

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเทคนิคการตรวจวัดชีพจรโดยใช้แสง



รฟ.

๑/149ก

9539

นายผิงน่าน แ้วนแก้ว

นางสาวรุ่งฤดี ล้อยประเสริฐ

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....

วัน.เดือน.ปี.....

619527038

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF PULSE RATE BY USING LIGHT

Mr. Fhangan Vankeaw
Miss Rungluddee Luiprasert



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of The
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาเทคนิคการตรวจวัดชีพจรโดยใช้แสง

โดย

นาย ฝั่งน่าน แว่นแก้ว

นางสาว รุ่งฤดี ลุ่มประเสริฐ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี

อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
บังอนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(รศ. สุรพล รักvijัย)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

(ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี)

ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.วราวุฒิ เกล็ดดา)

กรรมการ

(ผศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน)

กรรมการ

(ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาเทคนิคการตรวจวัดชีพจรโดยใช้แสง
ชื่อนักศึกษา	นายฝั่งน่าน แวนแก้ว น.ส.รุ่งฤดี ลุ่มประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี อาจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2539

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยใช้หลักการของดีเทคเตอร์ทางแสง ซึ่งจะแปลงสัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับการเต้นของหัวใจ ซึ่งได้แก่ red LED กับ phototransistor สัญญาณจากดีเทคเตอร์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เห็นจังหวะการเต้นของหัวใจ โดยเรานำเอาสัญญาณที่ได้มาขยายให้โตพอแล้วทำการกำจัดสัญญาณรบกวนทิ้ง แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปผ่าน comparator เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วนำส่วนนี้ไปใช้งานได้หลายชนิด ไม่ว่าจะเอาเข้าลำโพง หรือนำไปประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

Special Project Title	A Study of Pulse Rate by Using Light
Name	Mr. Fhangnan Vankeaw Miss Rungluddee Luiprasert
Special Project Advisor	Dr. Ratchapak Chitaree Mr. Teerawat Prakorbpol
Department	Applied Physic
Academic Year	1996

Abstract

A technique of the pulse rate detection using light was studied and a pulse rate meter was built. The basic principle of the meter is that if a constant amount of light is transmitted through a pulsating vascular bed, more light is transmitted through the bed when the arterioles are nearly empty (cardiac diastole), and less light is transmitted through the bed when the arterioles are most full (cardiac systole). Therefore, if a constant beam of light is transmitted through the bed, intensity of the light that reaches the photodetector on the opposite side increases and decreases with the filling and empty, of the arterioles, as the light passes through the vascular bed a red LED used, the study intensity, its intensity is modulated by the filling and emptying of the arterioles, thus detecting an "ac" characteristic. Interestingly the "ac" characteristic can be further modulated by the color of the hemoglobin (the darker hemoglobin molecule, the more red light it will absorb). The output obtained corresponds to the pulse rate of a person under test. The signal is then fed to a series of circuit, i.e. noise reduction, comparator and amplifier circuits for improving signal to noise ratio. Finally, the pulse rate output is shown in the form of pulsating sound corresponding to the "ac" signal detected by the pulse rate meter.

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ได้รับความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือทางด้านต่างๆจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี และ อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล

ขอขอบคุณ พี่ ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ที่ช่วยให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ พี่ ปรมศุทธิ์ จันทร์เพ็ง ที่ช่วยให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ พี่ๆทุกคนที่อยู่บนภาควิชาที่ช่วยเหลือในการเบิกเงินและอุปกรณ์

ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคนที่มีใจช่วยเหลือและห่วงใยมาตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ช่วยสั่งสอน และให้ความรู้มาตลอด 4 ปี

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านที่เป็นกรรมการ

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ และพี่น้อง ที่เป็นกำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณทุกสิ่งทุกอย่างที่เกี่ยวข้องกันมาตลอดอย่างจริงใจ

นาย ฝั่งน่าน แฉ่นแก้ว

นางสาว รุ่งฤดี ลุ่มประเสริฐ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีทางฟิสิกส์	3
บทที่ 3 ทฤษฎีทางอิเล็กทรอนิกส์	16
บทที่ 4 การดำเนินงาน	52
บทที่ 5 ผลการวิจัย	59
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	63
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	ช
ประวัติผู้เขียน	ฉ
รายละเอียดคุณสมบัติอุปกรณ์	ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าประสิทธิผลของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ

หน้า

20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.2 การดูดกลืนแสงเมื่อผ่านวัตถุ	6
รูปที่ 2.3 ความเข้มของแสงที่ลดลงเมื่อผ่านวัตถุที่หนาต่างกัน	7
รูปที่ 2.4 ซีพอร์ส่วนกลางและส่วนปลาย	10
รูปที่ 2.5 ความแรงของซีพอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามการหายใจ	12
รูปที่ 2.6 การตรวจวัดซีพอร์ส่วนปลายที่นิ้ว	12
รูปที่ 2.7 ปริมาณการดูดกลืนแสงในการวัดซีพอร์	13
รูปที่ 2.8 การดูดกลืนแสงสีแดงและอินฟราเรดของเลือด	14
รูปที่ 2.9 การดูดกลืนแสงผ่านนิ้วมือนิ้วที่ทาเล็บสีต่างๆ	15
รูปที่ 3.1 การทำงานของแอลอีดี	16
รูปที่ 3.2 การขยายของโฟโตคาร์ลิงตันแสดงผลการเกิดกระแส	18
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ไวแสง	19
รูปที่ 3.4 ค่าประสิทธิผลของตัวให้แสงบนตัวรับแสง	20
รูปที่ 3.5 การหาค่ากระแสไบอัสที่อินพุท	22
รูปที่ 3.6 การหาแรงดันออฟเซทอินพุทของออปแอมป์	22
รูปที่ 3.7 วงจรขยายแบบกลับเฟส	23
รูปที่ 3.8 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	23
รูปที่ 3.9 วงจรบัฟเฟอร์	24
รูปที่ 3.10 การต่อบัฟเฟอร์อีกรูปแบบหนึ่ง	25
รูปที่ 3.11 การตอบสนองเชิงความถี่ในอุดมคติของวงจรกรองความถี่ต่ำ	25
รูปที่ 3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบแรก	26
รูปที่ 3.13 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบที่ 2	27
รูปที่ 3.14 การทำงานที่อินพุทด้านเดียว	28
รูปที่ 3.15 การทำงานที่อินพุท 2 ด้าน	29
รูปที่ 3.16 วงจรแคลมป์	30
รูปที่ 3.17 วงจรสมมูลย์และลักษณะเอาท์พุท	31
รูปที่ 3.18 เมื่อกลับหัวโคไอด	31
รูปที่ 3.19 การแคลมป์ที่ระดับ 2 โวลต์	32
รูปที่ 3.20 บล็อกหน่วยการทำงานพื้นฐานของMSC-51	33

เอกสารสิทธิ์ที่ 8051 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ 34
 ใช้อ้างอิงในการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 การต่อคริสตรอลภายนอกกับวงจรรอสวิตเตอร์ภายใน 8051	35
รูปที่ 3.23 ภาพเวลาพื้นฐานและลำดับช่วงเวลาในการทำคำสั่ง 1 ไบต์	36
รูปที่ 3.24 ไคอะแกรมโครงสร้างของ 8051	37
รูปที่ 3.25 ภาพเสมือนหน่วยความจำ	38
รูปที่ 3.26 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051	40
รูปที่ 3.27 สถาปัตยกรรมภายในของ 8051	42
รูปที่ 3.28 ไคอะแกรมขาของ 8051แบบ DIP	43
รูปที่ 3.29 โครงสร้างของพอร์ต 0	44
รูปที่ 3.30 โครงสร้างของพอร์ต 1	46
รูปที่ 3.31 โครงสร้างของพอร์ต 2	47
รูปที่ 3.32 โครงสร้างของพอร์ต 3	48
รูปที่ 3.33 ค่าของรีจิสเตอร์เมื่อเกิดการรีเซต	49
รูปที่ 3.34 วงจรรอสวิตเตอร์ภายใน 8051	51
รูปที่ 3.35 8051ที่ทำงานโดยสัญญาณที่ออกมาจากภายนอก	51
รูปที่ 4.1 บล็อกไคอะแกรมของวงจรร	52
รูปที่ 4.2 วงจรตรวจจับสัญญาณ	53
รูปที่ 4.3 วงจรภาคประมวลผล	56
รูปที่ 5.1 ลักษณะสัญญาณการเต้นของหัวใจ	59
รูปที่ 5.2 ภาพของวงจรรทั้งหมด	60
รูปที่ 5.3 ภาพของเครื่องมือเมื่อสำเร็จ	60
รูปที่ 5.4 แสดงการใช้งานอุปกรณ์	61

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกนำมาใช้ในวงการแพทย์มากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้เกิดปัญหาซึ่งทำความลำบากให้แก่ผู้ใช้เครื่องมือซึ่งเป็นบุคลากรทางการแพทย์ที่ไม่ได้ศึกษามาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในปัจจุบันนี้แล้วว่า เครื่องมือและอุปกรณ์มีความจำเป็นต่อวงการแพทย์สมัยใหม่มาก หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์ได้รุดหน้ามาเรื่อยๆ ขึ้นอยู่กับบทบาทการพัฒนาทางด้านขีดความสามารถของเครื่องมือและอุปกรณ์ ดังนั้นการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ จึงนับว่ามีบทบาทสำคัญมากที่สุดต่อเทคโนโลยีของอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ จึงทำให้เกิดการศึกษาเครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยอาศัยอุปกรณ์พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการเต้นของหัวใจโดยผ่านส่วนที่บางๆ ของร่างกายในที่นี้เราใช้นิ้วมือในการศึกษาเพื่อหาเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดโดยเราอาศัยอุปกรณ์พื้นฐานไม่กี่ชนิดและมีราคาถูก เพื่อเป็นการพัฒนาอุปกรณ์ให้เป็นอุปกรณ์ที่สมบูรณ์แบบขึ้นในทางการแพทย์

1.1 หลักการโดยย่อ

การศึกษาเทคนิคการตรวจวัดชีพจรโดยใช้แสงนี้ ได้ใช้หลักการทางฟิสิกส์เกี่ยวกับคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของวัตถุ ที่สัมพันธ์กับค่าตัวแปรต่างๆตามกฎของ Lambert - Beer ซึ่งเมื่อแสงส่องผ่านไปยังบริเวณส่วนที่บางๆของร่างกาย ปริมาณของแสงที่ตกกระทบจะถูกดูดกลืนไว้ค่าหนึ่ง และจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงที่ส่องผ่านออกมาจากร่างกายส่วนนั้นที่ขึ้นอยู่กับจังหวะการเต้นของหัวใจ โดยเราจะนำการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงนี้มาใช้ในการวิเคราะห์

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษนี้

- 1 นำความรู้ทางทัศนศาสตร์และอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้
- 2 ศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจโดยอาศัยหลักทางทัศนศาสตร์
- 3 เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้จริง

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการพิเศษนี้

1. ศึกษาหลักการใช้งานของ operation amplifier
2. ศึกษาหลักการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง
3. ศึกษาการควบคุมระบบการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีทางฟิสิกส์

จากการศึกษาถึงธรรมชาติของแสงที่ผ่านมาพบว่า มีทฤษฎีเกี่ยวกับแสงที่สำคัญอยู่ 2 ทฤษฎี ได้แก่

1. ทฤษฎีอนุภาคของนิวตัน (The Particle or Corpuscular Theory of Sir Isaac Newton) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า แสงคือลำอนุภาคที่หลุดมาจากแหล่งกำเนิดแสง

2. ทฤษฎีคลื่นของฮอยเกนส์ (Christion Huggens' Wave Theory) ซึ่งกล่าวว่า พลังงานแสงอยู่ในรูปของคลื่น

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าทฤษฎีทั้งสองมีข้อเสนอไปคนละทาง แต่ก็ยังเป็นประโยชน์ในการอธิบายเรื่องแสงได้ดีพอๆกัน ทั้งนี้ยอมแล้วแต่พฤติกรรมที่จะใช้สมบัติของแสงอธิบาย

2.1 สมบัติทางกายภาพของแสง

1. การกระจายเป็นแนวเส้นตรง เมื่อคลื่นที่ไปในตัวกลางที่มีความหนาแน่นเท่ากัน
2. การสะท้อน เมื่อคลื่นแสงสองไปกระทบวัตถุที่ไม่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่าน เช่น กระจก ทำให้คลื่นแสงเคลื่อนที่กลับไปในตัวกลางเดิม
3. การหักเห เมื่อคลื่นแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน ทำให้คลื่นแสงเปลี่ยนความเร็ว ผลทำให้คลื่นแสงเปลี่ยนแนวไปจากเดิม
4. การแทรกสอด เกิดขึ้นเมื่อคลื่นแสงตั้งแต่สองขบวนเคลื่อนที่ปะปนกัน
5. การเลี้ยวเบน เมื่อคลื่นแสงเคลื่อนที่ผ่านช่องเล็ก หรือขอบของวัตถุก็คดขวางจะทำให้คลื่นแสงเปลี่ยนแนวไปจากเดิม

2.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแต่ละขณะ อาจมีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว (monochromatic) หรืออาจมีความยาวคลื่นหลายค่า (polychromatic) และในกรณีที่มีหลายค่าอาจจะอยู่ในลักษณะที่ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ เราเรียกการกระจายของคลื่น (หรือพลังงาน)นี้ว่าสเปกตรัม ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีชื่อเรียกหลายชื่อขึ้นอยู่กับช่วง

- เมื่อ c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 f คือ ค่าความถี่
 λ คือค่าความยาวคลื่น

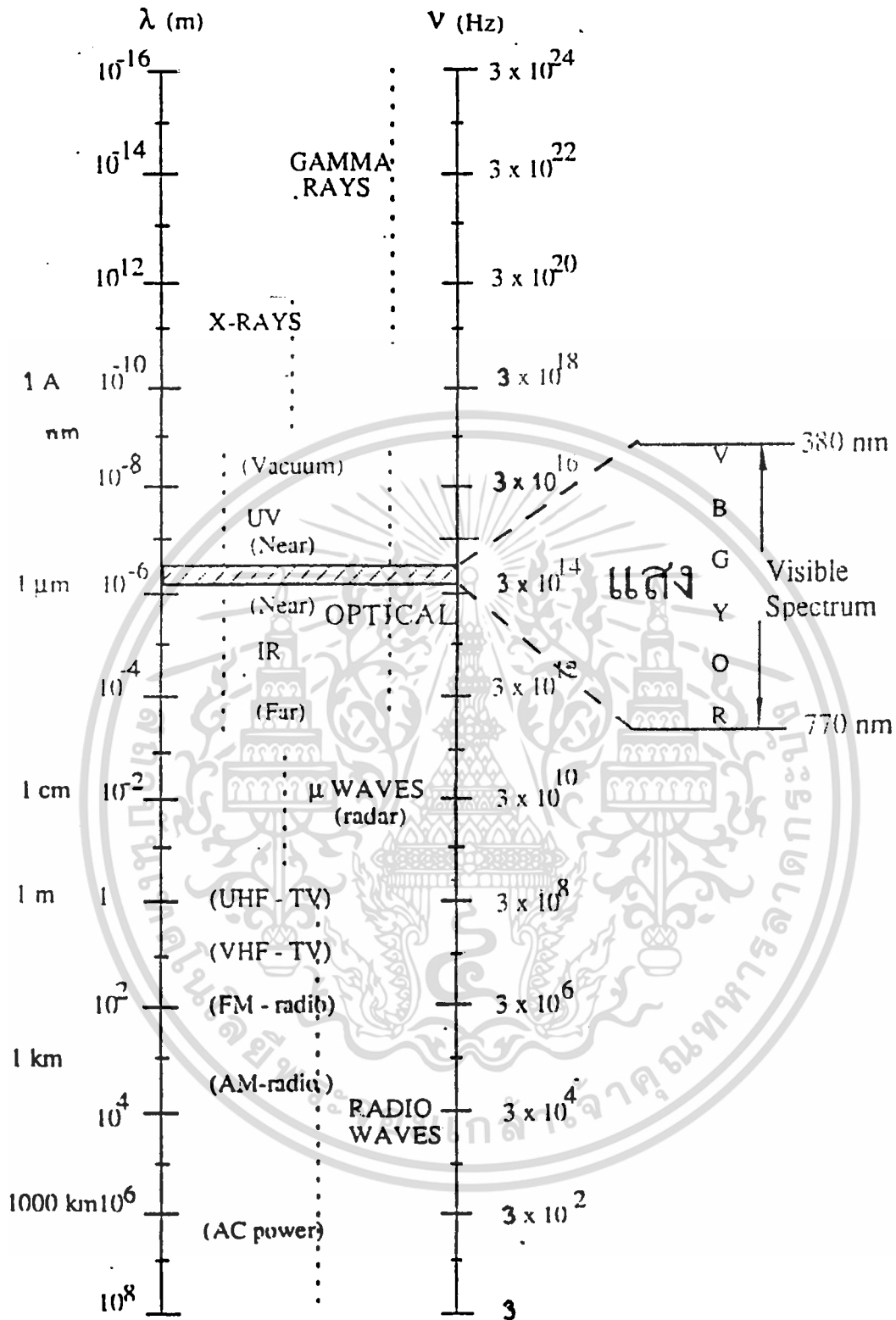
คลื่นในรูปที่ 1 นี้ถือว่าเป็นคลื่นที่อยู่ในสุญญากาศ ซึ่งอัตราเร็วคลื่น c มีค่า 3×10^8 เมตร/วินาทีในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 380 -770 นาโนเมตร เป็นช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็นของตามนุษย์ และเรียกกันว่าเป็นช่วงของแสง หรือช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็น (visible region) แสงช่วงนี้อยู่ระหว่างแสงสองช่วงที่มองไม่เห็น คือ อัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และอินฟราเรด (infrared) เรามักนิยมเรียก 3 ช่วงนี้รวมกันว่า optical region ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่หมายถึงในตำราทางทัศนศาสตร์ทั่วไป

คลื่นอินฟราเรด ในปี ค.ศ. 1800 Sir William Herschel ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับสเปกตรัมโดยใช้ปริซึม เขาวางเทอร์โมมิเตอร์ในช่วงบริเวณสีต่างๆที่เป็น visible light เขาพบว่าเทอร์โมมิเตอร์ได้แสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไปตามลำดับของแสงที่แถบสีต่างๆ เมื่อเขาได้ทำการทดลองต่อไป เขายังพบอีกว่าบริเวณที่เลยออกไปจากช่วงแสงสีแดงนั้นค่าอุณหภูมิยังสูงขึ้นอีก จากการค้นพบนี้ Herschel จึงทราบว่ายังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามองไม่เห็น ซึ่งเขาเรียกมันว่า infrared radiation หรือ infrared light

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าวัตถุทุกชนิดมีการให้คลื่นอินฟราเรดออกมา พวกเขาได้อธิบายแนวความคิดนี้บนพื้นฐานเรื่องการสั่นของอะตอมและโมเลกุล เมื่ออะตอมมีการสั่นมากขึ้น ก็จะมีการแผ่รังสีออกมามากขึ้น เมื่อมีการสั่นน้อยก็มีการแผ่ออกมาน้อย โดยรังสีนั้นก็จะเป็น infrared radiation นั่นเอง

จากที่กล่าวไว้แล้วว่าวัตถุจะมีการแผ่คลื่นอินฟราเรด แต่ในความเป็นจริงตัวมันเองก็มีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดด้วยเช่นกัน วัตถุที่มีสีเข้มจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนได้ดี ส่วนวัตถุที่มีสีอ่อนจะมีการดูดกลืนได้น้อย หรืออาจกล่าวได้อีกหนึ่งก็คือวัตถุที่มีสีอ่อนจะมีการส่งผ่านแสงได้ดีกว่าวัตถุที่มีสีเข้ม

ปัจจุบันมีฟิล์มบางชนิดที่สามารถบันทึกการแผ่คลื่นอินฟราเรด ฟิล์มชนิดนี้เรียกว่า infrared film และอินฟราเรดฟิล์มนี้เองก็ถูกนำมาใช้ถ่ายภาพเปลือกลูกโลก โดยมันจะแสดงให้เห็นช่วงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันของบริเวณผิวโลกได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น การบันทึกภาพของภูเขาไฟ โดยเราจะสามารถนำมาพิจารณาการระเบิดของมันได้



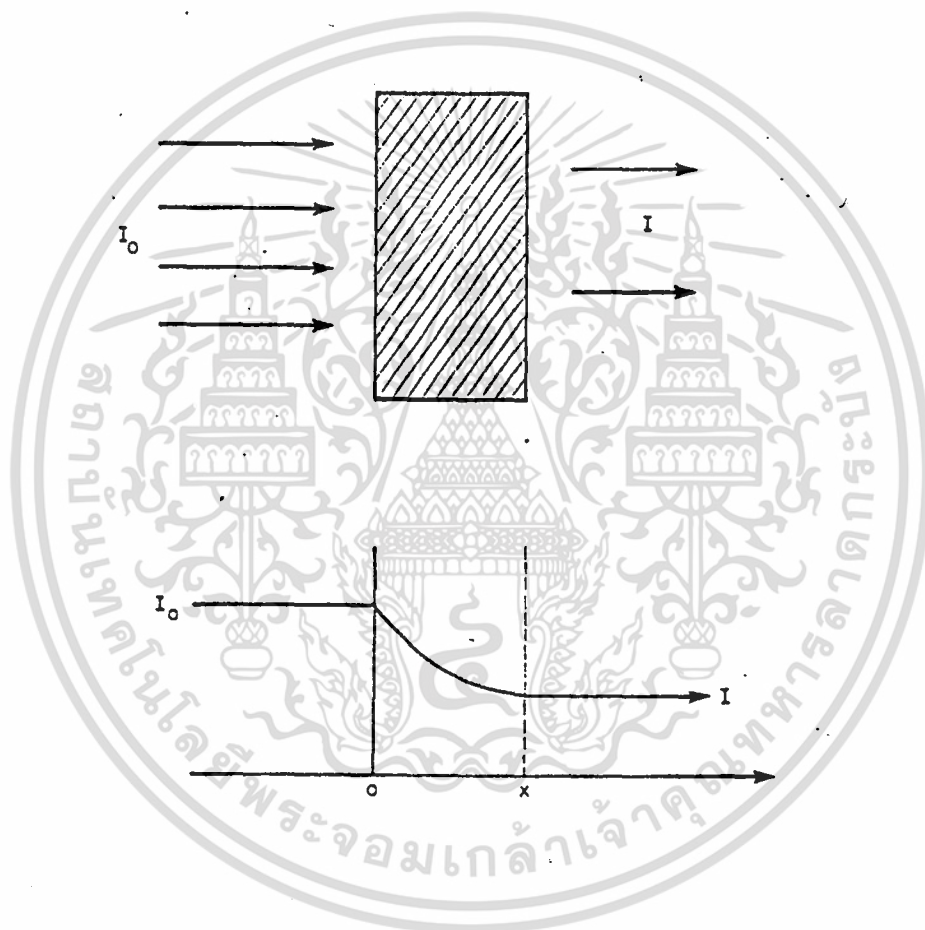
รูปที่ 2.1

แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติการดูดกลืนแสง

จาก Lambert-Beer Law ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อนำวัตถุมาทึบแสงที่มีความถี่เดียว วัตถุจะดูดกลืนแสงไว้บางส่วน จึงมีผลทำให้ความเข้มแสงที่ผ่านออกไปมีค่าลดลง ซึ่งค่าความเข้มที่ลดลงนั้นจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับค่าความหนา dx ของวัตถุที่มากั้น และความเข้ม I ของรังสีที่มาตกกระทบ ซึ่งเราจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ออกมาดังสมการ



รูปที่ 2.2 แสดงการดูดกลืนแสงเมื่อผ่านวัตถุ

$$-dI = \mu I_0 dx \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

- เมื่อ I_0 คือ ความเข้มแสงที่ตกกระทบ
 $-dI$ คือ ความเข้มที่ลดลงของแสง
 dx คือ ความหนาของวัตถุที่เป็นตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเชิงเส้น (linear absorption coefficient) ของสาร ซึ่งมีความหมายถึง ความน่าจะเป็นในการที่แสงปริมาณหนึ่งจะถูกดูดกลืนด้วยตัวกลางที่มีความหนาหนึ่งหน่วย โดยเราจะได้ว่า

$$\int \frac{dI}{I} = - \int \mu dx \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ถ้า

