของการรับค่าเพื่อใช้ในการประมวลผลและการทำให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่ใช้การได้รวมถึงลำดับการวิเคราะห์ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังนี้

ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีผังการทำงานดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานในส่วนของโปรแกรม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟ ส่วนประมวลผลด้วย ARM-7 และส่วนแสดงผลด้วย LCD

3.4 ส่วนแสดงค่าตัวอักษร

เป็นส่วนสุดท้ายของการทำงานที่จะใช้แสดงตัวอักษรที่ได้จากการประมวลผลออกทางจอแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากการทดลองสแกนตัวอักษรทั้งตัวเล็กและตัวใหญ่ ทั้งหมดตัวละ 30 ครั้ง ได้ผลดังนี้

4.1 ตารางแสดงผลการสแกนตัวอักษรและเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จ สำหรับอักษรตัวพิมพ์ใหญ่

ตัวอักษร	% ความสำเร็จ
A	96.67
B	96.67
C	13.33
D	96.67
E	56.67
F	96.67
G	73.33
H	76.67
I	53.33
J	0.00
K	96.67
L	93.33
M	86.67
N	96.67
O	86.67
P	53.33
Q	0.00
R	93.33
S	96.67
T	93.33
U	90.00
V	96.67
W	96.67
X	73.33
Y	90.00
Z	83.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในการทดสอบตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตารางแสดงผลการสแกนตัวอักษรและเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จ สำหรับ อักษรตัวพิมพ์เล็ก

ตัวอักษร	% ความสำเร็จ
a	53.33
b	96.67
c	80.00
d	96.67
e	96.67
f	96.67
g	53.33
h	76.67
i	13.33
j	73.33
k	76.67
l	0.00
m	83.33
n	0.00
o	43.33
p	73.33
q	0.00
r	96.67
s	93.33
t	16.67
u	76.67
v	70.00
w	63.33
x	93.33
y	76.67
z	96.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.2 ผลการทดลองในการทดสอบตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก ๖ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

รายงานที่ได้นำเสนอกล่าวถึงความเป็นมา และหลักการตลอดจนทฤษฎีที่อ้างอิงในการ ออกแบบสร้างเครื่องสแกนตัวอักษร โดยใช้หลักการของการสะท้อนแสง เริ่มจากการนำแสงผ่าน เส้นใยแก้วนำแสง และตรวจจับด้วย LDR หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ไปเข้าสู่วงจร Schmitt Trigger เพื่อให้ได้สัญญาณในรูปของดิจิตอล แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่ส่วนประมวลผล โดยใช้ชุดประมวลผล ARM-7

จากผลการทดลอง พบว่า LDR แต่ละตัว มีคุณสมบัติที่ต่างกัน ทำให้สัญญาณแรงดันจาก การสแกนมีขนาดที่ไม่เท่ากันเนื่องจากช่วงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของ LDR แต่ละตัว ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ LDR แต่ละตัวก็ไม่เท่ากัน จึง ทำให้ความสามารถในการตรวจหาจุดสีดำและสีขาวมีความไวต่อการตรวจพบที่ไม่เท่ากัน ทำให้ ข้อมูลที่ได้จากการสแกนมีลักษณะที่ไม่ดีเท่าที่ควร แต่จากการใช้โปรแกรมเข้ามามีส่วนช่วยในการ ประมวลผล จึงทำให้สามารถแยกแยะและระบุได้ว่าข้อมูลที่ได้รับนั้นเป็นตัวอักษรใด โดยผ่านการ ปรับแก้และการเก็บค่าจริง จากการทดลองพบว่าตัวอักษรที่มีลายละเอียดมากจะมีเปอร์เซ็นต์ความ ถูกต้องให้การระบุตัวอักษรมากกว่าตัวอักษรที่มีความละเอียดน้อย

บรรณานุกรม

1. Mike Gilmore, **Fibre Optic Cabling Theory, Design and Installation Practice**, 1-21
2. William D. Stanley, **Operational Amplifiers with Linear Integrated Circuits, Third Edition**, 303-325
3. Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, **Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits**, Fifth Edition, 87-106
4. <http://www.se-ed.com/>
5. <http://www.howstuffworks.com/>
6. <http://www.ett.co.th/>
7. <http://www.sff.net/people/Jeff.Hecht/index.html>
8. <http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/may/radio5-5.htm>
9. <http://en.wikipedia.org/>
10. <http://encyclobeamia.solarbotics.net/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้