I_0 = ความเข้มเดิมของรังสีเดิมก่อนผ่านวัตถุดูดกลืน

I = ความเข้มหลังผ่านวัตถุดูดกลืนแสงหนา x แล้ว

ดังนั้น

$$\int \frac{dI}{I} = - \int_0^x \mu dx$$

$$\ln \left[\frac{I}{I_0} \right] = - \mu [x]_0^x$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = - \mu x$$

$$\mu = - \frac{1}{x} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

μ มีหน่วยเป็น (เซนติเมตร)⁻¹ หรือ (เมตร)⁻¹

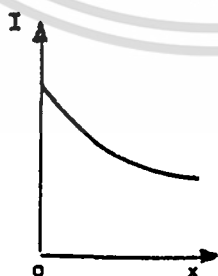
จาก

นั่นคือ

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

ความเข้มของรังสีเมื่อผ่านวัตถุความหนาต่างๆแสดงได้ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงความเข้มของรังสีเมื่อผ่านวัตถุหนาต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $X_{1/2}$ แทนครึ่งความหนาของวัตถุ (Half Value Thickness) ซึ่งเมื่อนำมาทึบรังสีแล้ว จะทำให้ความเข้มลดลงครึ่งหนึ่ง

$$\text{แทนค่า } X = X_{1/2} \text{ และ } I = \frac{I_0}{2} \text{ ลงในสมการ}$$

$$\ln \frac{I_0}{2I_0} = -\mu x_{1/2}$$

$$\mu x_{1/2} = \ln 2 = 0.693$$

$$\mu = \frac{0.693}{x_{1/2}} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

μ เป็นค่าที่ไม่คงที่ตลอดไป โดยขึ้นกับชนิดของรังสี ชนิดของวัตถุดูดกลืนและพลังงานของรังสีนอกจากนี้ยังพบว่า μ ของวัตถุต่างๆขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุด้วย

ถ้าเอาความหนาแน่นหารค่า μ จะได้ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนต่อหน่วยมวล μ_m (mass absorption coefficient)

$$\ln \frac{I}{I_0} = \mu x = \left(\frac{\mu}{\rho} \right) (x\rho)$$

$$= \mu_m x \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

เมื่อ X เป็นความหนาของวัตถุ = $x\sigma$ มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเซนติเมตร

$$I = I_0 e^{-\mu_m x} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

การใช้ค่า μ_m ดีตรงที่ใช้กับสารในสถานะใดๆก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นแก๊ส ของแข็ง หรือของเหลวและไม่ขึ้นกับชนิดของสาร ยกเว้นธาตุที่มีเลขมวลสูงๆ

2.4 การประยุกต์ใช้งานทฤษฎีของ Lambert-Beer ในการวัดชีพจร

ชีพจร (pulse) หมายถึง คลื่นของความสั่นสะเทือนซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดภายในหลอดเลือด มีลักษณะเป็นคลื่น สามารถวัดได้เป็นส่วนโค้งสูงขึ้นในขณะที่หัวใจบีบตัว (systole) ไหล่เลือดเข้าสู่หลอดเลือด และลดลงในขณะที่หัวใจคลายตัว (diastole) ส่วนที่สูงขึ้นจากระดับ diastole เรียกว่า pulse pressure เป็นความดันที่ลดลงตามปกติขณะที่เลือดไหลผ่านหลอดเลือดในช่วงระยะเวลา 1 รอบการทำงานของหัวใจ

การเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นภายในห้องหัวใจ ถูกส่งออกไปพร้อมกับเลือดเป็นคลื่นของเหลว ผนังหลอดเลือดมีคุณสมบัติยืดหยุ่น สามารถยืดขยายรับเลือดที่ถูกฉีดออกมาเป็นระยะๆ จากหัวใจ และหดกลับสู่สภาพเดิมไล่เลือดต่อไปยังหลอดเลือดส่วนปลาย ทำให้เกิดคลื่นของเหลวกระเพื่อมขึ้น-ลงตลอดแนวของหลอดเลือด คลื่นนี้สามารถรู้สึกได้เพียงการสัมผัสด้วยปลายนิ้ว

ชีพจรสามารถตรวจพบได้ทั้งในหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดง ชีพจรในหลอดเลือดดำสามารถตรวจได้โดยดูการขยับขึ้นลงของผิวหนังบริเวณลำคอ คลื่นภายในหลอดเลือดดำบริเวณลำคอ (internal jugular vein) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันในเอเทรียมขวา ด้วยเหตุนี้ชีพจรในหลอดเลือดดำตำแหน่งนี้ จึงใช้บ่งถึงการหดตัวของเอเทรียม ตรงกันข้ามกับชีพจรในหลอดเลือดแดง ซึ่งบ่งถึงการหดตัวของเวนทริเคิล

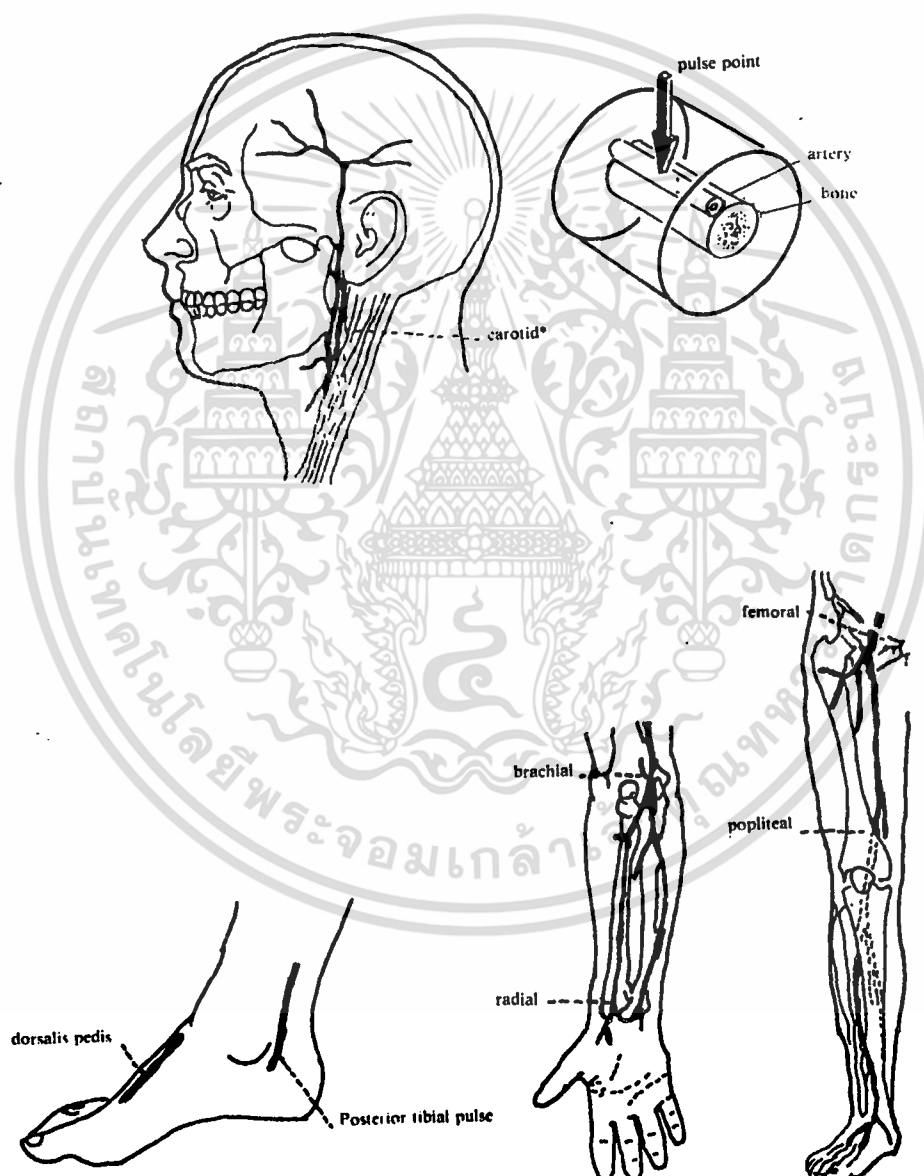
ชีพจรที่พุดถึงโดยทั่วไป หมายถึง ชีพจรของหลอดเลือดแดง (arterial pulse) ซึ่งเกี่ยวข้องกับลำดับการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอภายในห้องหัวใจ การเปลี่ยนแปลงความดันภายในหัวใจห้องล่างด้านซ้ายถูกส่งออกไปกับเลือดเป็นคลื่นความดันเข้าสู่ aorta และถูกส่งผ่านไปจนถึงหลอดเลือดแดงส่วนปลาย (peripheral arteries) การขยายออกและกลับสู่สภาพเดิมของหลอดเลือดแดงส่วนปลายเป็นจังหวะเนื่องมาจากคลื่นความดันที่ถูกส่งออกมาจาก aorta เกิดขึ้นตลอดหลอดเลือดแดง และสามารถสัมผัสได้ในบริเวณที่หลอดเลือดแดงอยู่ในตำแหน่งที่ตื้นๆ ใกล้ผิวหนัง

อัตราชีพจรของหลอดเลือดแดงมีค่าเท่ากันทุกตำแหน่งที่ตรวจพบได้ในร่างกาย แต่มีความหมายต่างกันดังนี้

1. ชีพจรส่วนกลาง (central pulse) เป็นชีพจรของหลอดเลือดแดงใหญ่ๆ เช่น carotid pulse และ femoral pulse บ่งถึงการได้รับเลือดของอวัยวะที่สำคัญต่อชีวิต คือ สมอง หัวใจและปอด การจับชีพจรส่วนกลางจะทำต่อเมื่อต้องการประเมินสถานะการไหลเวียนโลหิตในภาวะวิกฤตหรือเสี่ยงต่อการเสียชีวิต

2. ชีพจรส่วนปลาย (peripheral pulse) เป็นชีพจรของหลอดเลือดขนาดกลางทั่วไป เช่น radial pulse, temporal pulse, posterior tibial pulse และ dorsalis pedis pulse บ่งได้ถึงการได้รับเลือดของเนื้อเยื่อ

การจับชีพจรทางคลินิกนิยมใช้ชีพจรที่ข้อมือ (radial pulse) ซึ่งอยู่ต้น คอได้สะดวกและเป็นชีพจรส่วนปลาย บ่งชี้ถึงการได้รับเลือดของเนื้อเยื่อ ด้วยเหตุนี้ การประเมินชีพจรจึงถูกจัดเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินสัญญาณชีพ ข้อมูลที่ได้แสดงถึงการทำงานของหัวใจและระบบไหลเวียนส่วนปลาย



รูปที่ 2.4 ชีพจรส่วนกลางและส่วนปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวใจมีหน้าที่บีบตัวส่งเลือดออกไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย อัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจเป็นปัจจัยสำคัญมากอันหนึ่งในระบบไหลเวียน เพราะบอกถึงอัตราขนส่งสารทั้งหลายในเลือดไปสู่หรือนำออกจากเนื้อเยื่อต่างๆทั่วร่างกาย อัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจ (cardiac output หรือ CO) มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการเต้นของหัวใจ(heart rate หรือ HR) และปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจต่อการบีบตัวแต่ละครั้ง (stroke volume หรือ SV) เขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

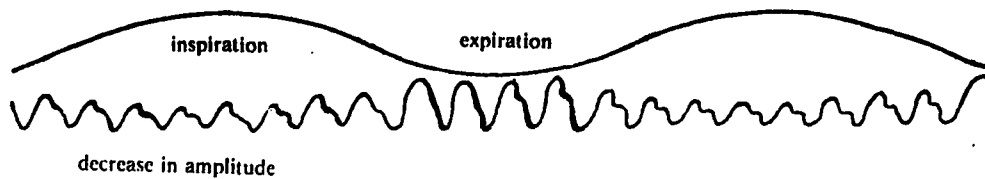
$$\text{CO (ม.ล.ต่อนาที)} = \text{HR (ครั้งต่อนาที)} \times \text{SV (ม.ล.ต่อนาที)}$$

เมื่อใช้ชีพจรเป็นเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ การเต้นของหัวใจแต่ละครั้งเลือดที่ฉีดออกจากหัวใจจะมีอัตราการไหลช้ากว่าคลื่นความดันเลือดมาก เลือดต้องใช้เวลาหลายวินาทีกว่าจะไหลไปถึงข้อมือ ซึ่งเป็นเวลาที่คลื่นความดันถูกส่งออกไปแล้วอีกหลายครั้ง ชีพจรที่ข้อมือเป็นชีพจรที่นิยมใช้หาอัตราการเต้นของหัวใจมากที่สุด สิ่งสำคัญที่ควรระลึกก็คือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันในหลอดเลือด radial จะสามารถทราบได้โดยการจับชีพจร การเพิ่มความดันอย่างรวดเร็วจาก 80 มม.ปรอท เป็น 120 มม.ปรอทจะถ่ายทอดเป็นคลื่นของเหลวผ่านแขนงของหลอดเลือดอย่างรวดเร็วด้วยความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที และการเปลี่ยนแปลงความดันนี้จะไปถึงข้อมือภายใน 0.1 วินาที และถึงข้อเท้าคล้ำเป็นชีพจรได้ภายในเวลา 0.2-0.3 วินาที แต่เลือดใช้เวลา 2.5 วินาทีกว่าจะเดินทางไปถึง

ด้วยเหตุนี้แม้การมีชีพจรจะเป็นเครื่องยืนยันว่า มีการติดต่อไหลหลอดเลือดแดงระหว่างหัวใจกับจุดที่คล้ำชีพจรเป็นปกติ แต่การคล้ำไม่พบชีพจรก็มิได้หมายความว่า ไม่มีเลือดไหลในหลอดเลือดแดงนั้น เพราะคลื่นความดันที่เกิดขึ้นอาจมีขนาดอ่อนเกินกว่าจะถูกส่งมาถึงอวัยวะส่วนปลาย หรืออาจมาถึงแต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยการรับความรู้สึกจากการสัมผัสผ่านผิวหนังเหนือหลอดเลือดนั้น หรือด้วยสาเหตุใดก็ตามที่ทำให้ไม่เกิดความแตกต่างของความดันและมีความดันเฉลี่ยภายในหลอดเลือดมีค่าเป็น 100 มม.ปรอท จะไม่สามารถตรวจพบชีพจรได้ทั้งๆที่ยังมีอัตราการไหลของเลือดอย่างเพียงพอ

นอกจากนี้ความแรงของชีพจรในแต่ละช่วงจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้จะเปลี่ยนแปลงตามการหายใจเข้าออก ในคนปกติอาจไม่เด่นชัดจนสามารถแยกได้จากการคล้ำ แต่จะเด่นชัดขึ้นในระหว่างมี forced inspiration พบชีพจรเบาลงขณะหายใจเข้า และแรงในขณะที่หายใจออก

จังหวะการเต้นของชีพจรที่ช้าลงขณะหายใจเข้าเรียกว่า Respiration sinus arrhythmia เป็นการคลาดจังหวะที่สามารถคาดคะเนได้ว่าชีพจรคราวต่อไปจะมาเมื่อไร

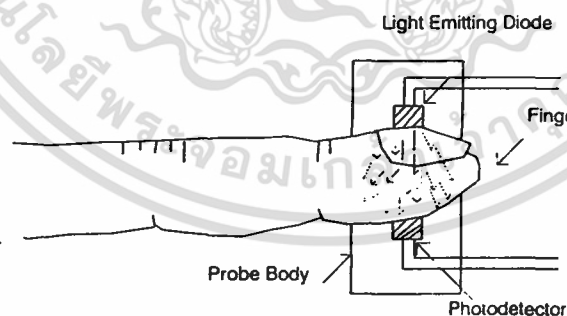


รูปที่ 2.5 ความแรงของชีพจรที่เปลี่ยนแปลงตามการหายใจ

เมื่อ inspiration คือ การหายใจเข้า

และ expiration คือ การหายใจออก

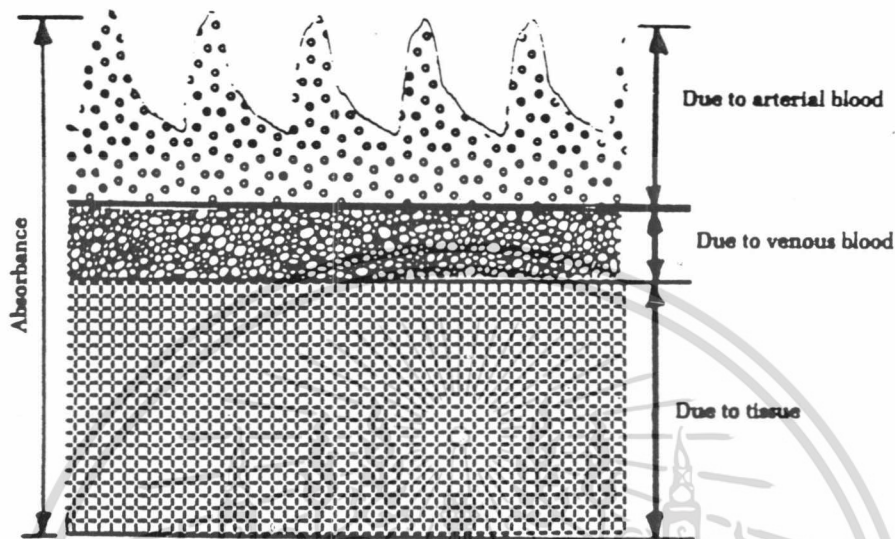
จากทฤษฎีของ Lambert-Beer ที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ซึ่งกล่าวถึงการดูดกลืนแสงของวัตถุตามปริมาณที่แปรตามคุณสมบัติวัตถุตัวกลางนั้นๆ เช่น ชนิดของวัตถุ ความหนาแน่นของวัตถุ และความหนาของวัตถุ ดังนั้นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับสัญญาณชีพจร โดยการให้แสงส่องผ่านบริเวณส่วนต่างๆของร่างกาย เช่น นิ้วมือ ตีนหนู หรือปลายจมูก ดังในรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นการวัดชีพจรส่วนปลาย จะทำให้ปริมาณของแสงที่ทะลุผ่านอวัยวะส่วนต่างๆของร่างกายนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเป็นดังลักษณะในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 การตรวจวัดชีพจรส่วนปลายที่ปลายนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะพิจารณาสัญญาณแสงที่ถูกดูดกลืนในการวัดชีพจรดังรูปที่ 2.7 โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่แสงถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อของร่างกายหรือกระดูก ส่วนที่แสงถูกดูดกลืนโดยเลือดในหลอดเลือดดำหรือเส้นเลือดฝอย และส่วนที่ถูกดูดกลืนโดยเลือดแดง



รูปที่ 2.7 ปริมาณการดูดกลืนแสงในการวัดชีพจร

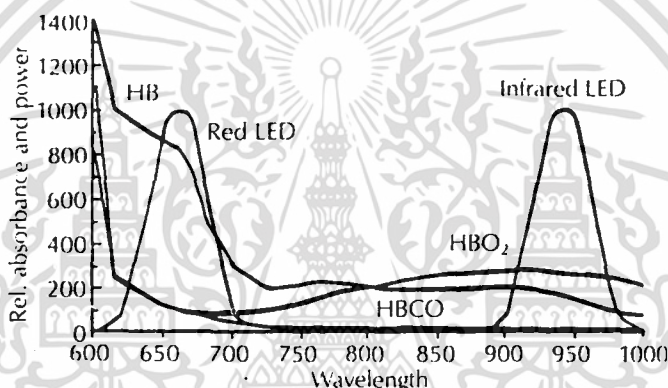
ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อของร่างกายและกระดูก (due to tissue) และ ส่วนของปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยเลือดดำ (due to venous blood) จะมีค่าการลดทอนแสงที่ทะลุผ่านออกมาคงที่ โดยในแต่ละคนจะมีการดูดกลืนแสงจากส่วนนี้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของลักษณะต่างๆตาม Lambert-Beer Law แต่ในส่วนที่ 3 ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงเนื่องจากเลือดแดง (arterial blood) นี้เองที่จะแสดงให้เห็นถึงจังหวะการเต้นของหัวใจได้ โดยเมื่อหัวใจบีบตัวเพื่อส่งเลือดออกไป จะทำให้เลือดมีค่าความดันที่ค่าหนึ่ง ที่ค่าความดันเลือดเท่านี้จะทำให้มีปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนอยู่ค่าหนึ่ง และเมื่อหัวใจคลายตัวก็จะมีการเปลี่ยนแปลงความดันของเลือดอีกครั้ง ค่าปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เนื่องจากการบีบและคลายตัวของหัวใจนี้เอง จึงทำให้เลือดมีการไหลเคลื่อนที่เป็นลักษณะแบบคลื่น และแน่นอนว่าปริมาณแสงที่ตรวจวัดออกมาได้จึงมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็น pulse ตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง

นอกจากคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัตถุตัวกลาง ความหนาแน่นของตัวกลาง ความหนาของตัวกลางแล้ว สีของวัตถุนั้นยังมีผลต่อปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนอีกด้วย อย่างเช่นในกรณีที่เราสามารถมองเห็นแสงสีแดงได้ ก็เนื่องมาจากวัตถุนั้นมีการดูดกลืนแสงสีแดงน้อย หรืออาจกล่าวได้อีกนัยว่ามันส่งผ่านแสงสีแดงได้มาก เราจึงได้นำหลักการนี้มาเป็นแนวพิจารณาการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่จะใช้ในการตรวจวัดชีพจร

จากการศึกษาการดูดกลืนแสงของเลือดในลักษณะต่างๆ โดยใช้แสงในย่านสีแดงและแสงอินฟราเรดของ Clark JS, et al: Am Rev Respir Dis 1992 จะพบว่ามีลักษณะการดูดกลืนแสงดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การดูดกลืนแสงสีแดงและอินฟราเรดของเลือด

เมื่อ HbO₂ หมายถึง เลือดที่มีการจับตัวกับออกซิเจน (oxygenated hemoglobin) ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการหายใจเข้า เมื่อร่างกายรับออกซิเจนเข้ามา ก็จะถูกนำมาสันดาปกับเลือดที่ปอด แล้วส่งต่อไปยังหัวใจ เพื่อสูบฉีดไปทั่วร่างกาย

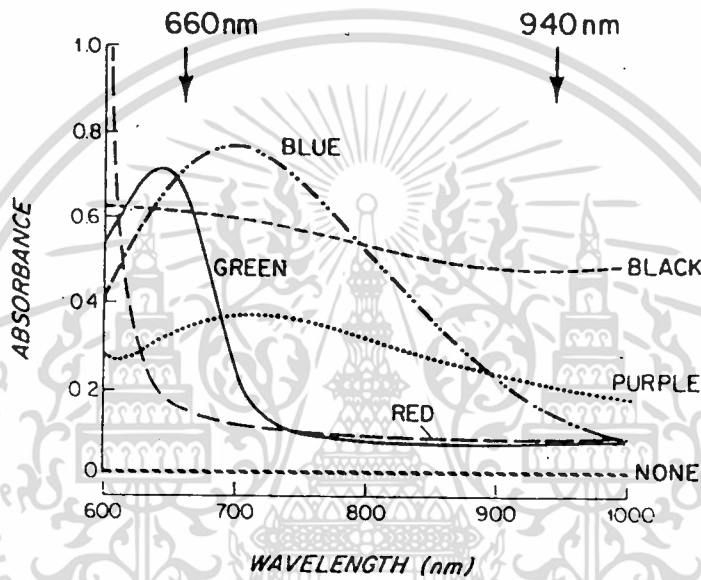
HB หมายถึง เม็ดเลือดที่ปล่อยออกซิเจนออก (deoxygenated hemoglobin) เมื่อเลือดถูกส่งออกมายังส่วนต่างของร่างกาย ก็จะคายออกซิเจนออกมาเพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตลอดเวลาเนื่องจากขบวนการทำงานของร่างกาย

HbCO หมายถึง เม็ดเลือดที่มีการจับตัวกับคาร์บอนมอนอกไซด์ (carboxy hemoglobin) เพื่อวนกลับไปปอด แล้วถูกส่งออกไปจากร่างกายโดยการหายใจออก



จากรูป 2.8 จะเห็นได้ว่าแสงสีแดงจะให้ความแตกต่างของการดูดกลืนระหว่าง HBO₂ และ HBCO ได้ดีกว่า infrared ดังนั้นในการตรวจวัดจึงเลือกใช้แสงสีแดง เพราะนอกจากจะสามารถตรวจจับคลื่นสั้นสะท้อนของเลือดตามการเต้นของชีพจรแล้ว ยังจะให้ผลตามคุณสมบัติการดูดกลืนที่สัมพันธ์กับสีได้ดีกว่า

นอกจากนี้ Cote CJ, Goldstein EA, Fuchsman WH, Hoaglin DC ได้ทำการทดลองเพื่อดูคุณสมบัติการดูดกลืนแสงที่สัมพันธ์กับสีของวัตถุตัวกลาง โดยให้แสงที่ย่านความยาวคลื่น 600-1000 นาโนเมตร ส่องผ่านนิ้วมือที่มีการทาเล็บสีต่างๆ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การดูดกลืนแสงผ่านนิ้วมือที่ทาเล็บสีต่างๆ

2.6 สรุป

เราใช้คุณสมบัติการดูดกลืนแสงของวัตถุตาม Lambert-Beer Law ในการตรวจวัดชีพจร เมื่อเราส่องแสงผ่านอวัยวะส่วนต่างๆของร่างกาย แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของแสงที่ทะลุผ่านตามอัตราการเต้นของหัวใจ และนอกจากปริมาณของแสงจะถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อ กระดูก และเลือดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ สีผิว สีเล็บอีกด้วย ดังนั้นในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดในการตรวจจับสัญญาณ จะต้องแสดงให้เห็นความแตกต่างของจังหวะการเต้นของหัวใจได้มากที่สุด โดยจะต้องมีการป้องกันการรบกวนแสงจากภายนอกอีกด้วย

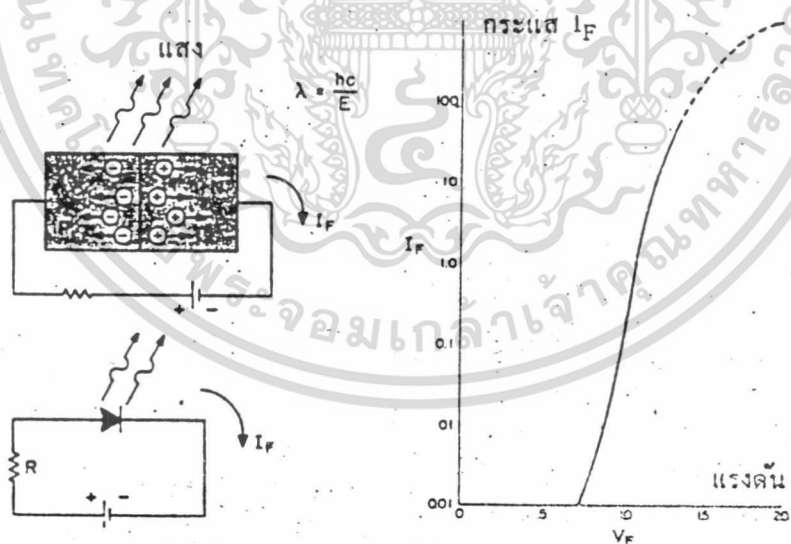
บทที่ 3 ทฤษฎีทางอิเล็กทรอนิกส์

ในการต่อวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อประกอบเป็นเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ประกอบด้วย การทำงานของวงจรส่วนต่างๆ ดังที่จะได้อธิบายหลักการทำงานพื้นฐานต่อไปนี้

3.1 อิเลคทรอนิกส์ทางแสง

ต้นกำเนิดแสงทางอิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์ให้กำเนิดแสงสว่างมีหลายแบบหลายชนิด เช่น ไดโอดเปล่งแสง (LED) หลอดทังสเตน หลอดนีออน หลอดฟลูออเรสเซนต์ อุปกรณ์เหล่านี้สามารถเปล่งคลื่นแสงออกมา แต่ถ้าพิจารณากันอย่างละเอียดแล้วจะเห็นว่า หลอดนีออน หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดทังสเตนจะอาศัยหลักการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จนกระทั่งไส้หลอดแดงแล้วเปล่งแสงหรือมีฉะนั้นก็อาศัยการแตกตัวของก๊าซภายในทำให้เกิดแสง แต่สำหรับแอลอีดีที่เป็นต้นกำเนิดแสงทางอิเล็กทรอนิกส์ จะให้การกำเนิดแสงเมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวมันที่บริเวณรอยต่อของเนื้อสาร PN ซึ่งเป็นผลทำให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไป และมันจะคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแสง



รูป 3.1 แสดงการทำงานของแอลอีดี

จากรูปพอจะอธิบายหลักการของแอลอีดีคือ เมื่อให้แรงดันไบอัสตรงกับมันด้วยแรงดันไฟตรงต่ำๆ กระแสไบอัสตรงคืออิเล็กตรอนจะไหลผ่านรอยต่อจากด้าน N ไปด้าน P และกระแสไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลไปยังส่วน N และจะรวมกับพาหะข้างน้อย เป็นผลทำให้เกิดการรีคอมบิเนชันและจะปล่อยพลังงานออกมาเป็นแสงและความร้อน ความถี่แสงที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับแถบพลังงานช่องว่างของวัสดุที่ใช้ทำเป็นแอลอีดีนั้น

อุปกรณ์ในทางปฏิบัติจริงๆ ในปัจจุบันจะปล่อยพลังงานแสงในย่านความยาวคลื่นสูงกว่าประมาณ 550 นาโนเมตร สำหรับซิลิกอนไดโอดธรรมดาในปัจจุบันก็ให้แสงเช่นกัน แต่จะให้แสงในย่านอินฟราเรด แต่สำหรับไดโอดทั่วไปแล้วจะทำการเคลือบปิดมิดชิด ดังนั้นคลื่นแสงส่วนนี้จึงไม่ได้แพร่กระจายออกมาสู่ภายนอก ในกรณีของเยอรมันเนียมไดโอดจะมีช่องแถบพลังงานต่ำกว่า ดังนั้นจึงให้คลื่นที่มีความถี่สูงกว่าอินฟราเรด สำหรับแอลอีดีที่ให้แสงสีแดงนั้นเป็นไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า แกลเลียมอะเซไนด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้งานและความเชื่อถือสูง จะปล่อยแสงออกมาอยู่ในย่านความยาวคลื่นประมาณ 940 นาโนเมตร

คุณสมบัติทั่วไปของแอลอีดีก็เหมือนกับของไดโอดนั่นเอง โดยในขณะที่ไบอัสตรงมันจะให้กระแสไหลผ่านได้และเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมัน มีค่าประมาณ 0.6-1 โวลท์ และในขณะที่ไบอัสกลับแอลอีดีจะมีค่าแรงดันหันทกลับที่ต่ำกว่าไดโอดธรรมดา

นอกจากแอลอีดีที่เปล่งแสงสีแดงแล้ว เรายังพบแอลอีดีที่ให้แสงสีอื่นอีกมากมาย เช่น แสงสีเขียว สีเหลือง สีแสด เป็นต้น การที่แอลอีดีให้แสงสีต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อสารกึ่งตัวนำที่ใช้ หรือขึ้นอยู่กับแถบพลังงานช่องว่างนั่นเอง เพราะความยาวคลื่นของแอลอีดีจะขึ้นอยู่กับแถบพลังงานช่องว่างของสารโดยตรง

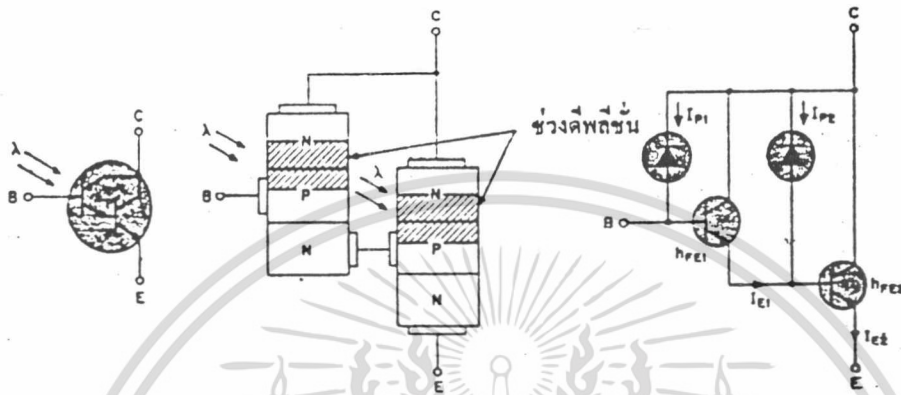
ประโยชน์ของแอลอีดีในปัจจุบันมีมากมาย โดยสิ่งที่เห็นได้ชัดก็คือการใช้เป็นอุปกรณ์จำพวกภาคแสดงผลของเครื่องคิดเลข เครื่องมือวัด นอกจากนี้ยังนำแอลอีดีเป็นตัวส่งสัญญาณโดยอาศัยหลักการเชื่อมต่อด้วยแสงที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

อุปกรณ์ตัวรับแสง

อุปกรณ์ตัวรับแสง หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้แปรค่าเป็นกับค่าของพลังงานทางไฟฟ้าได้ โดยตัวอุปกรณ์จะต้องประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งอาจจะนำมาเชื่อมให้เกิดเป็นรอยต่อหรือเป็นเนื้อสารกึ่งตัวนำอย่างเดียวกันก็ได้ ซึ่งอุปกรณ์ตัวรับแสงที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบชนิดโฟโตดาร์ลิงตัน โดยสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

โฟโตดาร์ลิงตัน โฟโตดาร์ลิงตันก็คือโฟโตทรานซิสเตอร์ 2 ตัวที่ต่อร่วมกันในลักษณะวงจรดาร์ลิงตันคือต่อในลักษณะขาคิมิตเตอร์ของตัวหนึ่งจะต่อเข้าขาเบสของอีกตัวหนึ่ง ลักษณะการต่อเช่นนี้จะทำให้ทรานซิสเตอร์มีอัตราขยายกระแสสูงขึ้นไปอีกมาก สัญลักษณ์ของวงจรแสดงให้เห็นดังรูป 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 แสดงการขยายของโฟโตวอลต์จันแสดงผลของการเกิดกระแสจากรูปประกอบด้วยทรานซิสเตอร์สองตัวต่อแคสเคดกันในตัวระบองหรือวัสดุห่อหุ้มเดียวกันโดยมีวงจรมูลย์แสดงไว้เช่นกัน จากวงจรมูลย์เราสามารถหารกระแสอิมิตเตอร์ของ Q_1 ได้ดังนี้

$$I_{E1} = I_{p1} (h_{FE} + 1) \dots\dots\dots (3.1)$$

กระแสของ Q_2 จะหาได้จากการรวมของกระแส $I_{E1} + I_{p2}$ ดังนั้นกระแส I_{E2} สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} I_{E2} &= (I_{p2} + I_{E1}) (h_{FE} + 1) \\ &= (I_{p2} + I_{p1}) (h_{FE1} + 1) (h_{FE2} + 1) \dots\dots\dots (3.2) \end{aligned}$$

แต่เนื่องจาก I_{E1} น้อยกว่า I_{p2} มาก

ดังนั้น $I_{E2} = I_{p1} h_{FE1} h_{FE2}$

โดยที่ $I_E =$ กระแสอิมิตเตอร์

$I_p =$ กระแสเนื่องจากแสง

$h_{FE} =$ อัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ และ

$I_B =$ กระแสเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าสำหรับไฟโตคาร์ลิ่งตัน จะได้อัตราการขยายทั้งหมดสูงกว่าแบบไฟโตทรานซิสเตอร์ธรรมดา แต่ความเร็วของการสวิตช์จะช้ากว่าและกระแสเมื่อไม่โดนแสงก็จะสูงกว่าด้วย เนื่องจากอัตราการขยายที่สูง

สเปกตรัมของอุปกรณ์รับแสง ปล่อยแสงและค่าประสิทธิภาพ



รูป 3.3 แสดงอุปกรณ์ไวแสง

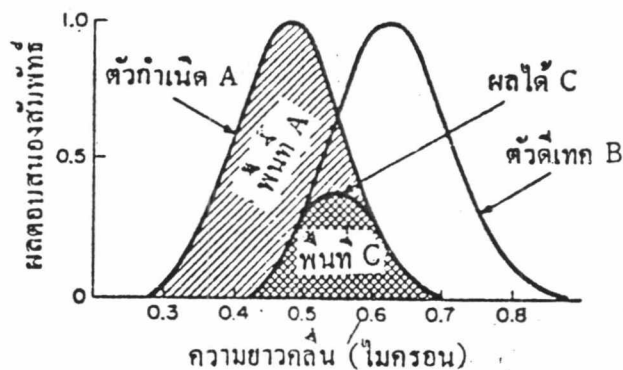
คำว่าแสงที่ใช้ในที่นี้จะหมายถึงแสงที่เข้าไปในสเปกตรัม ไม่เฉพาะเจาะจงว่าจะต้องเป็นแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเท่านั้น

รูปของสเปกตรัมของอุปกรณ์ไวแสงแสดงให้เห็นว่าไฟโตทรานซิสเตอร์มีผลตอบสนองสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 8500 อังสตรอม และ 10000 อังสตรอม สำหรับเฮสซีอาร์จะให้ผลตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของตาซึ่งมีค่าในช่วงประมาณ 3700 - 7500 อังสตรอม จะเห็นว่าไฟโตทรานซิสเตอร์ให้ผลตอบสนองต่อแสงที่ตามองเห็นได้ดีกว่า

เนื่องจากสเปกตรัมของตัวให้แสงและตัวรับแสงไม่ตรงกันพอดี จึงมีการหาประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อ ค่าประสิทธิภาพนี้เท่ากับพื้นที่ร่วมกันใต้กราฟของสเปกตรัม ระหว่างตัวให้แสงและตัวรับแสง หาด้วยพื้นที่ใต้กราฟของตัวให้แสง

$$\text{ค่าประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ A}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟ C}} \dots\dots\dots (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 แสดงค่าประสิทธิภาพของตัวให้แสงบนตัวรับแสง

ตาราง 3.1 แสดงค่าประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ

ความถี่	ความยาว	ความหนาแน่น	ชนิดของ
หลอดทังสเตน	2000 องศาเซลเซียส	.003	.16
	2200 "	.007	.19
	2400 "	.013	.22
	2600 "	.021	.24
	2800 "	.030	.27
	3000 "	.044	.30
หลอดชนิดอื่น		.35	.7
Ga As LED 0.9μ		.0	1.0
Gap LED 0.7μ		.08	.7
หลอดฟลูออเรสเซนต์		.1	.4
หลอดชนิดอื่น		.13	.5
แสงอาทิตย์		.18	.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออปเปอเรชัน แอมพลิฟายเออร์

วงจรรขยายทั่วไปที่ใช้ขยายสัญญาณทางไฟฟ้านั้นเราคงพอรู้จักกันดี แต่ยังมีวงจรรขยายชนิดหนึ่งที่รวบรวมคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมของวงจรรขยายทั่วไปไว้ในตัวมัน และเราให้ชื่อวงจรรขยายนั้นว่า ออปเปอเรชัน แอมพลิฟายเออร์ (operation amplifier)

คุณสมบัติเด่นของออปแอมป์

ออปแอมป์ที่เป็นไอซีเป็นวงจรรขยายที่มีอัตราขยายสูงมาก โดยปกติจะมีอัตราขยายสูงถึงหลายหมื่นเท่า และข้อที่เด่นก็คือเราสามารถกำหนดอัตราขยายให้กับออปแอมป์ได้โดยง่ายตามความต้องการด้วยการต่อวงจรในลักษณะการป้อนกลับแบบลบ

ถ้าหากเราถือว่าออปแอมป์ที่ใช้เป็นออปแอมป์ตามอุดมคติ จะต้องมีคุณสมบัติเด่นดังต่อไปนี้

1. มีอัตราขยายแรงดันเป็นอนันต์
2. มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ หรืออาจกล่าวได้ว่ากระแสอินพุตเป็นศูนย์
3. มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์
4. มีผลตอบสนองต่อความถี่ที่ได้จากสัญญาณไฟตรงถึงความถี่อนันต์

จากคำจำกัดความของออปแอมป์ในอุดมคติทำให้เราทราบว่ ไม่ว่าสัญญาณจะเป็นอย่างไร สัญญาณนั้นก็สามารถทำให้ออปแอมป์ทำงานได้ และถ้าต่อเชื่อมออปแอมป์กับวงจรรอื่นก็จะมีผลทำให้วงจรรอื่นทำงานผิดพลาดไป เนื่องจากค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์

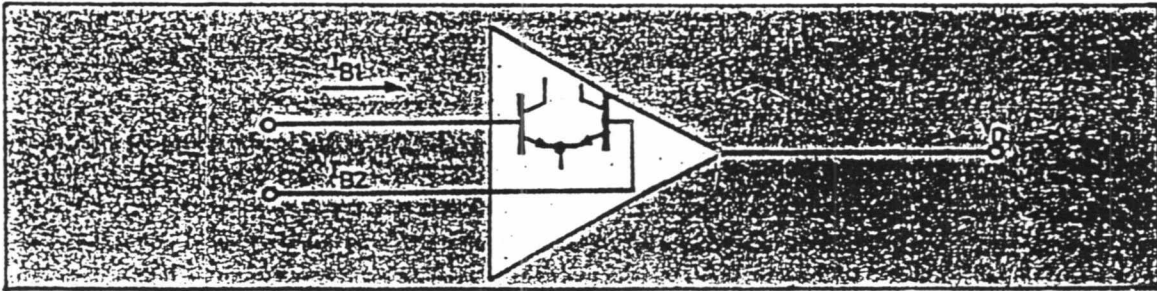
สเปคที่ใช้ในเรื่องออปแอมป์

ก่อนที่จะเข้าใจการใช้งานออปแอมป์และการวิเคราะห์การทำงานของออปแอมป์ เราจำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับสเปคที่ใช้สำหรับตัวออปแอมป์อีกด้วย

กระแสไบอัสที่อินพุต (I_B) คือกระแสอินพุตที่เข้าไปยังขาอินพุตของออปแอมป์ โดยปกติออปแอมป์มีขาอินพุต 2 ขา ดังนั้นเราจึงกำหนดเป็นค่ากระแสเฉลี่ยและกำหนดเป็น

$$I_B = (I_{B1} + I_{B2}) / 2 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

โดยปกติกระแสไบอัสนี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.05-100 nA



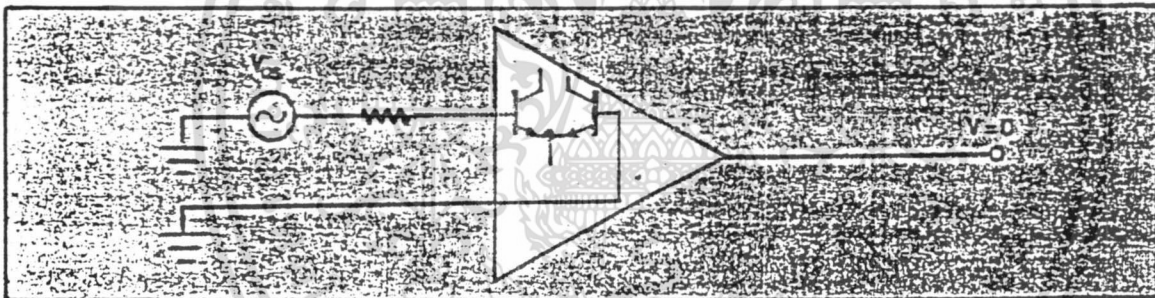
รูปที่ 3.5 แสดงการหาค่ากระแสไบอัสที่อินพุท

กระแสออฟเซทที่อินพุท (I_{os}) คือค่าความแตกต่างของกระแสที่ไหลเข้ามาทางอินพุทของออปแอมป์ เมื่อแรงดันที่อินพุทมีค่าเป็นศูนย์

$$I_{os} = I_{B1} - I_{B2} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

ค่ากระแสออฟเซทจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.8-500 nA

แรงดันออฟเซทที่อินพุท (V_{os}) คือค่าแรงดันที่ต้องป้อนเข้าที่อินพุทของออปแอมป์ผ่านตัวต้านทานที่เท่ากันสองตัว เป็นผลทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการหาแรงดัน V_{os} ของออปแอมป์ที่อินพุท

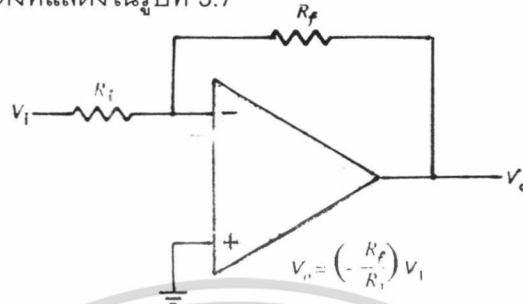
อินพุทอิมพีแดนซ์ (Z_N) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุทเมื่อคิดเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสอินพุท โดยปกติค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์จะมีค่าราวๆ 130 กิโลโอห์ม ถึง 30 เมกกะโอห์ม

เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ (Z_o) คือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุทเมื่อเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาท์พุท โดยปกติจะมีค่าราวๆ 0.75-1000 โอห์ม

ผลตอบสนองต่อความถี่ คือค่าความถี่ที่ตัวออปแอมป์ยังสามารถทำงานได้ โดยทั่วไปมักจะกำหนดได้หลายแบบ แต่แบบที่นิยมกันมากคือกำหนดด้วยความถี่คัทออฟหรือค่าความถี่ 3 เดซิเบล

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์

การขยายแบบกลับเฟส (inverting amplifier) จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่าเราสามารถกำหนดอัตราขยายได้เองดังที่แสดงในรูปที่ 3.7

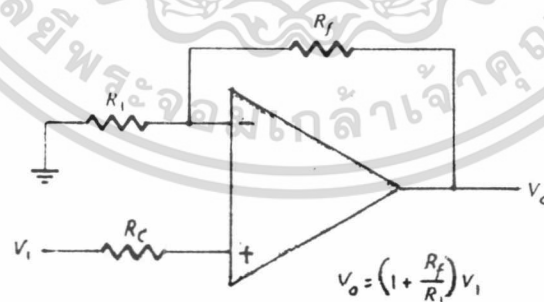


รูปที่ 3.7 วงจรขยายแบบกลับเฟส

จากรูปอัตราขยายของวงจรสามารถคำนวณได้ด้วยค่าอัตราส่วนของ R_2/R_1 นั่นคือแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับผลคูณของ R_2/R_1 กับแรงดันอินพุต สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะที่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต เพราะเราทำการป้อนสัญญาณเข้าทางขา inverting input

ส่วนหนึ่งที่ต้องพึงกระทำคือค่า R_2 ควรจะเลือกให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าของ R_1 และ R_2 ขนานกัน เพื่อชดเชยการผิดพลาดเนื่องจากแรงดันออฟเซตที่อาจเกิดขึ้นจากกระแสไบอัส

โดยปกติถ้าป้อนอินพุตเป็นกระแสไหลกลับ เอาต์พุตที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับการสัญญาณอินพุต จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองต่อความถี่ของออปแอมป์ก็มีส่วนสำคัญ ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องระวังไม่ให้เกินขอบเขตทางด้านความถี่ โดยปกติอาจจะกำหนดค่าไว้ในรูปของผลคูณของอัตราขยายต่อความถี่ที่ค่าสูงสุดได้



รูปที่ 3.8 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส จากรูปที่ 3.8 เป็นรูปของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ซึ่งมีค่าความต้านทานอินพุตสูงมาก และอัตราขยายแรงดันของวงจรจะกำหนดด้วยค่าตัวต้านทาน โดยจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่าง R_1+R_2 กับ R_1

สิ่งที่ทำให้วงจรนี้แตกต่างจากวงจรขยายชนิดกลับเฟสคือเอาต์พุตที่เกิดขึ้นจะมีเฟสเดียวกันกับอินพุต นอกจากนี้วงจรนี้ยังให้ค่าความต้านทานอินพุตสูงมาก

ในขณะที่อินพุตอยู่เฉยๆ จะเห็นได้ว่าจะทำให้เอาต์พุตเกิดการอิมิตัวทันที นั่นหมายความว่าแรงดันเอาต์พุตจะเป็นค่าระดับเดียวกับแรงดันด้านไฟบวกทันที

วงจรบัฟเฟอร์แรงดันไฟ (voltage buffer) เป็นวงจรที่นำเอาออปแอมป์มาต่อแล้ว ทำให้อัตราการขยายแรงดันเท่ากับ 1 และสัญญาณเอาต์พุตที่ไม่มีการกลับเฟสหรือกลับขั้วกับสัญญาณอินพุต

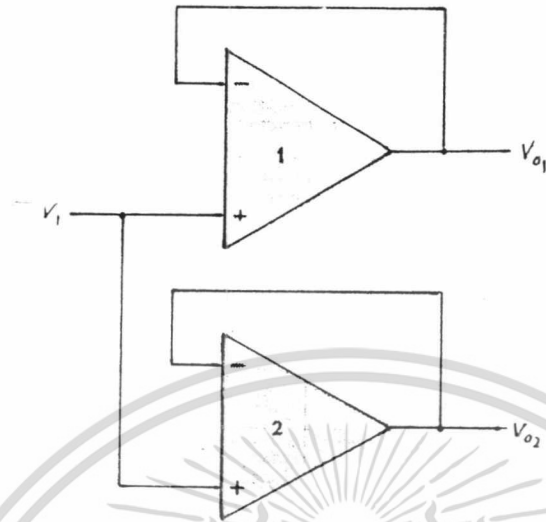


รูปที่ 3.9 แสดงการต่อออปแอมป์เป็นวงจรบัฟเฟอร์แรงดันไฟ เราสามารถหาค่า

V_0 ได้จาก

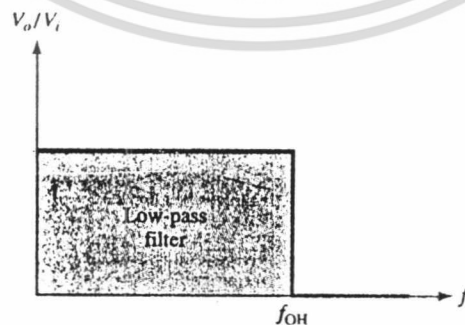
$$V_0 = V_1 \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการต่อออปแอมป์เป็นวงจรบัฟเฟอร์แรงดันอีกรูปแบบหนึ่ง สังเกตว่า สัญญาณอินพุตเพียงสัญญาณเดียวสามารถสร้างสัญญาณเอาต์พุตได้ 2 สัญญาณ ข้อดีของการต่อวงจรแบบนี้คือ โหลดที่ต่อคร่อมกับขั้วเอาต์พุตขั้วใดขั้วหนึ่งไม่มีผลกระทบ(หรือมีแต่น้อยมาก)ต่อขั้วเอาต์พุตที่เหลือ

วงจรกรองความถี่ต่ำใช้ออปแอมป์ เราสามารถนำออปแอมป์มาใช้กับวงจรกรองความถี่ต่ำได้โดยประกอบออปแอมป์เข้ากับ R และ C โดยวงจรกรองความถี่ต่ำในอุดมคติ เป็นวงจรซึ่งกรองความถี่ที่มีค่าสูงกว่าความถี่คัตออฟ (cutoff frequency) f_{OH} ออกไป สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ จึงแสดงค่าตั้งแต่ความถี่ของสัญญาณ dc จนถึง f_{OH} สำหรับเคอร์ฟการตอบสนองเชิงความถี่ทางอุดมคติของวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นดังรูป 3.11

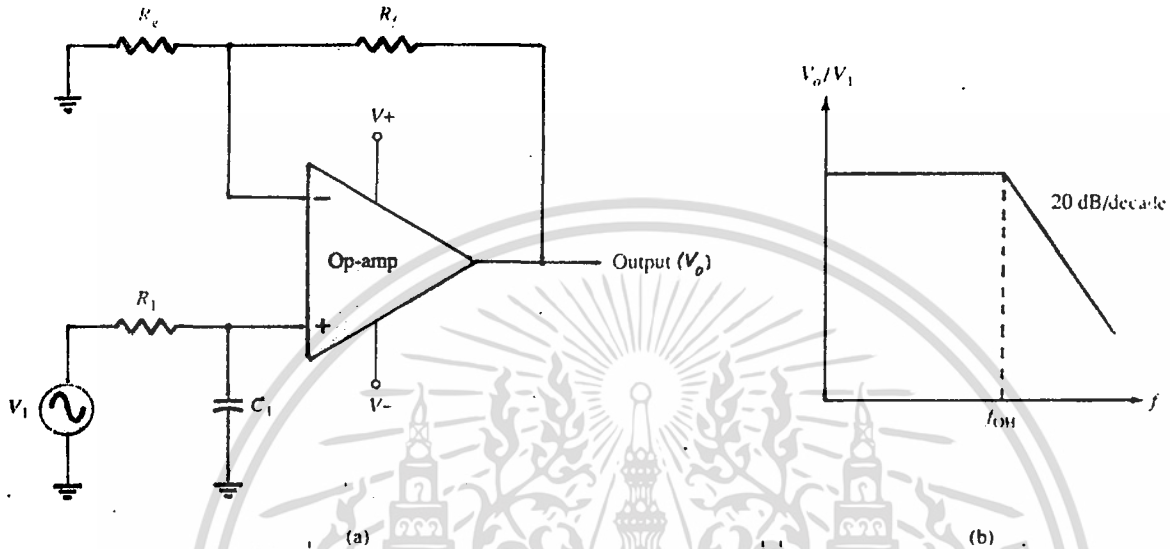


รูปที่ 3.11 เคอร์ฟการตอบสนองเชิงความถี่ทางอุดมคติของวงจรกรองความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่ต่ำสร้างได้ 2 แบบ

วงจรกรองความถี่ต่ำแบบแรก ใช้ R และ C อย่างละตัวต่อกันดังรูป 3.12a วงจรนี้จะสร้างเคอร์ฟการตอบสนองเชิงความถี่ในเทอมของอัตราขยายแรงดันไฟฟ้ามีความชันลดลง 20 dB ต่อค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า ดังรูป 3.12b



รูปที่ 3.12a และ 3.12b ของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบแรก

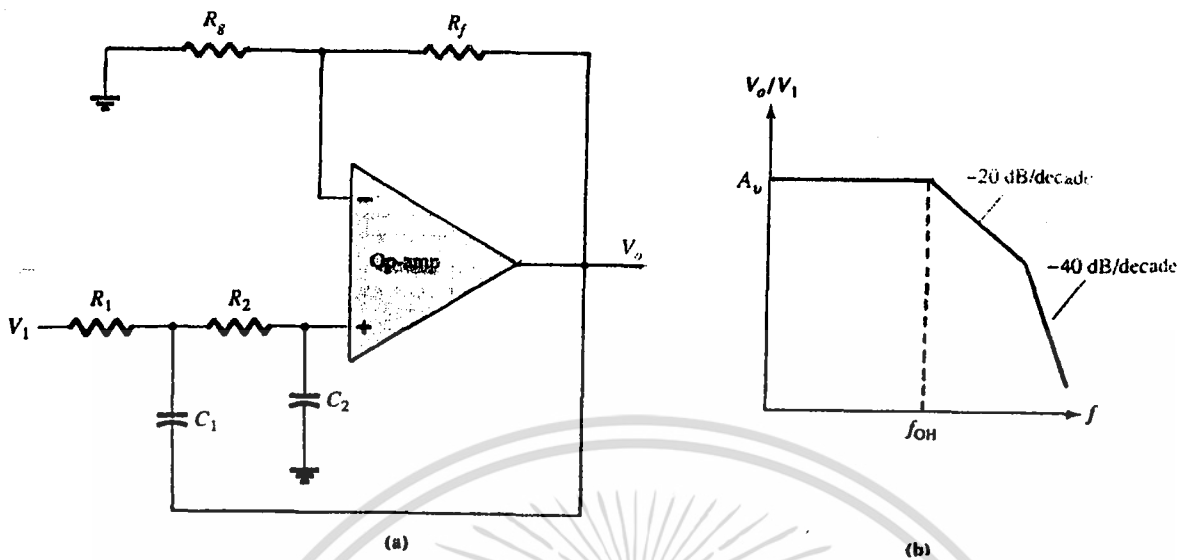
หาอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าความถี่ต่ำกว่าค่าความถี่คัตออฟ(ซึ่งเป็นค่าคงที่)ได้จาก

$$A_v = 1 + (R_f/R_1) \dots\dots\dots (3.7)$$

ที่ตำแหน่งความถี่คัตออฟ

$$f_{OH} = 1/(2\pi R_1 C_1) \dots\dots\dots (3.8)$$

วงจรกรองความถี่ต่ำแบบที่สอง ใช้ R และ C ประกอบกัน 2 ส่วน ดังในรูปที่ 3.13a วงจรนี้จะสร้างเคอร์ฟการตอบสนองเชิงความถี่ในเทอมอัตราขยายแรงดันไฟฟ้ามีความชัน 40 dB/decade ซึ่งใกล้เคียงกับเคอร์ฟการตอบสนองเชิงความถี่ในอุดมคติ

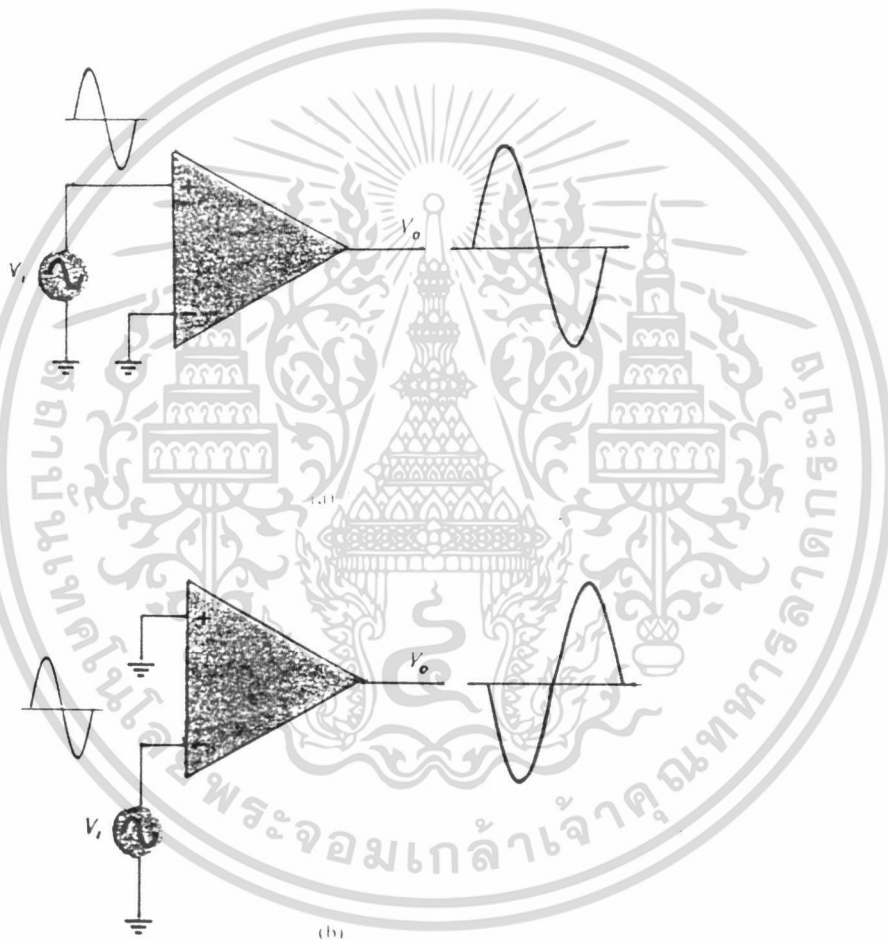


รูปที่ 3.13a และ 3.13b แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำแบบที่สอง อัตราการขยายและความถี่คัตออฟของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบที่สอง มีค่าเท่ากับวงจรกรองความถี่ต่ำแบบแรก (เมื่อ $R_1 = R_2$ และ $C_1 = C_2$) แต่วงจรกรองความถี่ต่ำแบบที่สองสร้างสัญญาณเอาท์พุทใกล้เคียงกับค่าสัญญาณอินพุทมากกว่าวงจรกรองความถี่ต่ำแบบแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานออปแอมป์เป็น *comparator* โดยเราจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ แบบการทำงานที่อินพุตเดียว และการทำงานที่อินพุตทั้งสองด้าน

การทำงานที่อินพุตด้านเดียว คือการป้อนสัญญาณอินพุตที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง ส่วนขั้วอินพุตที่เหลือต่อลงกราวด์ดังรูปที่ 3.14

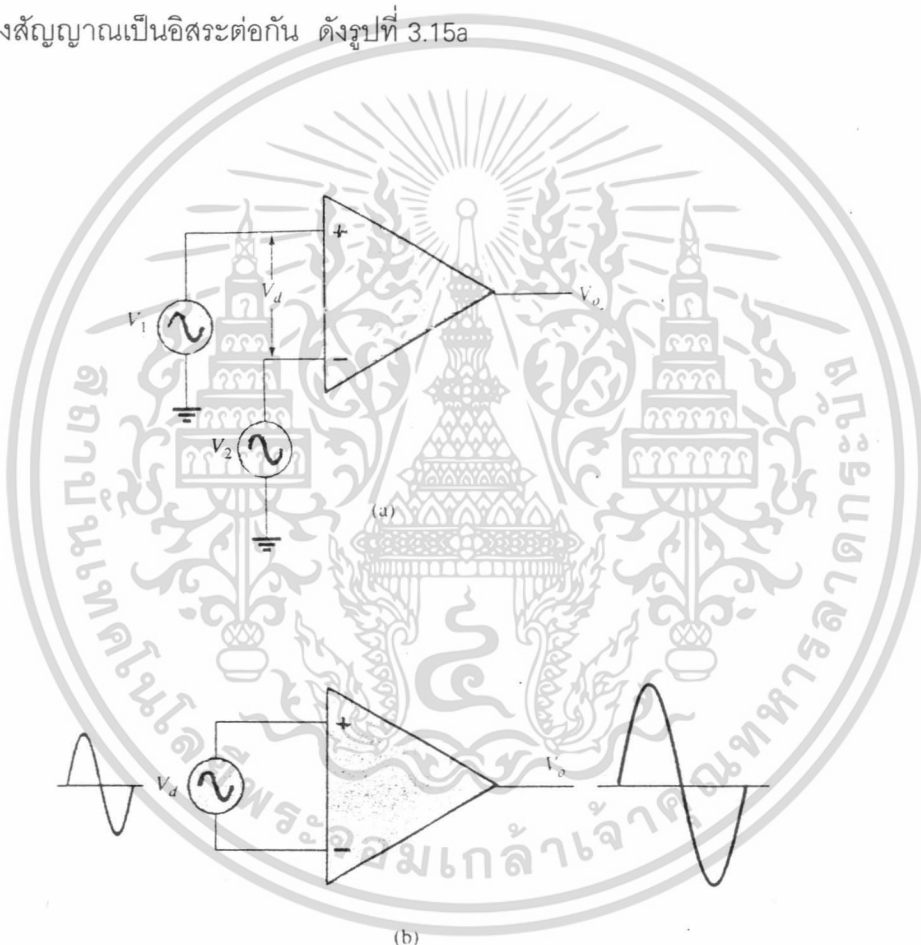


รูปที่ 3.14 การทำงานที่อินพุตด้านเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าป้อนสัญญาณอินพุตที่ชั่ววอกและต่ออินพุตชั่ววอลงกราวด์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้รับ การขยายกับสัญญาณอินพุตจะมีมุมอินเฟสกัน ดังรูป 3.14a ในทางตรงกันข้ามถ้าป้อนสัญญาณอินพุตที่ชั่ววอลและต่อชั่ววอกลงกราวด์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีมุมต่างเฟสกับสัญญาณอินพุต 180 องศา ดังรูป 3.14b

การทำงานที่อินพุตสองด้าน คือการป้อนสัญญาณอินพุตทั้งสองด้าน โดยที่สัญญาณอินพุตทั้งสองสัญญาณเป็นอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 3.15a



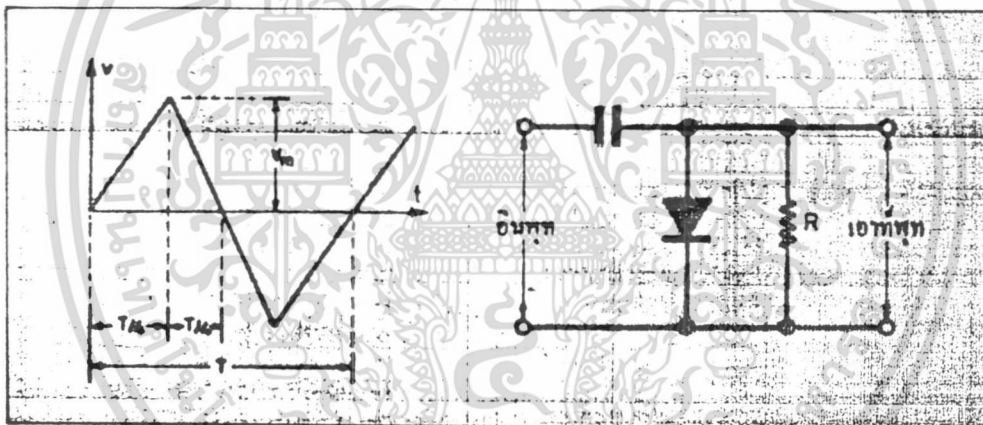
รูปที่ 3.15a และ 3.15b การทำงานอินพุตสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากขั้วอินพุทของออปแอมป์เป็นบวกและลบ สัญญาณอินพุทจึงหักล้างกัน ดังนั้น สัญญาณเอาต์พุทจึงเกิดจากการขยายผลต่างของสัญญาณอินพุททั้งสอง นั่นคือ $V_o = V_1 - V_2$ เขียนรูปใหม่เพื่อพิจารณาได้ดังรูปที่ 3.15b

3.3 วงจรแคลมป์

วงจรแคลมป์อาจพูดได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นวงจรที่ทำการปรับระดับสัญญาณโดยพยายามคงลักษณะรูปสัญญาณเอาไว้ ลักษณะของวงจรแคลมป์จึงมีตัวเก็บประจุอยู่ด้วย ลักษณะของวงจรแคลมป์เบื้องต้นแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.16

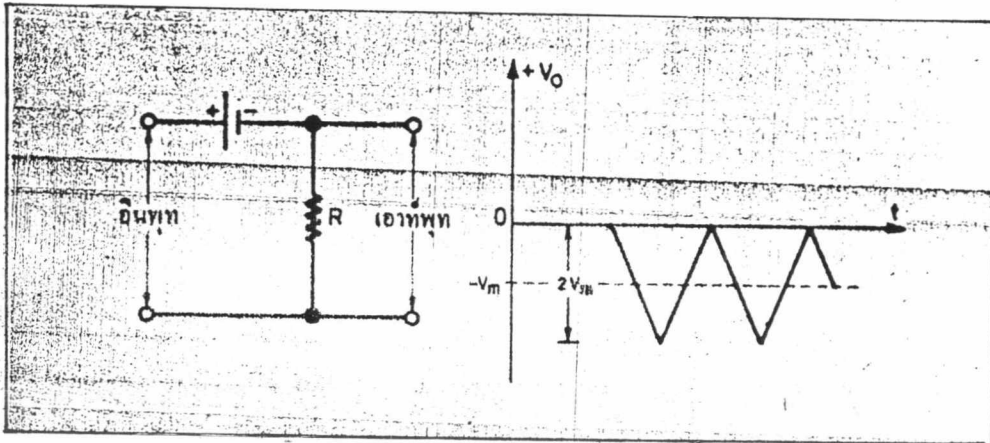


รูปที่ 3.16 วงจรแคลมป์

เมื่อเราป้อนสัญญาณตามรูปซ้ายเข้าที่อินพุทของวงจรแคลมป์ ในระหว่างช่วง $T/4$ แรก สัญญาณอินพุทจะเพิ่มค่าขึ้นจากศูนย์ไปเป็น $+V_m$ โวลต์ ในช่วงนี้ไดโอดจะไบอัสตรงและตัวเก็บประจุจะรับประจุผ่านไดโอดเนื่องจากไดโอดกำลังนำกระแส ดังนั้นแรงดันออกจึงมีค่าเท่ากับศูนย์

ครั้นถึงในช่วงท้ายสุดของเวลา $T/4$ (นั่นคือหลังจากช่วงเวลา $T/4$ ไปแล้ว) ตัวเก็บประจุจะรับประจุจนมีค่าแรงดัน V_m โดยมีขั้วทางด้านซ้ายมือเป็นบวก ระยะเวลา $T/4$ ที่สอง แรงดันเข้าเริ่มลดลงแต่แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุยังคงที่ ตัวเก็บประจุไม่คายประจุเพราะว่าขณะนี้ไดโอดถูกไบอัสกลับ ถ้าหากว่าสัญญาณอินพุทใหม่เปลี่ยนแปลงไดโอดจะไม่นำกระแสอีกเลย เนื่องจากแรงดันที่ถูกประจุคร่อมตัวเก็บประจุนี้จะป้องกันไม่ให้แอมพลิจูดของไดโอดเป็นบวกมากกว่าค่าโหนด วงจรสมมุติของวงจรแคลมป์เขียนได้ดังรูปที่ 3.17

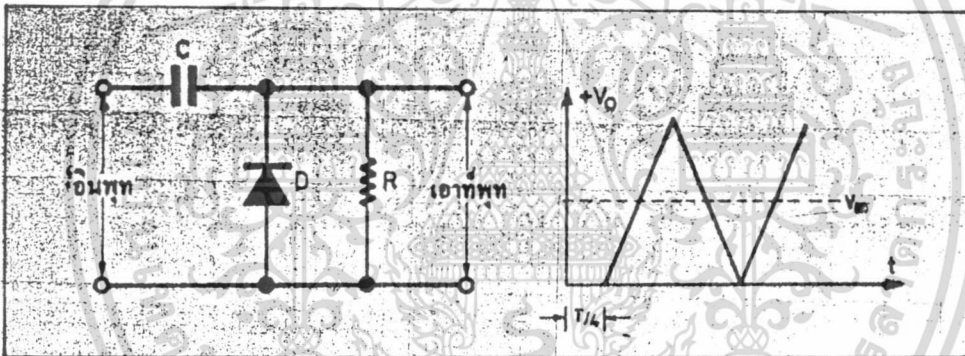
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 วงจรสมมุติและลักษณะสัญญาณเอาต์พุท

เมื่อช่วงของการประจุสิ้นสุดลง โดยกฎของเคปชโฮฟสามารถเขียนได้เป็น

$$V_o = V_i - V_m \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

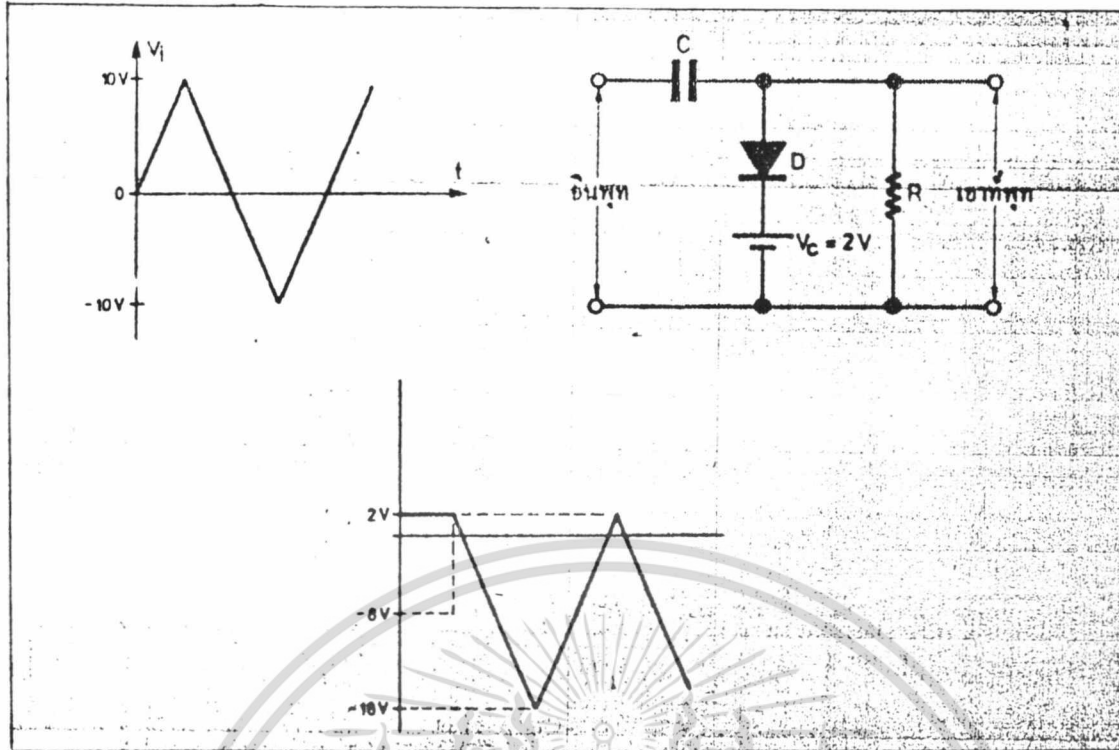


รูปที่ 3.18 เมื่อกลับหัวไดโอดระดับการเคลมปีก็จะเปลี่ยนไป

แรงดันของสัญญาณเอาต์พุทจะมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.17 สำหรับในช่วงแรกแรงดันเอาต์พุทจะมีค่าเป็นศูนย์ การเคลมปีจะเกิดขึ้นคือลดระดับแรงดันไฟตรงที่ประกอบสัญญาณลงมาหรือส่วนบนของสัญญาณจะถูกเคลมปีลงมาที่ 0 โวลท์

เราสามารถกลับหัวของไดโอดเพื่อให้ระดับการเคลมปีเปลี่ยนแปลงไป โดยรูปคลื่นของสัญญาณเอาต์พุทโดยส่วนล่างสุดจะถูเคลมปีมาอยู่ที่ 0 โวลท์ ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การเคลมปีทีระดับ 2 โวลต์

การเคลมปีทีระดับอื่น เราสามารถดัดแปลงให้เกิดการเคลมปีทีระดับอื่นได้โดยการเติมค่า V_c ต่อก่อนกรมกับไดโอด สัญญาณจะถูกเคลมปีมาทีระดับ V_c แทนทีจะเคลมปีมาทีแรงดันศูนย์โวลต์ ตัวต้านทาน R ทำให้เกิดการคายประจุเพือว่าระดับการเคลมปีจะได้อยู่ทีตำแหน่งเดิมถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุท

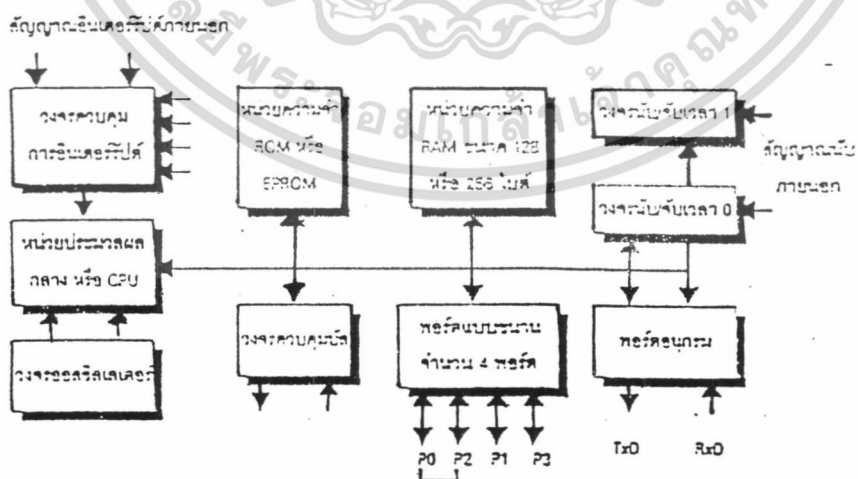
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ข้อมูลเกี่ยวกับ MCS-51

คุณลักษณะพื้นฐานของ 8051

จากแผนภาพในรูปที่ 3.20 แสดงให้เห็นถึงหน่วยการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆที่จัดอยู่ภายในตระกูล MCS-51 นี้ ประกอบด้วย

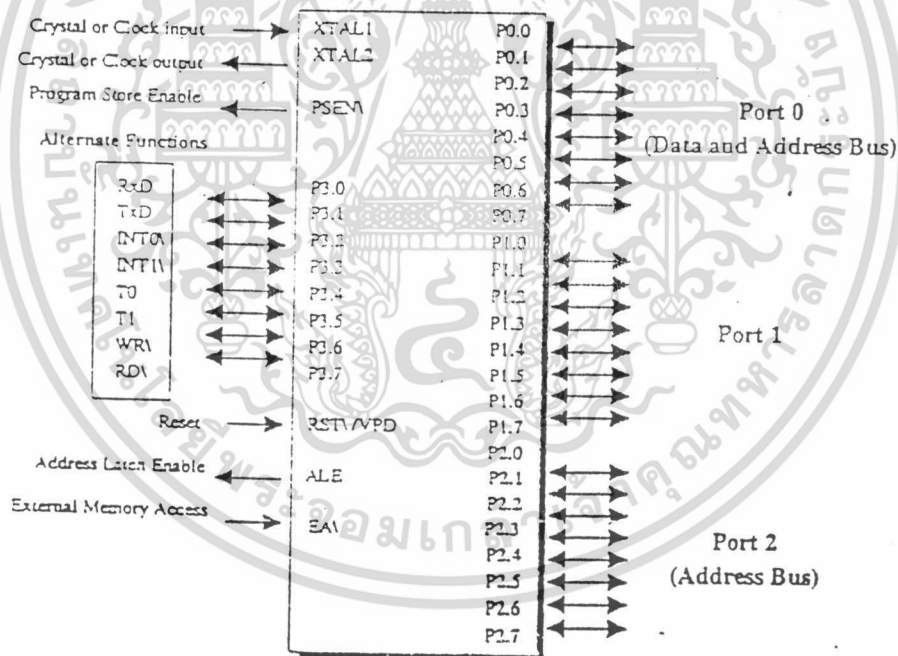
- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processer)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ แบบ EPROM (เบอร์ 8751) หรือแบบ ROM (เบอร์ 8051)
- หน่วยความจำแบบ RAM ภายในจำนวน 128 ไบต์
- พอร์ตอินพุท/เอาต์พุทแบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรนับ/จับเวลาขนาด 16 บิต จำนวนสองวงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
- วงจรควบคุมการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมการกำหนดระดับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน



รูปที่ 3.20 แสดงภาพบล็อกแสดงหน่วยการทำงานพื้นฐานของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมากแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มักจะมีรูปร่างไอซีเป็นแบบ DIP ขนาด 40 ขาดังแผนภาพในรูปที่ 3.21 ซึ่งแต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ที่ย่อที่กำกับในแต่ละขา อย่างไรก็ตามจะมีบางขาสัญญาณที่อาจมีหน้าที่ได้มากกว่าหนึ่งอย่าง(ซึ่งเขียนกำกับไว้ว่า Alternate Functions ในรูปที่ 3.21) ซึ่งจะไม่สามารถใช้งานในเวลาเดียวกันได้ ตัวอย่างเช่นขาสัญญาณบิต 0 ของพอร์ท 3 (ใช้ตัวย่อเป็น P3.0) อาจใช้เป็นขาสัญญาณอินพุต / เอาท์พุทตามปกติ หรืออาจทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณอินพุทของข้อมูลสื่อสารแบบอนุกรม (RxD) ให้กับวงจรสื่อสารแบบอนุกรมของ 8051 ได้ ซึ่งการกำหนดว่าจะทำงานในลักษณะใดขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อกับวงจรเข้ากับขาสัญญาณและโปรแกรมควบคุมของระบบนั้น



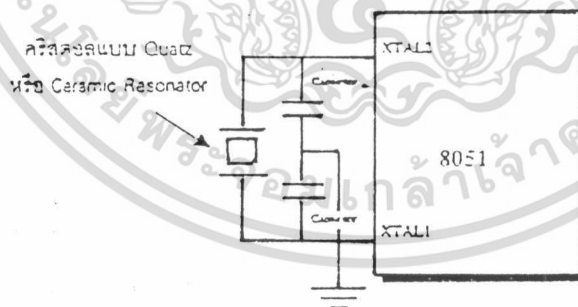
รูปที่ 3.21 การกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของไอซี 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานเวลาในการทำงานของซีพียูภายใน 8051

8051 มีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ภายใน สำหรับการสร้างพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งจะนำไปเป็นฐานเวลา หรือการกำหนดจังหวะการทำงานของหน่วยการทำงานทั้งหมดให้สอดคล้องกัน (Synchronization) โดยปกติแล้วก็มักจะทำโดยการใช้คริสตอลเชื่อมต่อกับขาสัญญาณ XTAL1 และ XTAL2 พร้อมตัวเก็บประจุดังรูปที่ 3.22 หรืออาจจะเป็นสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกก็ได้

พัลส์ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจะเรียกว่า Pulse (ใช้สัญลักษณ์เป็นตัวอักษร P) และคาบของสัญญาณนาฬิกาเรียกว่า คาบเวลาออสซิลเลเตอร์ (Oscillator period) คาบเวลาออสซิลเลเตอร์จำนวนสองคาบเรียกว่า State (ใช้สัญลักษณ์เป็นตัวอักษร S) ซึ่งจะนำไปใช้ในช่วงเวลาพื้นฐานการทำงานย่อยของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่นการนำคำสั่ง (Fetch) การถอดความหมาย (Decode) การประมวลผล (Execute) และการเขียนข้อมูล (Write) เป็นต้น ช่วงเวลาของ State จำนวนหกครั้ง จะเรียกว่า แมชชีนไซเคิล (Machine cycle) ดังนั้นค่าหนึ่งแมชชีนไซเคิลจะใช้เวลา 12 คาบเวลาออสซิลเลเตอร์ ค่าแมชชีนไซเคิลนี้จัดว่าเป็นเวลาที่น้อยที่สุดในการทำคำสั่งใดคำสั่งหนึ่ง ซึ่งหากว่าเป็นคำสั่งที่ซับซ้อนมากจะต้องใช้เวลาานสองถึงสามแมชชีนไซเคิล



รูปที่ 3.22 แสดงการใช้คริสตอลภายนอกต่อเข้ากับวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาว่าเวลาที่ใช้ในการทำคำสั่งใดจนเสร็จสิ้น จะต้องดูว่าคำสั่งนั้นใช้จำนวนแมชชีนไซเคิลเป็นเท่าไรในการประมวลผล เวลาที่ใช้จะคำนวณตามสูตร

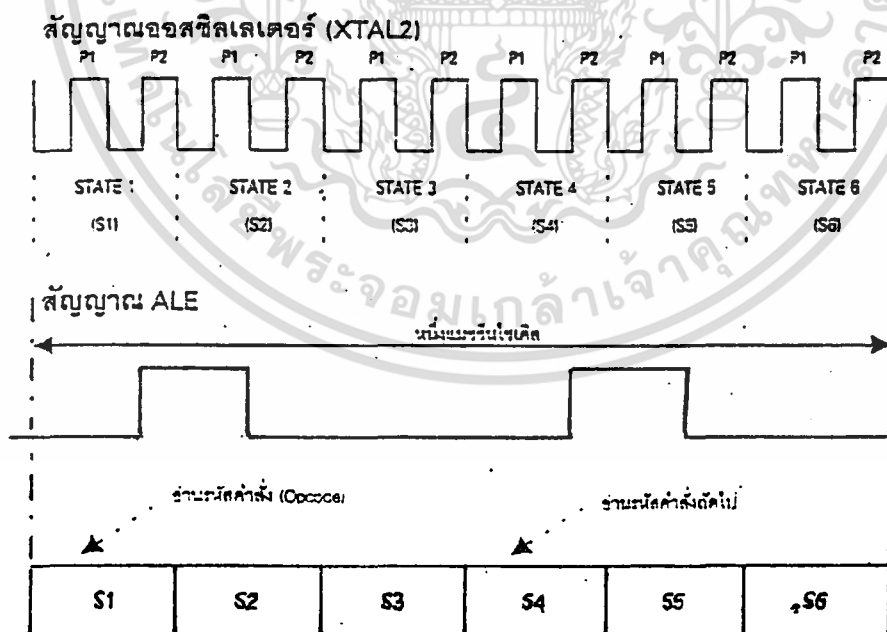
$$T = \frac{C \times 12}{\text{Crystal Frequency}}$$

โดย C เป็นค่าจำนวนแมชชีนไซเคิลของคำสั่ง
 Crystal Frequency เป็นค่าความถี่ของคริสตอลที่ใช้กับ 8051

ตัวอย่างเช่น

เวลาในการทำคำสั่ง ADD A,R1 ซึ่งต้องการ 3 แมชชีนไซเคิล
 เมื่อใช้คริสตอล 16 เมกกะเฮิร์ต จะเป็นเวลานาน 0.75 ไมโครวินาที และ
 เมื่อใช้คริสตอล 12 เมกกะเฮิร์ต จะเป็นเวลานาน 1 ไมโครวินาที

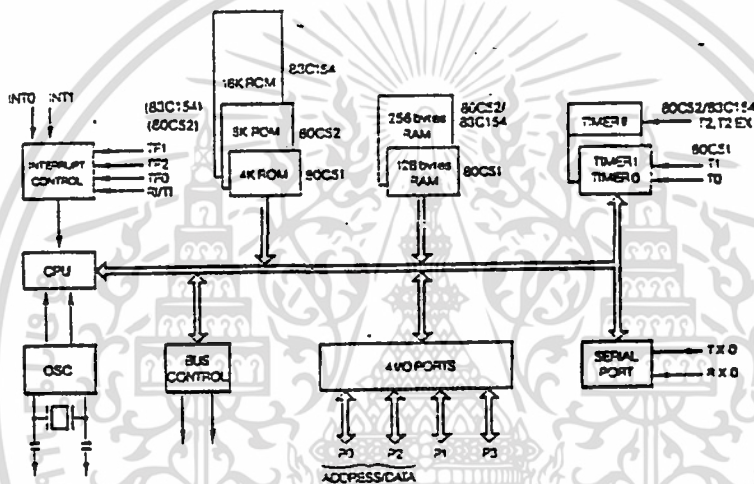
อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งอาจพบเห็นการใช้ค่าของคริสตอลเป็น 11.059 เมกกะเฮิร์ต ทั้งนี้โดยมีเหตุผลเนื่องจาก สามารถนำค่าความถี่ที่ได้นี้ ไปใช้ในการเป็นฐานเวลาสำหรับการสร้างความถี่ในการรับ-ส่งข้อมูลอนุกรมซึ่งเป็นหน่วยการทำงานหนึ่งภายใน 8051 เอง โดยจะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานคือ 19200, 9600, 4800, 2400, 1200, และ 300 บิต/วินาที



รูปที่ 3.23 แผนภาพเวลาพื้นฐานของ 8051 และลำดับของช่วงเวลา State ในการทำคำสั่งหนึ่งไบต์
 โครงสร้างของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน 8051 จะประกอบด้วย GATE ต่างๆ เช่น AND, OR, NOT ซึ่ง GATE จะถูกนำมา ออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่างๆ เช่น วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder), วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal Generator) โครงสร้างภายในของ 8051 จะประกอบด้วยส่วนย่อยๆ ดังไดอะแกรมในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ไดอะแกรมโครงสร้างของ 8051

ไดอะแกรมในรูปที่ 3.24 เป็นโครงสร้างใหญ่ๆ ของ 8051 เป็นคอมพิวเตอร์จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 คือ CPU (Central Processing Unit) หรือตัวประมวลผล ส่วนนี้จะมีวงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่นๆ เรียกว่าวงจรควบคุม (Control Unit) สัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุมได้แก่สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ, อุปกรณ์รับข้อมูลเข้า หรือส่งข้อมูลออกจากตัว 8051 ซึ่งส่วนควบคุมการขัดจังหวะ (Interrupt Control) และส่วนควบคุมบัส (Bus Control) ก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุม การสร้างสัญญาณควบคุมจากส่วน CPU นี้จะทำการส่งสัญญาณโดยการถอดสัญญาณโดยการถอดรหัสจากคำสั่ง (Instruction) ตามที่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดไว้ และสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจากจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อให้ทุกๆ ส่วนในวงจรทำงานประสานกัน (Synchronize) อย่างถูกต้อง

ใน CPU นี้ยังประกอบด้วยส่วนย่อยอีกส่วนที่เรียกว่าส่วนประมวลผล (Arithmetic Logic Unit) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล เช่น การบวก,ลบ,คูณ หรือหารข้อมูลแล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำที่ต้องการ

ส่วนที่ 2 คือหน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจัดจำข้อมูล ถ้าจะให้เห็นภาพของหน่วยความจำได้ดีก็คือ หน่วยความจำเปรียบเหมือนกล่องเก็บเอกสารจำนวนมากที่นำมาเรียงต่อกันไว้แต่ละกล่องก็มีเอกสาร 1 แผ่นดังรูปที่ 3.25 มีกล่องเอกสารทั้งหมด 15 กล่อง



รูปที่ 3.25 ภาพเสมือนหน่วยความจำ

ถ้าต้องการเอกสารจากกล่องใด หรือเอาเอกสารไปเก็บที่กล่องใด จะต้องรู้หมายเลขกล่องข้อมูลเสียก่อนซึ่งถ้าเป็นหน่วยความจำแล้วหมายเลขของกล่องก็คือตำแหน่งในหน่วยความจำหรือแอดเดรส (Address) นั่นเอง การเอาข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำเรียกว่าการเขียน (Write) ข้อมูล และการเอาข้อมูลออกจากหน่วยความจำจะเรียกว่าการอ่าน (Read) ข้อมูล ซึ่งในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะมีค่าได้เพียง 8 หลักของเลขฐาน 2 (8 บิตเท่ากับ 1 ไบต์) ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลมีค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 255 (00000000 ถึง 11111111 ในเลขฐาน 2) แต่จำนวนตำแหน่งที่จะเก็บข้อมูลได้ขึ้นกับไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ การติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่มคือ

1. แอดเดรสหรือค่าตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำ ใน 8051 จะติดต่อกับหน่วยความจำประเภท Program Memory หรือ Data Memory ได้สูงสุดชนิดละ 65536 ตำแหน่ง ดังนั้นการอ้างอิงแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้เส้นแสดงตำแหน่งในเลขฐาน 2 ทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ $64 \times 1024 = 65536$)
2. ข้อมูลที่จะอ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำที่ตำแหน่งในข้อ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล

สัญญาณเหล่านี้จะถูกวงจรควบคุมภายใน 8051 สร้างมาจากวงจรถอดรหัสของคำสั่งที่ 8051 อ่านจากหน่วยความจำ Program Memory เข้าไปทำงานนั่นเอง หน่วยความจำได้แก่ 4K ROM และ 128 Byte RAM ซึ่งขนาดของหน่วยความจำนี้มีขนาดต่างๆกันตามเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต (Input/Output Device) เป็นส่วนที่ใช้ในการส่งข้อมูลเข้าหรือออกจาก 8051 ทำให้ 8051 ติดต่อกับภายนอกได้

อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้แก่ 4 I/O Port, Timer 0, Timer 1, Serial Port การทำงานแต่ละส่วนมีดังนี้

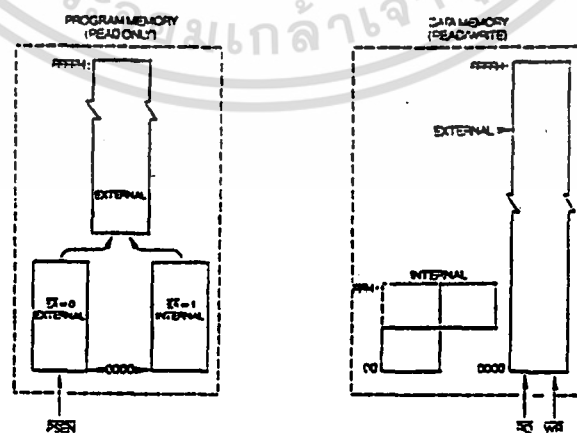
1. 4 I/O Port คำว่าพอร์ทหมายถึงจุดที่จะติดต่อกับส่วนที่อยู่ภายนอก 4 I/O Port ของ 8051 เป็นที่ใช้สำหรับรับ-ส่งข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าหรือออกจากตัว MCS-51 พอร์ทมีทั้งหมด 4 พอร์ท โดยแต่ละพอร์ทจะรับ-ส่งข้อมูลได้ 8 บิต มีพอร์ท P0, P1, P2 และ P3 บางพอร์ทจะใช้ทำงานมากกว่า 1 อย่างก็ได้ เช่น พอร์ท P0 และ P2 จะใช้สำหรับการส่งค่าตำแหน่ง (Address) ของหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อและพอร์ท P0 จะใช้รับส่งข้อมูลเมื่อติดต่อกับหน่วยความจำได้ด้วยแต่สิ่งเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน แต่จะใช้วิธีการทำงานตามลำดับโดยควบคุมจากสัญญาณควบคุม (Control) ที่ถอดรหัสมากจากแต่ละคำสั่งที่ให้คอมพิวเตอร์ทำงานนั่นเอง และสัญญาณทั้งหมดจะอ้างอิงจากสัญญาณนาฬิกา
2. Timer 0 และ Timer 1 เป็นวงจรรับที่สามารถกำหนดให้ทำการนับที่สามารถกำหนดให้ทำการนับจำนวนไครเคิลของสัญญาณที่ต่อจากภายนอก 8051 หรือจำนวนไครเคิลของสัญญาณนาฬิกาที่ต่อจากภายใน 8051 ก็ได้ค่าจากการนับจะถูกอ่านหรือตั้งค่าเริ่มต้นของการนับได้โดย CPU
3. Serial Port หรือพอร์ทอนุกรม CPU จะอ่านและเขียนข้อมูลกับ Serial Port เป็นแบบ 8 บิต แต่ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก 8051 เรียงไปที่ละบิตออกจากขา TxD และในการรับข้อมูลเข้าก็จะรับเข้ามาที่ละบิตทางขา RxD แล้วจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิต เพื่อให้ CPU อ่านไปใช้งานต่อไป

8051 มีพอร์ทให้ใช้งานได้หลายแบบทำให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานต่างๆได้มากมาย การจะนำพอร์ทเหล่านี้ไปใช้งานได้จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาควบคุมที่จะได้กล่าวต่อไป

การจัดการหน่วยความจำของ 8051

หน่วยความจำของ 8051 แบ่งออกได้เป็น 2 แบบตามลักษณะการใช้งานคือ

1. Program Memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บคำสั่งในรูปรหัสภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งต้องการให้ 8051 ทำงาน เมื่อ 8051 ทำงานก็จะอ่านข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำประเภทนี้เข้าไปถอดรหัสแล้วสร้างสัญญาณควบคุมส่วนอื่นๆ ตามการทำงานของแต่ละคำสั่งนั้น หน่วยความจำแบบนี้จะต้องเป็นแบบ Read Only Memory (ROM) และผู้ใช้ต้องเขียนข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำเป็นรหัสภาษาเครื่องของ 8051 ตามลำดับการทำงานที่ต้องการ (หน่วยความจำแบบ ROM เป็นแบบ Non volatile ซึ่งเมื่อปิดไฟแล้วข้อมูลก็ไม่มีการสูญหาย) การเขียนข้อมูลลงไปบน ROM จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษ ในระหว่างการทำงานของ 8051 ผู้ใช้จะไม่สามารถใช้คำสั่งทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบนี้ได้ จำนวนตำแหน่งสูงสุดของหน่วยความจำแบบนี้ที่ 8051 จะใช้งานได้คือ 65536 ตำแหน่ง ค่าของตำแหน่ง (Address) จะเขียนเป็นเลขฐาน 16 ได้ตั้งแต่ 0000H ถึง FFFFH หน่วยความจำตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH จำนวน 4 กิโลไบต์ นั้นผู้ใช้จะเลือกได้ว่าเป็นตำแหน่งของ ROM ที่อยู่ภายในหรือภายนอก 8051 (ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นๆ เช่น 8052 จะมีขนาดของ ROM ส่วนนี้ได้ถึง 8 กิโลไบต์ ตำแหน่ง 0000H ถึง 1FFFH) ถ้าต้องการให้ 8051 ทำงานตามคำสั่งที่เก็บไว้ใน ROM ภายใน 8051 ก็ให้ป้อนสัญญาณสถานะลอจิก High (1) เข้าที่ขา EA ของ 8051 แต่ถ้าต้องการให้ทำงานในโปรแกรมที่เก็บไว้ใน ROM ภายนอก 8051 ก็ให้ต่อลอจิก Low (0) เข้าที่ขา EA ของ 8051 ส่วนหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 1 FFFH ถึง FFFFH จะต้องต่ออยู่ภายนอก 8051 เสมอ ดังแสดงในแผนภูมิหน่วยความจำ (Memory Map) ในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internal Memory หมายถึงหน่วยความจำนั้นอยู่ภายใน 8051 ส่วน External Memory หมายถึงหน่วยความจำนั้นอยู่ภายนอก 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031,8051 และ 8751 นั้น โดยโครงสร้างและรหัสคำสั่งจะเหมือนกันทุกประการแตกต่างกันที่

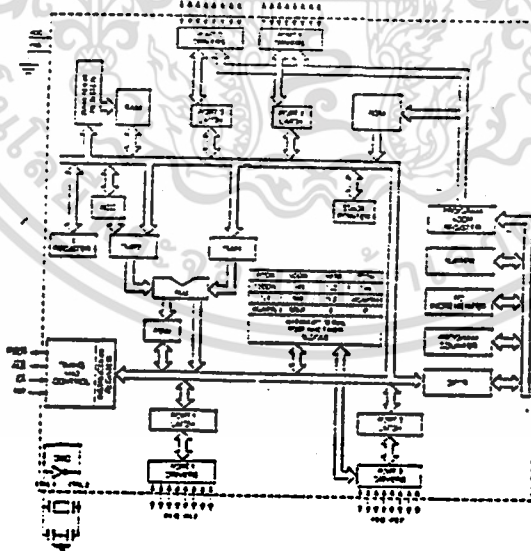
- 8031 จะไม่มี ROM ขนาด 4 กิโลไบต์อยู่ภายใน ผู้ใช้จะต้องเลือกการใช้งาน Program Memory อยู่นอกวงจรรวมทั้งหมด 64 กิโลไบต์
- 8051 จะมี ROM ขนาด 4 กิโลไบต์อยู่ภายใน ถ้าต้องการเก็บคำสั่งควบคุมการทำงานไว้ในหน่วยความจำส่วนนี้ จะต้องส่งโปรแกรมคำสั่งไปให้โรงงานผู้ผลิตทำการเขียนใส่ใน ROM ให้ตั้งแต่ในขั้นตอนของการผลิตวงจรรวม ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมได้เอง ถ้าจะนำมาใช้งานโดยเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำช่วง 4 กิโลไบต์แรกอยู่นอกก็สามารถทำได้ โดยการต่อ ROM ไว้ภายนอก แล้วต่อขา EA ของ 8051 ไว้กับสัญญาณที่มีสภาวะลอจิกเป็น 0
- 8751 จะมีหน่วยความจำขนาด 4 กิโลไบต์เป็นแบบ EPROM (Erasable Program Read Only Memory) อยู่นอกวงจรรวมเอาไว้ ใช้เก็บโปรแกรมคำสั่งที่จะให้ 8751 ทำงาน ผู้ใช้สามารถเขียนคำสั่งลงไปใน EPROM ได้เองโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องโปรแกรม EPROM (EPROM Programmer) และผู้ใช้สามารถแก้ไขโปรแกรมที่อยู่ใน EPROM ได้โดยล้างข้อมูลในทุกตำแหน่งของ EPROM ออกด้วยการฉายแสงอุลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ผ่านกระจกใสบนวงจรรวมเข้าไปยังวงจรรวมภายใน ตามเวลาที่กำหนดในคู่มือโดยเฉพาะ (Data Sheet) ของ 8751 จากนั้นก็ใช้เครื่องโปรแกรม EPROM เขียนโปรแกรมลงไปใหม่ 8751 นี้สะดวกมากสำหรับการพัฒนาโปรแกรม

2. Data Memory เป็นหน่วยความจำที่ 8051 จะใช้สำหรับพัก, เก็บข้อมูล แล้วเรียกมาใช้งานในระหว่างการทำงานของ 8051 การอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำจะกระทำโดยคำสั่งที่เก็บไว้ใน Program Memory หน่วยความจำแบบนี้เป็นประเภท Random Access Memory (RAM) ถ้ามีไฟเลี้ยงอยู่ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่มีการสูญหาย แต่ถ้าปิดเครื่องหรือไม่จ่ายไฟให้แก่ RAM แล้วข้อมูลต่างๆ ใน RAM จะสูญหายไป การสูญหายของข้อมูลไม่ได้หมายความว่าไม่มีอะไรอยู่เลยแต่เป็นการที่มีข้อมูลใหม่ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลที่เก็บไว้เดิมเข้ามาอยู่แทนที่ เช่นเดิมเก็บข้อมูล 18H ไว้ที่ตำแหน่ง 1900H เมื่อปิดไฟแล้วเปิดใหม่ ข้อมูลที่ตำแหน่ง 1900H จะไม่ใช่ 18H อาจเป็นค่าอะไรก็ได้ ซึ่งเรียกการเกิดลักษณะแบบนี้ว่าข้อมูลสูญหายไป หน่วยความจำแบบ Data Memory ของ 8051 จะมีอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งอยู่ภายใน 8051 จำนวน 128 ไบต์ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH (แอดเรส

8052 จะมี 256 ไบต์อยู่ที่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH) และอีกชุดหนึ่งจะต้องอยู่ที่ภายนอกวงจรรวม 8051 มีได้สูงสุด 65536 ไบต์ (64 กิโลไบต์) อยู่ที่ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH ดังแสดงในรูปที่ 3.26 หน่วยความจำแบบ Data Memory ภายใน 8051 ที่ตำแหน่ง 80H ถึง FFH นั้นไม่ได้มีอยู่ทุกตำแหน่ง จะมีเฉพาะบางตำแหน่งซึ่งเรียกหน่วยความจำบางตำแหน่งนี้ว่า Special Function Register (SFR) เพราะจะใช้หน่วยความจำเหล่านี้เฉพาะงานพิเศษเท่านั้น แต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำแบบ SFR นี้ อาจเป็น RAM หรือวงจรมับ (Counter) วงจรตั้งเวลา (Timer) ก็ได้เช่นเป็น Timer 0, Timer 1 ดังนั้นใน 8051 จึงไม่ถือว่า SFR เป็น Data Memory ถ้าเป็น 8052 ซึ่งมี Data Memory ขนาด 256 ไบต์ จะใช้บางตำแหน่งของหน่วยความจำช่วงตำแหน่ง 80H ถึง FFH เป็น SFR ส่วนตำแหน่งอื่นที่เหลือก็เป็น RAM เหมือนกับหน่วยความจำช่วง 00H ถึง 7FH นั่นเอง

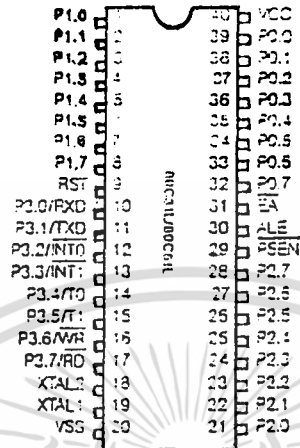
สถาปัตยกรรมของ 8051

เราได้กล่าวถึงไดอะแกรมภายในของ 8051 อย่างกว้างๆ ซึ่งพอจะบอกได้โดยสังเขปว่า ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ ๑๖ ส่วน ในรูปที่ 3.27 เป็นสถาปัตยกรรมภายในของ 8051 ซึ่งจะอธิบายถึงส่วนย่อยๆ ของภายใน 8051 เพียงชีพเดียว และสัญญาณจากภายในจะต่อออกสู่ภายนอกทาง ขา (Pin) ของ 8051 ที่มีอยู่ 40 ขา ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 สถาปัตยกรรมภายในของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ไดอะแกรมขาของ 8051 แบบ DIP

8051 ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่บรรจุอยู่ในวงจรรวมแบบ Dual Inline Package (DIP) ซึ่งแต่ละข้างของ 8051 มีขาอยู่ข้างละ 20 ขารวมทั้งหมด 40 ขานั้นจะใช้งานต่างๆกันดังนี้

Vcc

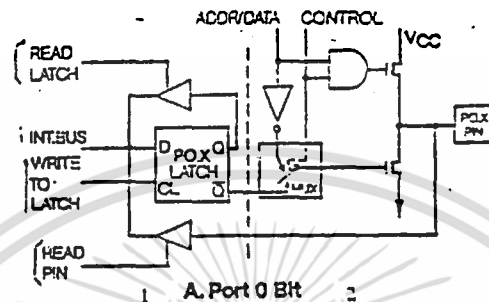
ขา 40 เป็นขาที่ต้องป้อนไฟเลี้ยง +5 โวลท์ เพื่อให้วงจรรวมทำงานได้ ระดับโวลเตจของลอจิก 0 และ 1 ของ 8051 จึงต่อเข้ากับอุปกรณ์ลอจิกแบบ TTL ได้โดยตรง

Vss

ขา 20 เป็นขาที่ต้องต่อกับกราวด์ (Ground) ของแหล่งจ่ายไฟ การต่ออุปกรณ์ทั้งหมดจะต้องมีกราวด์ของอุปกรณ์เข้าด้วยกัน

Port 0

เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 39 ถึง 32 เริ่มจากบิต 0 ถึง 7 ตามลำดับดังในรูปที่ 3.28 แต่ละขาจะเขียนว่า P0.0, P0.1,....., P0.7 นั้น P0.7 หมายถึงบิต 7 ของพอร์ท 0 ซึ่งเป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant) และ P0.0 คือบิต 0 ของพอร์ท 0 เป็นบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant) พอร์ท 0 นี้ใช้ได้ทั้งการรับ-ส่งตำแหน่งและข้อมูลกับหน่วยความจำหรือใช้เป็นพอร์ทรับ-ส่งข้อมูลก็ได้ ข้อมูลที่ส่งออกทางพอร์ท 0 จะถูก Latch ไว้ที่ขาของพอร์ท โครงสร้างแต่ละบิตของพอร์ท 0 เป็นแบบ Open Drain Bidirectional



รูปที่ 3.29 โครงสร้างของพอร์ท 0

ในรูปที่ 3.29 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.27 ส่วนที่ 1 ของรูปที่ 3.29 ก็คือ Port 0 Latch ในรูปที่ 3.27 และส่วนที่ 2 ของรูป 3.18 ก็คือ Port 0 Driver ของรูปที่ 3.27 นั่นเอง

จากโครงสร้างในรูปที่ 3.29 เมื่อมีคำสั่งการเขียนข้อมูลมายังพอร์ท 0 ข้อมูลจาก Internal Data Bus จะถูก Latch ไว้ที่ D-FF โดยสัญญาณ “Write to Latch” ที่ถูกสร้างมาจากส่วน Timing and Control และในการอ่านข้อมูลจากพอร์ท 0 จะอ่านได้ 2 แบบคือการอ่านข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บไว้ที่พอร์ทก็จะมีสัญญาณ Read Latch มาเพื่ออ่านข้อมูลจาก D-FF กลับเข้าไปยัง Internal Data Bus การอ่านข้อมูลอีกแบบก็คือการอ่านสถานะของสัญญาณที่เข้ามาทางพอร์ท 0 ก็จะมีสัญญาณ Read Pin มาควบคุมการอ่าน พอร์ท 0 ก็จะใช้งานหลายอย่างดังนี้

1. ใช้สำหรับส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อด้วย ตำแหน่งหน่วยความจำสูงสุดที่จะติดต่อก็คือ 64 kbyte จึงมีค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 16 บิตของเลขฐาน 2 ค่าตำแหน่งหน่วยความจำตำแหน่ง 8 บิตล่างจะถูกส่งออกไปทางพอร์ท 0 และ 8 บิตบนจะส่งออกไปทางพอร์ท 2
2. ใช้รับ-ส่งข้อมูลกับ Data Memory หรือใช้รับข้อมูลจาก Program Memory

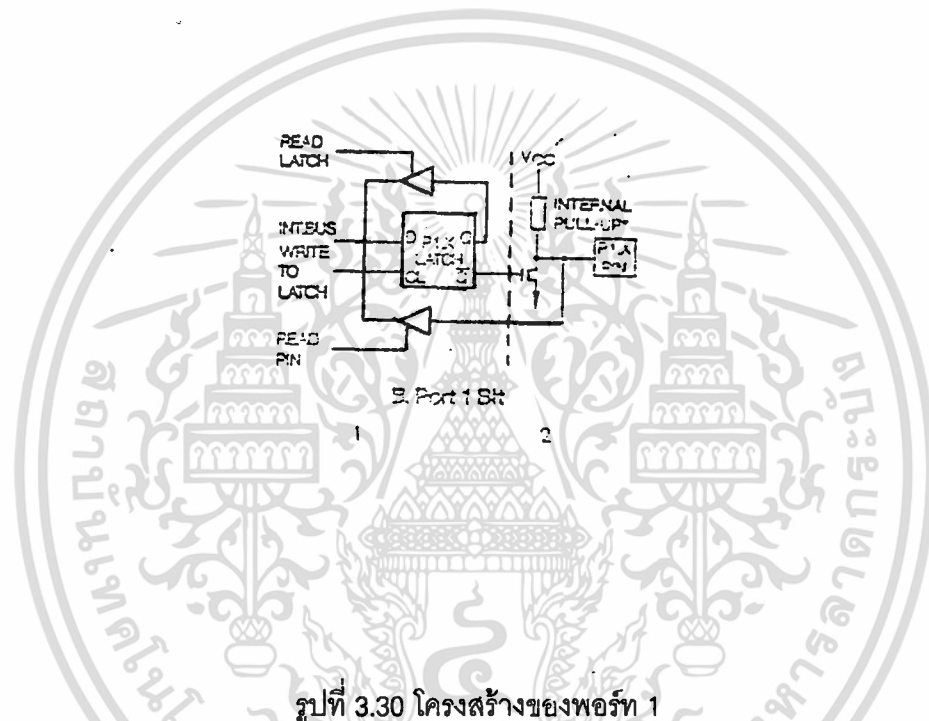
3. ใ้รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ทโดยตรง ในกรณีที่ไม่มีการใช้หน่วยความจำของ Program Memory หรือ Data Memory ภายนอก

วงจรภายในส่วน Timing and Control จะเป็นตัวสร้างสัญญาณมาควบคุมวงจรในรูปที่ 3.29 เพื่อให้การทำงานแต่ละอย่างข้างต้น เมื่อแต่ละบิตของพอร์ท 0 ทำงานตามข้อ 1 และ 2 ข้างต้น วงจร Timing and Control จะทำให้สถานะลอจิกของขา Control เป็น 1 ซึ่งทำให้สวิตช์ MUX อยู่ในตำแหน่งข้างบน เมื่อพอร์ท 0 จะส่งข้อมูลซึ่งเป็นค่าตำแหน่งหน่วยความจำหรือข้อมูลที่จะเขียนออกไปยังหน่วยความจำภายนอกก็จะส่งค่าดังกล่าวมายัง ADDR/DATA ถ้าข้อมูลที่ส่งมาเป็น 1 จะทำให้สัญญาณที่ออกมาจาก AND GATE เป็น 1 และสัญญาณที่ออกมาจาก Inverter เป็น 0 ดังนั้น FET ตัวบน ON (สถานะ ON ของ FET คือความต้านทานระหว่างขา D และ S มีค่าต่ำมากเหมือนกับวงจรปิด) ส่วน FET ตัวล่าง OFF (สถานะ OFF ของ FET คือความต้านทานระหว่างขา D และ S มีค่าสูงมากเหมือนกับเป็นวงจรเปิด) สถานะลอจิกที่ขา P0.X PIN จะเป็น 1 แต่ถ้าข้อมูลที่ส่งออกมาเป็น 0 ก็จะทำให้สัญญาณจาก AND GATE เป็น 0 และสัญญาณที่ออกมาจาก Inverter เป็น 1 ดังนั้น FET ตัวบนจะ OFF ส่วน FET ล่างจะ ON ทำให้สถานะลอจิกที่ขา P0.X .PIN จะเป็น 0 เมื่อ 8051 ต้องการให้พอร์ท 0 ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก หรือใช้ทำงานในข้อ 3 ข้างบน ก็จะทำให้ได้โดยวงจร Timing and Control ทำให้สถานะลอจิกของสัญญาณ Control ในรูปเป็น 0 ทำให้เอาท์พุทจาก AND GATE เป็น 0 FET ตัวบนจะ OFF และสวิตช์ MUX จะอยู่ในตำแหน่งข้างล่างดังนั้น FET ตัวล่างจะ ON หรือ OFF ก็แล้วแต่ข้อมูลที่ขา Q ของ D-FF เมื่อมีการเขียนข้อมูลจาก Internal Data Bus มายัง D-FF ก็จะมีสัญญาณ Write to Latch มายัง D-FF ด้วย ถ้าข้อมูลที่เขียนมาเป็น 1 ก็จะทำให้ขา Q มีสถานะลอจิกเป็น 0 ทำให้ FET ตัวล่าง OFF ดังนั้นขา P0.X จะอยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance) เพราะทั้ง 2 ตัว OFF แต่ถ้าข้อมูลที่เขียนมายัง D-FF เป็น 0 จะทำให้ FET ตัวล่าง ON แต่ตัวบน OFF ทำให้สถานะลอจิกที่ขา P0.X เป็น 1 ดังนั้น PORT 0 เมื่อให้ทำงานเป็นพอร์ทส่งข้อมูล (ไม่ใช่ส่งตำแหน่งหน่วยความจำ) จะไม่สามารถแสดงสถานะลอจิก 1 ได้จึงต้องต่อตัวต้านทาน Pull Up ไว้ภายนอก ระหว่างขา P0.X กับไฟเลี้ยงวงจรถ้าจะใช้พอร์ท 0 สำหรับรับข้อมูลเข้าไปยัง Internal Data Bus ต่อไปโดยคำสั่งอ่านสถานะลอจิกทางพอร์ท 0 ก็จะทำให้วงจร Timing and Control สร้างสัญญาณ Read Pin สำหรับการอ่านสถานะลอจิกข้างต้นถ้าไม่เขียน 1 มาเก็บไว้ยัง D-FF ก่อนที่จะอ่านข้อมูลแล้วอาจมีข้อมูลค้างอยู่ที่ D-FF ทำให้ Q เป็น 0 และ Q เป็น 1 ซึ่งทำให้ FET ตัวล่าง ON สัญญาณที่ต่อเข้ามาที่ขา P0.X ไม่ว่าจะ มีสถานะลอจิกใดจะถูกลงกราวด์ ดังนั้นเมื่ออ่านข้อมูลเข้าไปจะพบว่าเป็น 0 เสมอ ในการอ่าน

ข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกนั้นวงจร Timing and Control ก็เขียนข้อมูลมายัง D-FF ให้มีลอจิกเป็น 1 และสร้างสัญญาณ Control ให้มีลอจิกเป็น 0 ก่อนจะอ่านข้อมูลเข้าไปด้วย

Port 1

เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต ในรูปที่ 3.28 คือขา P1.0 ถึง P1.7 (ขา 1-8) P1.0 หมายถึง บิต 0 ของพอร์ท 1 ซึ่งเป็นบิต Least Significant Bit และบิต P1.7 หมายถึงบิตที่ 7 ของพอร์ท 1 ซึ่งเป็นบิต Most Significant Bit โครงสร้างพอร์ท 1 แต่ละบิตดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 โครงสร้างของพอร์ท 1

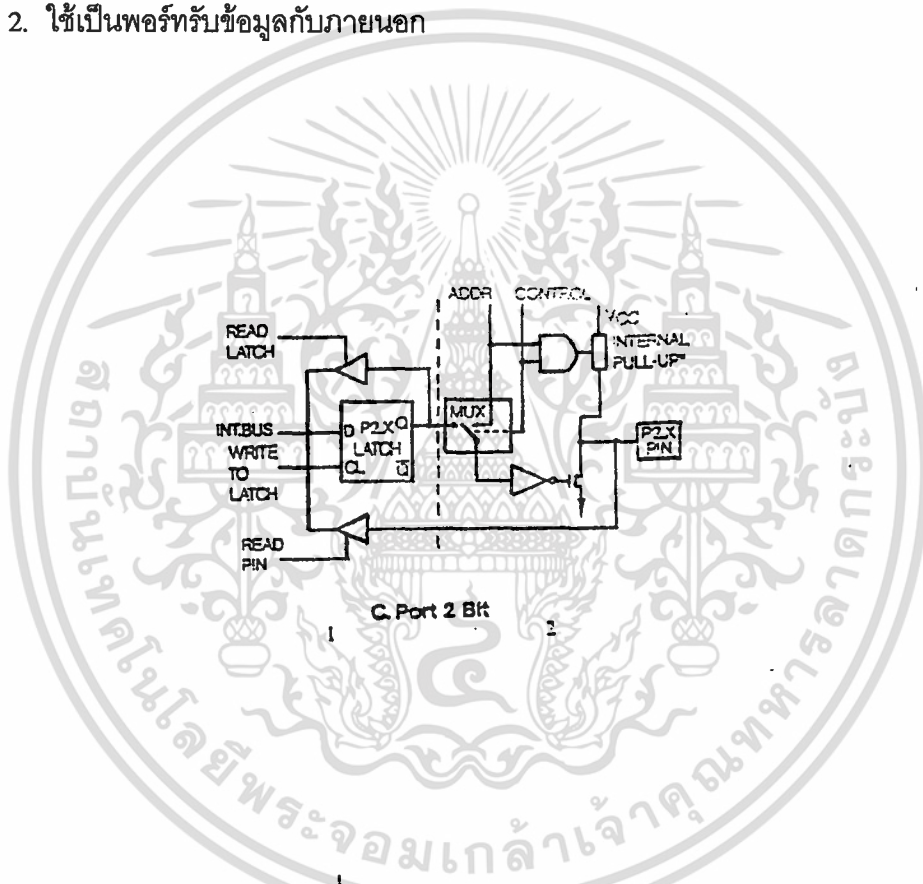
ส่วนที่ 1 คือ Port 1 Latch ซึ่งจะมีการทำงานเหมือนส่วนที่ 1 ของพอร์ท 0 ส่วนที่ 2 คือ Port 1 Driver Port 1 Driver นี้จะมีตัวต้านทานต่ออยู่เป็น Internal Pull Up พอร์ท 1 นี้จะใช้ทำหน้าที่เป็นตัวรับ-ส่งข้อมูลเท่านั้นที่ส่งออกมาทางพอร์ท 1 จะถูก Latch ไว้แล้วส่งออกไปทางแต่ละขา ก่อนที่จะอ่านข้อมูลเข้าไปทางพอร์ท 1 จะต้องเขียน 1 ไปยังทุกบิตของพอร์ท 1 เสียก่อนเพื่อให้ FET อยู่ในสภาวะ OFF ก่อน มิฉะนั้นถ้ามีข้อมูล 0 ส่งออกมาค้างอยู่ที่ D-FF จะทำให้ FET อยู่ในสภาวะ ON ดังนั้นถ้าสัญญาณภายนอกส่งออกมาที่ขานี้จะถูกลัดวงจรลงกราวด์ โดยไม่สนใจว่าสภาวะลอจิกของสัญญาณที่เข้ามาว่าเป็นอะไร ข้อมูลที่อ่านเข้าไปจึงจะเป็น 0 เสมอ

Port 2

พอร์ทขนาด 8 บิต คือขา P2.0 ถึง P2.7 (บิต 0 ถึงบิต 7 ของพอร์ท 2) ในรูปที่ 3.28 โครงสร้างของพอร์ท 2 แต่ละบิตจะมีดังรูปที่ 3.31

ลักษณะโครงสร้างจะเหมือนกับพอร์ท 0 แตกต่างกันที่พอร์ท 2 นั้นภาค Driver จะใช้งานเพียงสองลักษณะคือ

1. ใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อ ค่าตำแหน่งนี้เป็น 8 บิตบนของค่าตำแหน่ง
2. ใช้เป็นพอร์ทรับข้อมูลกับภายนอก



รูปที่ 3.31 โครงสร้างของพอร์ท 2

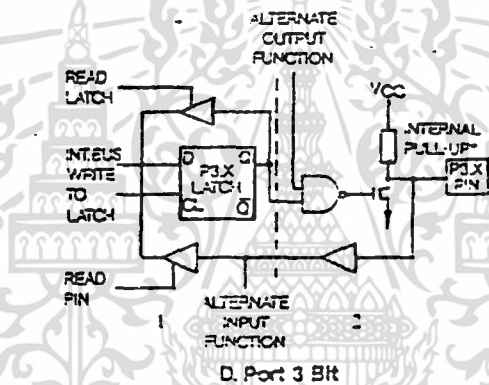
ดังนั้นภาค Driver ของพอร์ท 2 จึงแตกต่างกับ Driver ของพอร์ท 0 โดยที่ในพอร์ท 2 นั้นจะมีเฉพาะ ADDR (ตำแหน่งหน่วยความจำ) เข้ามาที่ MUX (Multiplexer) เท่านั้น นอกนั้นแล้วการทำงานจะเหมือนกันและที่เอาต์พุตของพอร์ท 2 จะมี Internal Pull-Up ซึ่งเป็นตัวต้านทานและจะทำให้เอาต์พุตของพอร์ท 2 แสดงสถานะลอจิกเป็น 1 ได้ ถ้า FET อยู่ในสถานะ OFF บางครั้งเรียกว่า “Quasi-bidirectional” เมื่อใช้เป็นพอร์ทอินพุตก็สามารถทำได้โดยการต่อสัญญาณภายนอกเข้ามา

โดยตรง ถ้าสัญญาณภายนอกเป็น 0 ก็จะมีกระแสไหลออกจากพอร์ท (Source Current) ในการที่จะใช้พอร์ทนี้เป็นพอร์ทรับข้อมูลเข้า จะต้องเขียน 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ทเสียก่อน

Port 3

คือขา P3.0 ถึง P3.7 หรือขา 10-17 ตามลำดับในรูปที่ 3.27 พอร์ทนี้จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.32

ส่วนที่หนึ่ง ในรูปที่ 3.32 เป็นส่วน Latch ข้อมูลที่เขียนมายังพอร์ท 3 ทาง Internal Bus เหมือนกับพอร์ทอื่นๆ และพอร์ท 3 จะมี Internal Pull Up อยู่ทุกบิต แต่พอร์ท 3 นี้แต่ละบิตจะใช้ในการทำงานอื่นได้โดยใช้คำสั่งในการควบคุมการทำงาน ในส่วนที่สอง จะมีสัญญาณ Alternative Output Function ที่สร้างมาจากส่วน Timing and Control สัญญาณ Alternative Output Function เป็นสัญญาณที่ส่งออกในกรณีที่ใช้พอร์ท 3 ทำงานในฟังก์ชันอื่น และจุด Alternative Input Function เป็นจุดที่จะเอาสัญญาณไปเข้ากับส่วนอื่นตามการทำงานของบิตนั้น แต่ละบิตของพอร์ท 3 จะมีฟังก์ชันอื่นดังนี้



รูปที่ 3.32 โครงสร้างของพอร์ท 3

- P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่รับข้อมูลแบบอนุกรม
- P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
- P3.2/INT0 (External Interrupt) ใช้นับสัญญาณรบกวนจากภายนอก
- P3.3/INT1 (External Interrupt) ใช้นับสัญญาณรบกวนจากภายนอก
- P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/Counter 0 ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T0
- P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยัง Timer/Counter 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับ T0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.6/WR (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียน
ข้อมูล

ไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

P3.7/RD (External Data Memory Read Strob) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูล
จากหน่วยความจำสำหรับข้อมูล

RST

ขารีเซทขานี้จะใช้ทำการรีเซทการทำงานของ 8051 ที่ขา RST ภายใน 8051 จะมีตัวต้านทานระหว่างขาเข้ากับกราวด์(Ground) ถ้าป้อนสัญญาณที่มีสภาวะลอจิก 1 เข้าไปที่ขาจะเป็นการรีเซทการทำงานของ 8051 ดังนั้นจึงสามารถต่อตัวเก็บประจุ (Capacitor) ภายนอกระหว่างขา RST กับไฟเลี้ยง +5 โวลต์เพื่อให้เกิดการรีเซทเมื่อเริ่มป้อนไฟเลี้ยงให้กับ 8051 ซึ่งเรียกว่า Power on reset การรีเซทจะทำให้ค่ารีจิสเตอร์ต่างๆเปลี่ยนไปเป็นค่าหนึ่งดังในตารางรูปที่ 3.33

REGISTER	CONTENT
PC	0C00H
ACC	00H
B	00H
PSW	00H
SP	00H
DPTR	0C00H
P0-P3	0FFH
IP	00H
IE	0XC00C003
TMCD	00H
TCON	00H
T2CCN	00H
TH0	00H
TLO	00H
TH1	00H
TL1	00H
TH2	00H
TL2	00H
RCAP2H	00H
RCAP2L	00H
SCON	00H
SEUF	Indeterminate
CCCN	00H

รูปที่ 3.33 ค่าของรีจิสเตอร์เมื่อเกิดการรีเซท 8051

ในตารางช่องทางขาเป็นค่าของรีจิสเตอร์ที่อยู่ทางซ้ายเมื่อสิ้นสุดการรีเซท ในรีจิสเตอร์ SBUF เมื่อสิ้นสุดการรีเซทจะมีค่าที่ไม่แน่นอน และพอร์ทอยู่ในสภาวะลอจิก 1 ทุกบิตตลอดเวลาที่สัญญาณของขา RST เป็น HIGH อยู่

เมื่อสัญญาณที่ขา RST กลับเป็น 0 ก็จะออกจากการรีเซท 8051 จะเริ่มทำงานจากคำสั่งที่อยู่
อยู่ใน Program memory ตำแหน่ง 0000H เพราะค่าของรีจิสเตอร์ PC (Program Counter) ซึ่งใช้ที่

ตำแหน่งโปรแกรมที่จะทำงานถูกเปลี่ยนให้เป็น 0000H ดังนั้นผู้ใช้จะต้องเขียนโปรแกรมมาเก็บไว้ที่ตำแหน่ง 0000H ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียว (Single Board Microcomputer) จะมีโปรแกรมที่เขียนเก็บไว้เริ่มจากตำแหน่ง 0000H นี้เรียกว่ามอนิเตอร์โปรแกรม (Monitor program) ที่จะคอยรับการกดแป้นพิมพ์ (Keyboard) และแสดงผลทางตัวแสดงผล (Display) แบบ 7 Segment

ALE

Address Latch Enable ขานี้จะส่งสัญญาณที่มีความถี่ 1/6 เท่าของสัญญาณนาฬิกาจากออสซิลเลเตอร์สัญญาณนี้จะถูกส่งออกมาตลอดเวลายุ่งเว้นบางครั้งการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051 สัญญาณนี้จะใช้กับการต่ออุปกรณ์ภายนอก 8051 ว่าขณะนี้สัญญาณนี้ Active (เป็นลอจิก 1) จะมีการส่งข้อมูลที่เป็น 8 บิตล่างของตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกของ 8051 ที่ต้องการส่งออกไปทางพอร์ท 0 อุปกรณ์ภายนอกจะใช้สัญญาณภายนอกในการ Latch ข้อมูลไว้เพราะพอร์ท 0 จะส่งค่าตำแหน่งของหน่วยความจำเพียงชั่วขณะเท่านั้น ซึ่งในเวลาต่อมาพอร์ท 0 จะใช้รับ-ส่งข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก สัญญาณ ALE จะสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ TTL ชนิด LS ได้ถึง 8 อินพุท

PSEN

Program Store Enable เป็นขาที่ 29 ในรูปที่ 3.28 ขาปกติจะให้ลอจิก 1 แต่จะลอจิก 0 เมื่อต้องการอ่านคำสั่ง (Fetch Instruction) ที่จะนำไปทำงานมาจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายนอก 8051 ในกรณีที่อ่านคำสั่งซึ่งเก็บอยู่ในหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายใน 8051 แล้วสัญญาณนี้จะไม่เปลี่ยนลอจิกเป็น 0 ขา PSEN นี้สามารถต่อไปยังขาอินพุทของ TTL ชนิด LS ได้ถึง 8 อินพุท

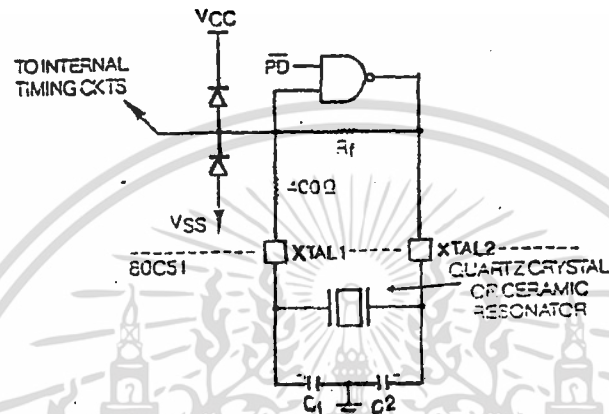
EA

External Access ขา 31 ของรูปที่ 3.28 ขานี้เป็นขาอินพุทที่ต่อเข้าไปยังวงจร Timing and Control เพื่อควบคุมการสร้างสัญญาณ PSEN ถ้าป้อนสัญญาณลอจิก 0 เข้าไปที่ขา EA นี้แสดงว่าโปรแกรมในตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH ที่ต้องการให้ทำงานเก็บไว้ภายนอก 8051 จะต้องสร้างสัญญาณ PSEN ออกไปยังนอก เพื่อทำการ FETCH คำสั่งเข้ามาทำงาน แต่ถ้าสัญญาณที่ป้อนให้ขา EA เป็น 1 หมายความว่าโปรแกรมในตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH ถูกเก็บไว้ใน 8051 การทำงานในตำแหน่งหน่วยความจำในช่วงนี้จะอ่านคำสั่งต่างๆจาก ROM ภายใน 8051

XTAL1

ขาที่ 19 ของรูปที่ 3.28 ขานี้จะต่อเข้ากับขาของ Inverting Amplifier (วงจรขยายแบบป้อนกลับเฟสสัญญาณ) ที่ประกอบเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ ในรูปที่ 3.34 จะเห็นวงจรภายในของ

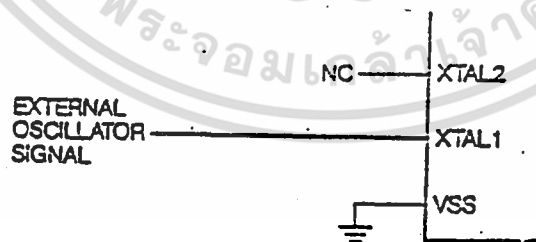
ขอสซิลเลเตอร์ NAND Gate จะทำหน้าที่เป็นวงจรรขยายแบบกลับเฟสของสัญญาณที่จะควบคุมให้มีการขอสซิลเลตหรือไม่ก็ขึ้นกับสัญญาณ PD ซึ่งต่อมาจากบิต PD ของรีจิสเตอร์ PCON ถ้าต้องการให้สัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) จากภายนอกมาเป็นสัญญาณนาฬิกา ควบคุมการทำงานของ 8051 ก็ให้ป้อนสัญญาณเข้ามาที่จุดนี้แต่ถ้าต้องการใช้วงจรรอสซิลเลเตอร์ภายในก็ให้ต่อคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ดังรูปที่ 3.34 คาปาซิเตอร์ในวงจรรวมมีค่าประมาณ 20 PF



รูปที่ 3.34 วงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน 8051

XTAL2

ขาที่ 18 ของรูปที่ 3.28 ขานี้เป็นเอาต์พุตของวงจรรขยายแบบกลับเฟสสัญญาณที่ประกอบเป็นวงจรรอสซิลเลเตอร์ (อินพุทคือขา XTAL1) ถ้าจะใช้สัญญาณนาฬิกาที่สร้างมาจากภายนอกเป็นสัญญาณนาฬิกาของ 8051 แล้ว ให้ปล่อยขานี้ลอยไว้แล้วป้อนสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้ามาที่ขา XTAL1 ดังรูปที่ 3.35

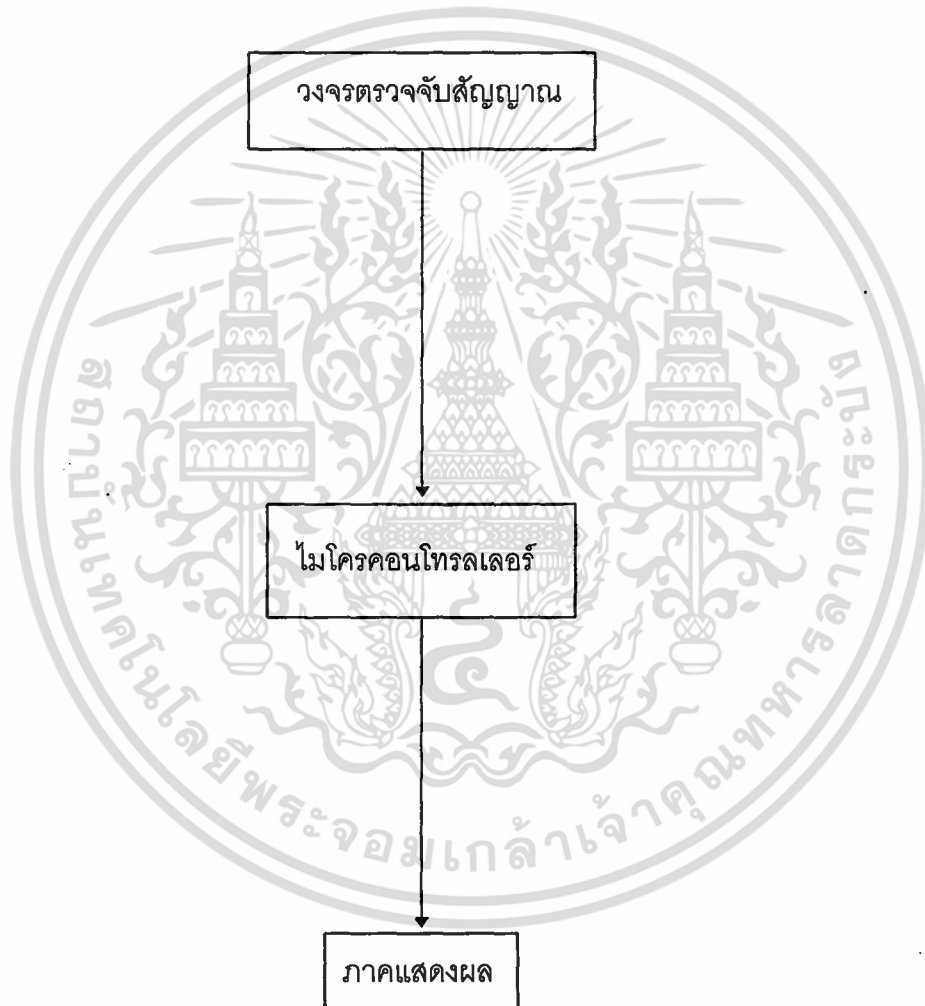


รูปที่ 3.35 8051 ที่ทำงานโดยสัญญาณที่ออกมาจากภายนอก

บทที่ 4
การดำเนินงาน

4.1 การดำเนินงาน

เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของการทำงานของวงจรรวมทั้งหมดได้ดังนี้

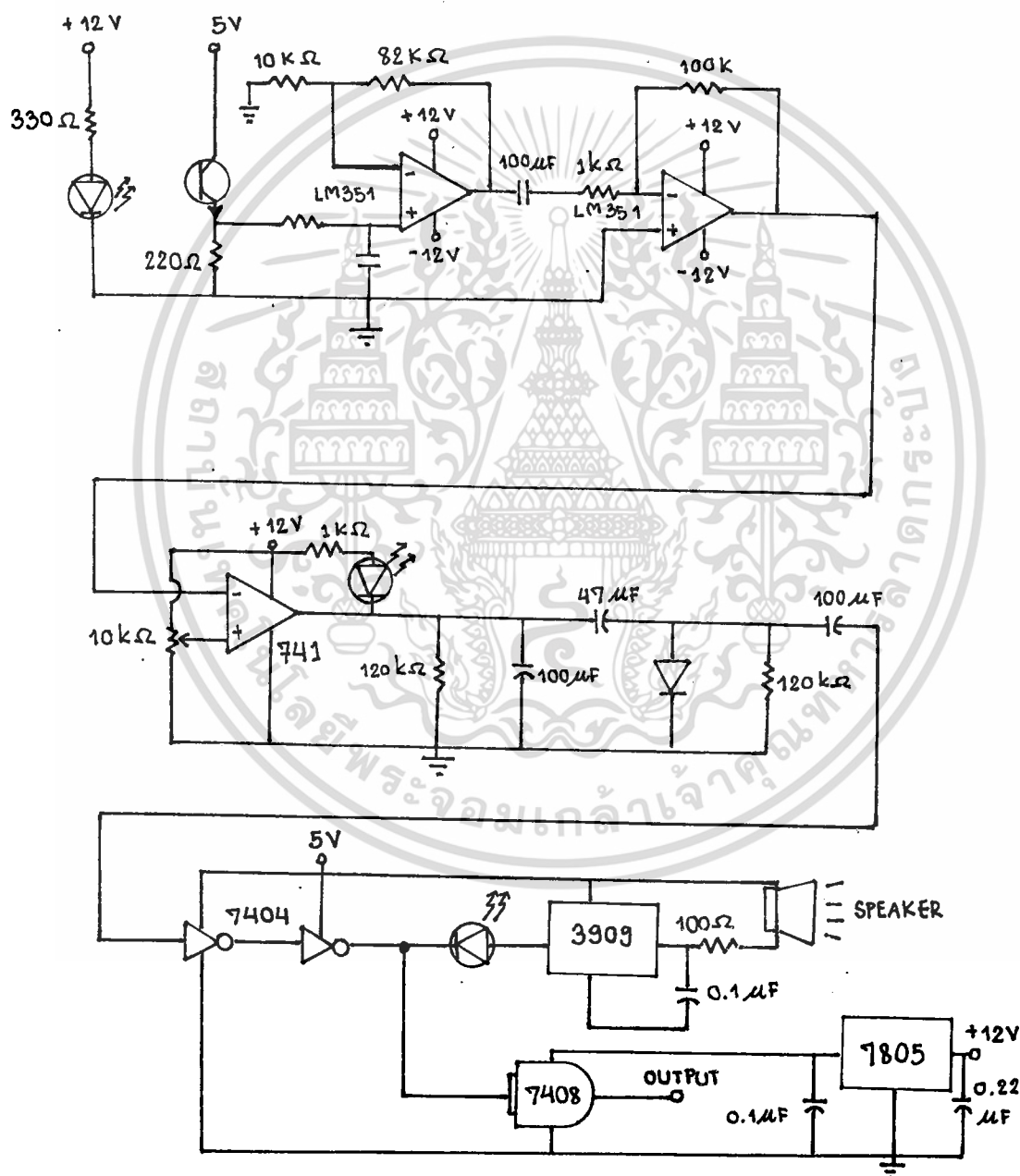


รูปที่ 4.1 แสดงภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรส่วนแรกที่เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ เมื่อนำส่วนที่บางของร่างกายไปวางคั่นระหว่าง LED และตัวดีเทคเตอร์ ก็จะได้สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามจังหวะการเต้นของหัวใจ จากนั้นก็นำสัญญาณที่ตรวจจับได้มาปรับแต่ง เพื่อนำไปประมวลผลหาอัตราการเต้นของชีพจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงผลออกมาเป็นค่าตัวเลขพร้อมกับเสียงการเต้นของหัวใจ

4.2 วงจรตรวจจับสัญญาณ



รูปที่ 4.2 วงจรตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรดังในรูปที่ 4.2 จะเริ่มจากส่วนแรกคือภาคของตัวส่ง เราเลือกใช้ตัวส่งเป็น red LED ดังนั้นจึงมีการต่อ forward bias เหมือนกับไดโอดโดยทั่วไป โดยต่อผ่านตัวต้านทานค่าหนึ่ง เข้ากับไฟเลี้ยง 12 v โดยเมื่อต่อเข้ากับความต้านทานตัวนี้แล้ว ค่าความต่างศักย์ที่บริเวณ anode ของ LED จะต้องไม่ค่าไม่เกินกว่าที่ LED จะทนได้ แต่ควรมีค่ากระแสมากเพื่อที่ LED จะสว่างมากที่สุด

วงจรในภาครับนี้ใช้ photo darlington transistor เนื่องจากในตัวของมันมีการต่อขยายกระแสเอาไว้อยู่แล้ว ทำให้สามารถตรวจวัดได้ปริมาณกระแสเอาท์พุทจากตัวมันสูง แต่สัญญาณที่ออกมาจากตำแหน่งนี้ก็ยังคงมีค่าน้อย ดังนั้นจึงนำไปขยายต่อ โดยใช้ออปแอมป์ LF351N มาต่อเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส ทั้งนี้เพราะวงจรขยายแบบกลับเฟสนี้มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สูงกว่าในกรณีที่ต่อแบบไม่กลับเฟส จึงทำให้ไม่มีการโหลดของสัญญาณ เราสร้างให้มีอัตราขยายสัญญาณ 10 เท่า เอาท์พุทของสัญญาณที่ได้จากสเตจนี้เริ่มมองเห็นการเปลี่ยนแปลงตามจังหวะการเต้นของหัวใจแล้ว มีค่าอยู่ในหน่วยช่วง 10 มิลลิโวลท์ นอกจากนี้สัญญาณที่ปรากฏในช่วงนี้ยังมี noise ออกมาด้วย มีค่าความถี่ประมาณ 100 Hz. ดังนั้นภาพของสัญญาณที่จับได้บนหน้าจอของออสซิลโลสโคปที่ตรงนี้จะเห็นเป็น สัญญาณ noise ความถี่ 100 Hz. มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดโดยยกตัวเองขึ้นลงตามจังหวะการเต้นของหัวใจ โดยสัญญาณเหล่านี้จะลอยตัวอยู่ที่ตำแหน่ง DC ค่าหนึ่งที่เกิดจากปริมาณแสงคงที่ค่าหนึ่งที่ทะลุผ่านมาได้ จากนั้นเราก็ต่ออนุกรมสัญญาณในส่วนนี้เข้ากับ C เพื่อที่จะตัดสัญญาณ DC ส่วนนั้นทิ้งไป โดยเราทำการต่อขยายสัญญาณแบบกลับเฟสซ้ำอีกครั้ง คราวนี้เอาท์พุทออกมาในช่วงหน่วยเป็นโวลท์

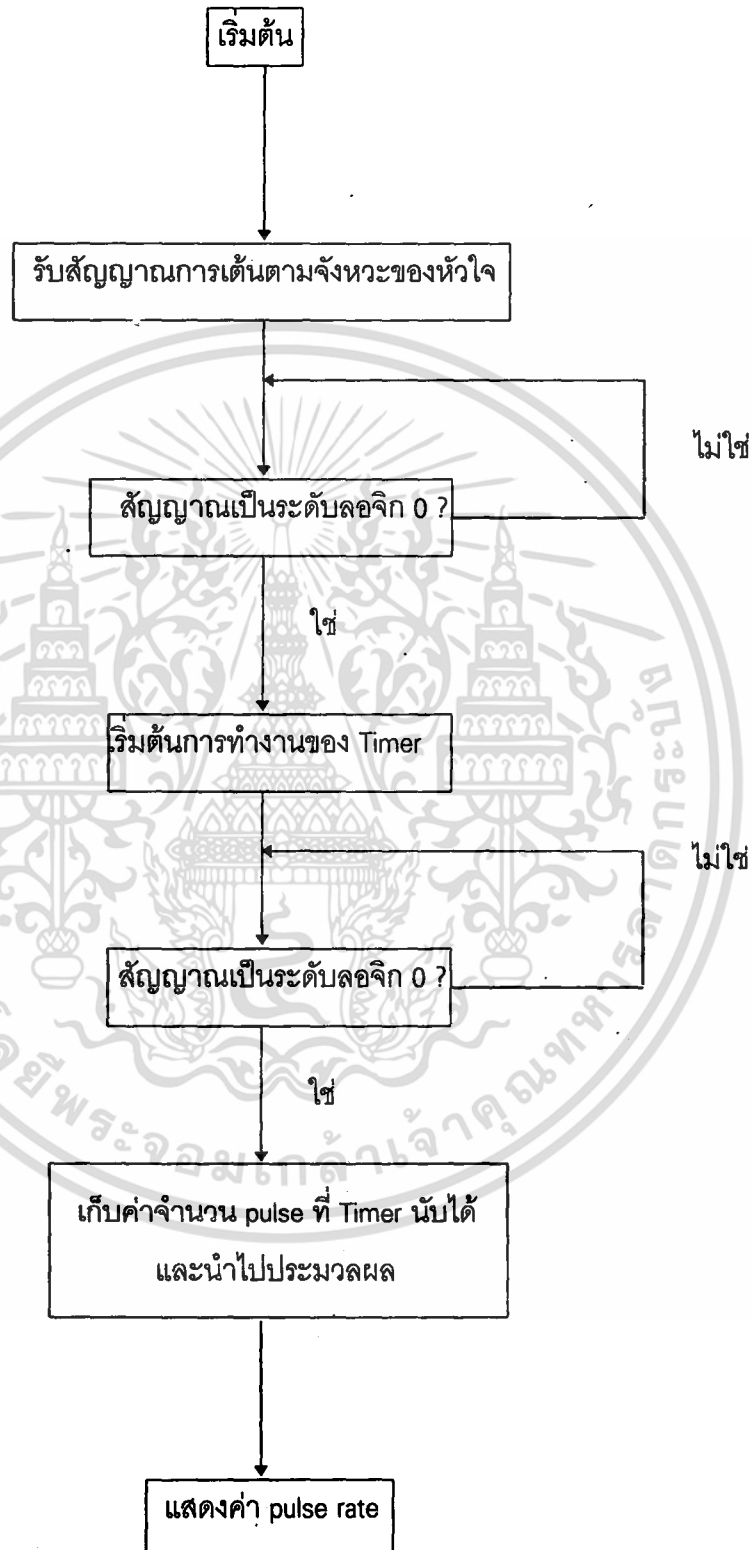
จากนั้นเรานำสัญญาณไปเข้า comparator เพื่อจะจัดสัญญาณให้เป็น digital แต่เนื่องจาก noise ที่ชื่ออยู่บนสัญญาณหัวใจนั้นมีขนาดใหญ่ ทำให้สัญญาณที่ออกมาจาก comparator นั้นไม่เรียบ เราจึงต่อ C ที่มีขนาดใหญ่เข้าไปช่วย โดยอาศัยช่วงเวลาการคายประจุที่ยาวนานทำให้สัญญาณเรียบขึ้น แต่สัญญาณที่ออกมานี้กลับมีค่า DC ที่ติดลบ เราจึง ต่ วงจร clamp เพื่อยกระดับของสัญญาณมาไว้ที่ ground เราก็นำสัญญาณไปผ่านวงจรที่เรียกว่า envelope detector เพื่อจะจับเอาสัญญาณหัวใจเพียงอย่างเดียว โดย noise จะถูกกำจัดออกไป ลักษณะของสัญญาณที่ได้ที่ตำแหน่งนี้จะเป็นแบบ digital ที่สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว ส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในวงจรที่ทำหน้าที่ขับลำโพง ให้มีเสียงตามจังหวะการเต้นของหัวใจ อีกส่วนหนึ่งถูกต่อเข้ากับ buffer เพื่อนำไป link กับส่วนประมวลผล

4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

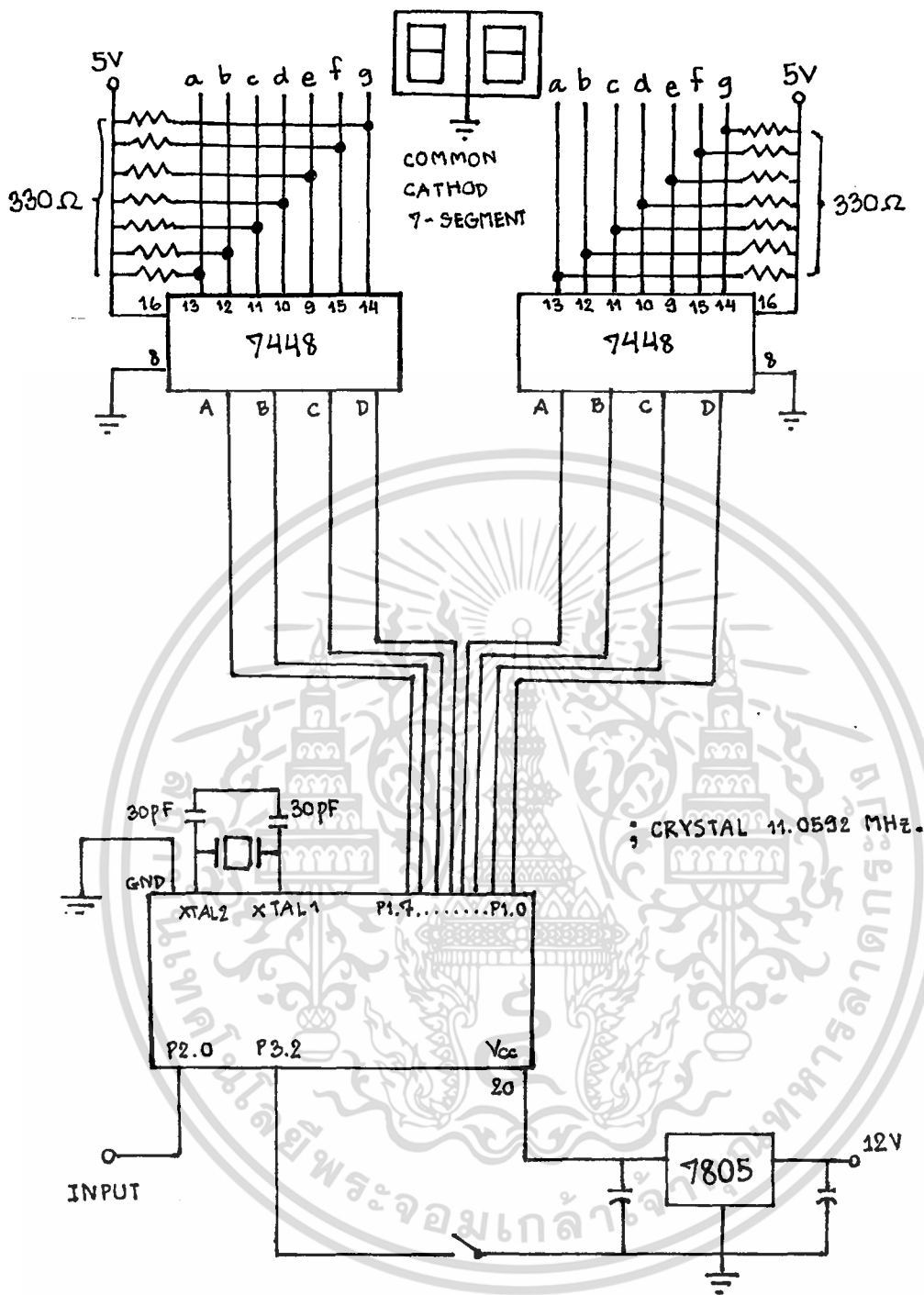
เมื่อเราได้สัญญาณการเต้นของหัวใจในรูปแบบที่เป็นดิจิตอล เราก็จะนำสัญญาณนั้นมาประมวลผลเพื่อแสดงเป็นค่าความถี่ของอัตราชีพจรของหัวใจโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานนั้น ถูกเขียนโดยใช้ภาษาแอสเซมบลี ซึ่งสามารถเขียน flowchart ของการทำงานในส่วนนี้ได้เป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปของวงจรภาคประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG      000H
LJMP     MAIN
ORG      00BH
LJMP     OVER
ORG      0100H
MAIN:    SETB     EA
MOV      TMOD,#01H
MOV      P1,#00H
JB       P2.0,$
SETB     ETO
MOV      TLO,#00H
MOV      TH0,#00H
SETB     TR0
MOV      R2,#00H
JB       P2.0,$
CLR      EA
CLR      TR0
CLR      ETO
CLR      A
MOV      A,50H
CLR      C
SUBB     A,#106D
MOV      50H,A
ACALL    SEGMENT
ACALL    DELAY
SETB     EA
OVER:    PUSH     ACC
PUSH     PSW
INC      R2
MOV      50H,R2
POP      PSW
POP      ACC
RETI
SEGMENT:MOV     DPTR,#SHOW
MOV      A,50H
MOVC     A,@A+DPTR
MOV      P1,A
RET
DELAY:   MOV      R7,#90H
D1:      MOV      R6,#90H
DJNZ     R6,$
DJNZ     R7,D1
RET
;SET DISPLAY (60-95 TIME/MIN)
SHOW:    DB       95H,94H,93H,92H,92H,91H,90H,89H,89H,88H
DB       87H,86H,86H,85H,84H,83H,83H,82H,81H,81H
DB       80H,80H,79H,78H,78H,77H,77H,76H,76H,75H
DB       74H,74H,73H,73H,72H,72H,71H,71H,70H,70H
DB       69H,69H,68H,68H,68H,67H,67H,66H,66H,65H
DB       65H,65H,64H,64H,63H,63H,63H,62H,62H,61H
DB       61H,61H,60H,60H,59H
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน้าที่ 57 นั้นเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบประมวลผล โดยเมื่อเรานำสัญญาณเข้ามายัง port 2.0 ที่จังหวะสัญญาณเป็น high ตัว 8051 จะเริ่มทำการนับฐานเวลาในตัวมันเองจนกระทั่งสัญญาณเปลี่ยนจาก high เป็น low และกลับมาเป็น high อีกครั้ง นั่นคือสัญญาณ pulse ของซีพียูครบหนึ่งครั้งจึงหยุดนับ โดยฐานเวลาที่ใช้กับ 8051 นี้คือคริสตรอล 11.0592 Mhz. ตัว 8051 จะเก็บค่าช่วงเวลาที่น่าับได้ใน pulse การเดินของหัวใจ แล้วนำไปหาค่าความถี่ ซึ่งจะแสดงผลโดยการป้อนค่าออกมาทาง port 1 ของ 8051 เพื่อไปขับ 7-SEGMENT แสดงผลออกมาเป็นจำนวนครั้งที่หัวใจเต้นในหนึ่งนาที

4.3 สรุป

ในการตรวจวัดสัญญาณนั้น ได้มีการใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งทาง hardware และ software คือเมื่อเราสามารถตรวจจับสัญญาณได้จากการใช้แสงส่องผ่านปลายนิ้วมือ แล้วเราก็นำมาขยาย และจัดรูปแบบของสัญญาณให้กลายเป็นดิจิตอล เพื่อนำไปประมวลผลโดยใช้ Microcontroller ที่ถูกเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลีเป็นตัวควบคุม แล้วแสดงผลเป็นค่าตัวเลขจำนวนครั้งต่อนาทีทาง 7-SEGMENT

บทที่ 5 ผลการวิจัย

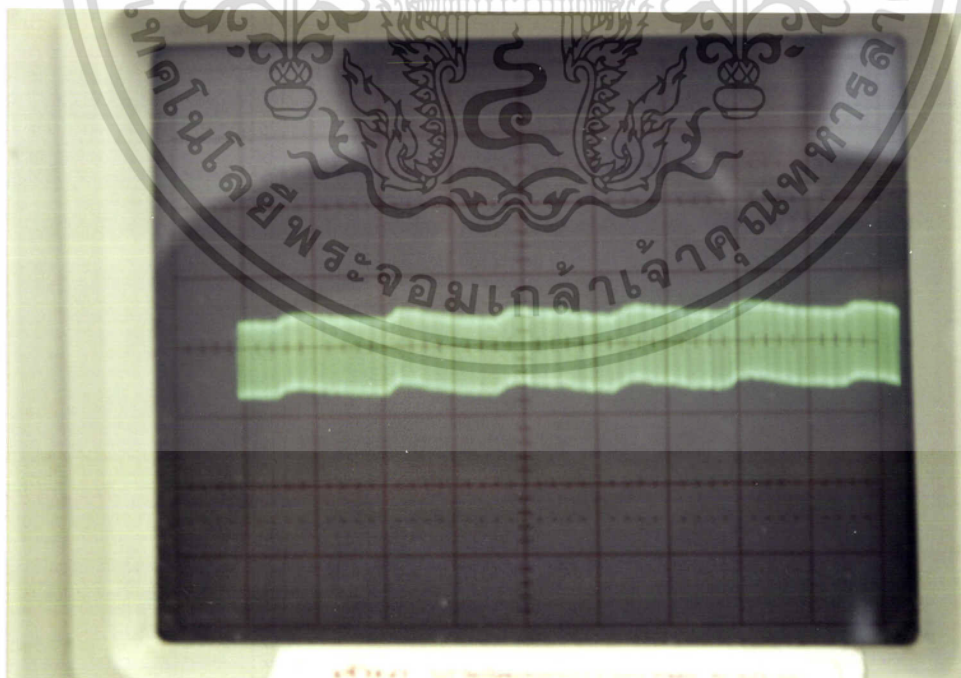
จากการดำเนินงานตามขั้นตอน ได้มีการบันทึกผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าในการเลือกใช้อุปกรณ์ตัวให้แสงที่เป็น red LED ให้ประสิทธิภาพในการบันทึกความแตกต่างระหว่างจังหวะการเต้นของหัวใจได้ดีกว่า infrared LED ทั้งนี้สอดคล้องตามทฤษฎีของ Lambert-Beer

ในภาคของอุปกรณ์รับแสง ซึ่งมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงหลายชนิดที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น photodiode, phototransistor, และ photo darlington transistor โดยในที่นี้เราเลือกใช้ photo darlington transistor ทั้งนี้เนื่องจากภายในตัวอุปกรณ์ของมันเอง ได้มีวงจรขยายสัญญาณในตัวแล้ว ทำให้เมื่อมีปริมาณแสงที่ตกกระทบยังตัวอุปกรณ์รับแสงทั้ง 3 แบบ ด้วยปริมาณที่เท่ากัน จะพบว่า photo darlington transistor ให้กระแสเอาต์พุตได้มากที่สุด

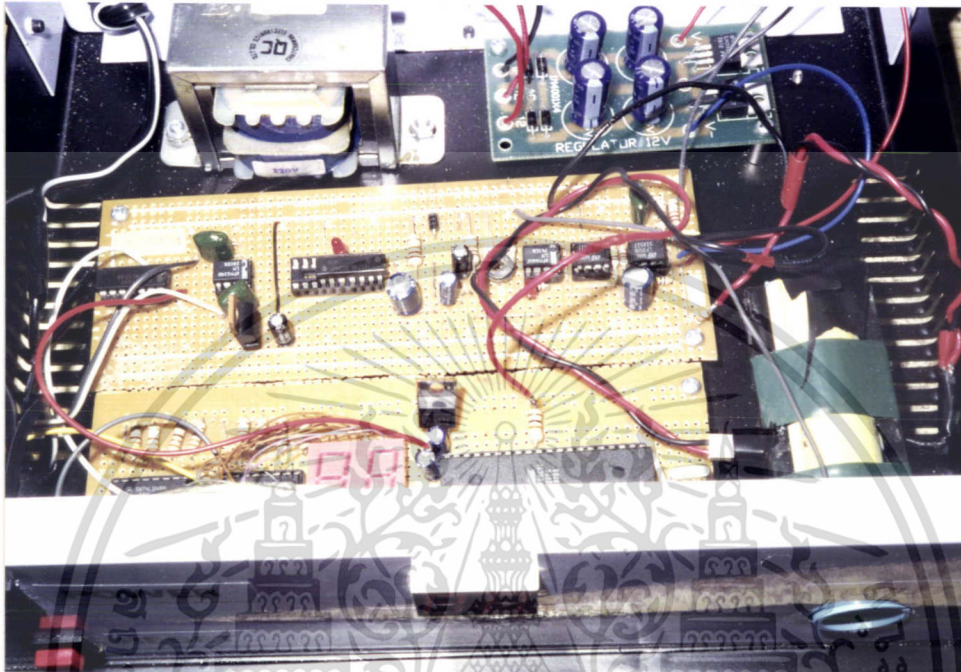
เราสามารถบันทึกภาพสัญญาณที่ตรวจวัดได้มีลักษณะเป็นดังในรูปที่ 5.1



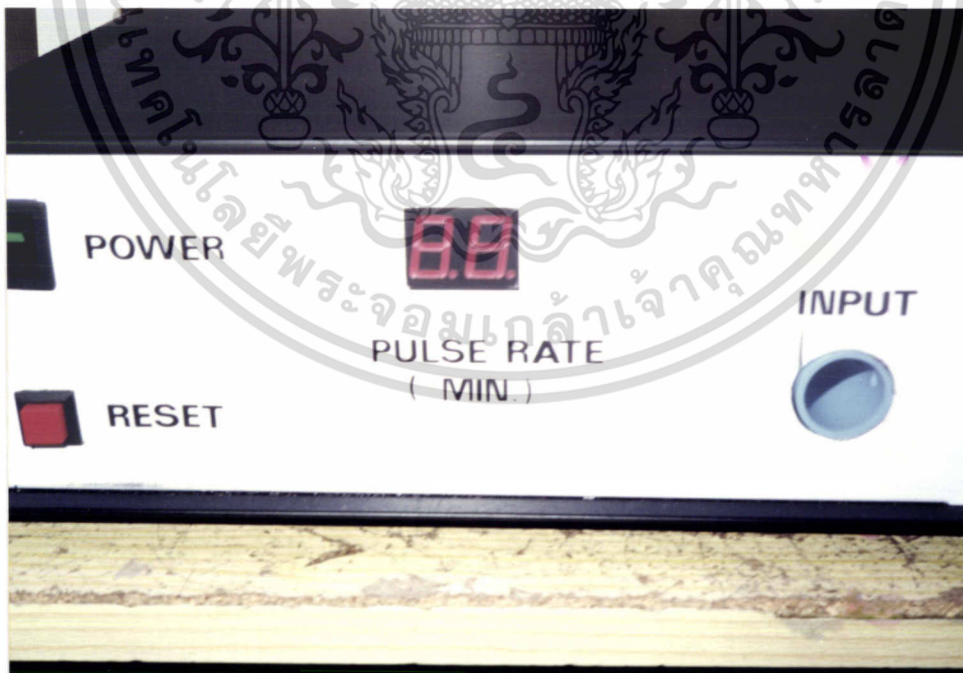
รูปที่ 5.1 ลักษณะสัญญาณของการเต้นของหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 5.1 ว่ามีสัญญาณที่ปรากฏอยู่ในรูป 2 ค่าความถี่ ซึ่งนั่นได้แก่ สัญญาณ noise ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตรวจวัด ซึ่งมีค่าประมาณ 100 Hz. ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของแอมพลิจูดของตัวมันเองตามจังหวะการเต้นของหัวใจ

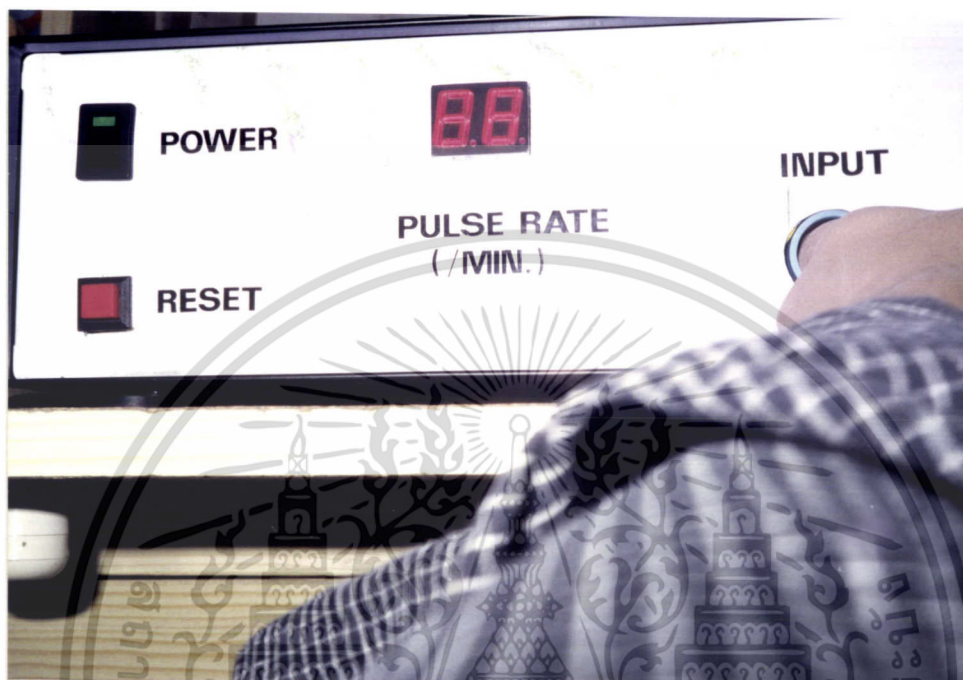


รูปที่ 5.2 ภาพของวงจรทั้งหมด



รูปที่ 5.3 ภาพของเครื่องมือเมื่อสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงการใช้งานอุปกรณ์

5.2 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่มีผลต่อชีพจร

จากการศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจ จะพบได้ว่าในคนปกติชีพจรอาจเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. คนหนุ่มสาวที่มีสุขภาพสมบูรณ์ อัตราการเต้นชีพจรแตกต่างกันมาก เมื่ออยู่ในภาวะปกติอัตราชีพจรอาจมีค่าเพียง 40-90 ครั้งต่อนาที ขณะออกกำลังกายหรือเกิดอาการตื่นเต้น อาจเพิ่มได้สูงถึง 210 ครั้งต่อนาที ส่วนคนวัยกลางคนอัตราชีพจรจะเพิ่มได้เพียง 160 ครั้งต่อนาที
2. อัตราชีพจรจะสูงในเด็ก ค่อยๆลดลงเมื่อเป็นผู้ใหญ่ และลดลงต่ำเมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุ
3. อัตราชีพจรในเพศหญิงจะสูงกว่าเพศชายเล็กน้อย
4. อัตราชีพจรจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนจากท่านอนมาเป็นท่านั่ง และทำยืนตามลำดับ
5. สภาวะทางจิตใจและอารมณ์ สามารถเพิ่มอัตราการเต้นของชีพจรได้ เช่น โกรธ เสีย

ใจ อาย ประหม่า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อุณหภูมิมีผลต่อการเดินของหัวใจ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ชีพจรจะเต้นเร็วขึ้น

5.3 แนวทางในการพัฒนา

ในการตรวจวัดสัญญาณนั้น การวางตำแหน่งของนิ้วมือระหว่างตัว LED และ ตัว detector นั้นมีผลต่อสัญญาณที่ตรวจวัดมาก เพื่อให้ได้ผลที่ดีควรมีการกำหนดตำแหน่งที่สามารถตรวจวัดสัญญาณได้ดีที่สุดเอาไว้

นอกจากนี้เรายังสามารถพัฒนาระบบของเครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้โดยการนำสัญญาณที่ตรวจวัดได้ ไป interface เข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลรูปของสัญญาณการเต้นให้ปรากฏออกมาทางจอภาพ

5.4 สรุป

ในการดำเนินงานเราจะพบว่าทางเลือกใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมจะทำให้สามารถตรวจวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ดีขึ้น โดยผลการทดลองซึ่งแสดงถึงจังหวะการเต้นของหัวใจที่วัดได้จากแต่ละคนนั้นอาจมีค่าที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพทางสรีรวิทยาต่างๆ เรายังจะสามารถพัฒนาระบบให้ต่อไปได้ตามรูปแบบของจุดประสงค์ในการใช้งานต่างๆตามความเหมาะสม

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาเทคนิคการตรวจวัดชีพจรโดยใช้แสงนี้ ได้นำเอาคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของวัตถุมาใช้ โดยจาก Lambert-Beer Law ได้กล่าวถึงปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุใด ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับความหนาของวัตถุ สีของวัตถุ ความหนาแน่นของวัตถุ ตลอดจนองค์ประกอบอื่นๆอีก เราจึงได้นำเอาหลักการนี้มาใช้ โดยเมื่อเราให้แสงส่องผ่านส่วนบางๆของร่างกาย เช่น ปลายนิ้วมือ คิ้ว หรือปลายจมูก เป็นต้น โดยในที่นี้เราเลือกทำการตรวจวัดที่ปลายนิ้วมือ เนื่องจากจะสามารถทำการตรวจวัดหาสัญญาณได้ง่ายกว่าการวัดที่ตรงบริเวณส่วนอื่น ซึ่งจะทำให้พบว่าปริมาณแสงที่จะทะลุออกมานั้นมีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่จะสอดคล้องกับจังหวะการเต้นของหัวใจ

เมื่อเรานำอุปกรณ์รับแสงที่ทำหน้าที่แปลงปริมาณสัญญาณที่ได้รับ ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยปริมาณกระแสเอาท์พุทจะขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ตกกระทบบ ไปรับแสงที่ทะลุผ่านออกมาจากปลายนิ้ว จะทำให้เกิดเอาท์พุทที่มีแอมพลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของแสงที่ตกกระทบบนตัวมัน ในตอนนี้จะทำให้เราได้สัญญาณการเต้นของหัวใจที่แสดงออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า

ทั้งนี้ในการตรวจวัดสัญญาณที่อุปกรณ์รับแสงอาจไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงที่ทะลุผ่านจากส่วนบางๆของร่างกายนั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วมันมีค่าน้อยมากนั้น ไม่ได้หมายความว่าไม่การเต้นของหัวใจแต่อย่างใด แต่ทั้งนี้เนื่องจากคลื่นความดันของเลือดที่เกิดขึ้นในจังหวะการบีบและคลายตัวของหัวใจนั้นอาจมีขนาดอ่อนเกินกว่าที่จะถูกส่งมาถึงอวัยวะส่วนปลายของร่างกาย (เช่น ปลายนิ้ว) หรืออาจมาถึงแต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยวิธีการตรวจวัดที่มีอัตราการขยายสัญญาณต่ำ

และเนื่องจากค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างระหว่างจังหวะการบีบและคลายตัวของหัวใจได้น้อยนี้เอง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งสัญญาณใหม่ โดยนำมาขยายให้มีค่าที่มากพอที่จะนำมาใช้งาน นอกจากนี้สัญญาณชีพจรที่ตรวจวัดได้ยังมี noise เกิดขึ้น จึงต้องมีการกำจัด noise ออกไปให้ได้มากที่สุด ก่อนที่นำไปประมวลผลหาค่าอัตราการเต้นของหัวใจเป็นจำนวนครั้งในหน่วยเวลาที่แน่นอน

ในการประมวลผลของระบบการตรวจวัดชีพจรโดยใช้แสงนี้ เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

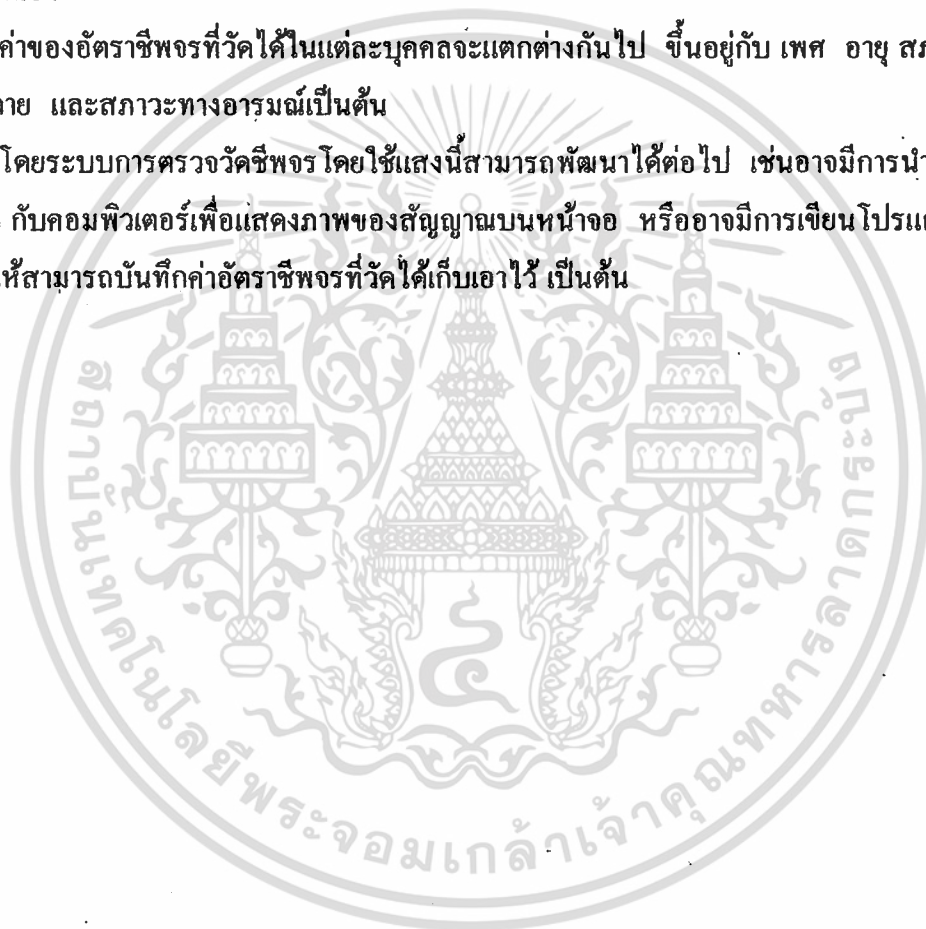
ในการหาค่า pulse rate นี้ ซึ่งสัญญาณที่เป็นอินพุทของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นดิจิทัล ดังนั้นสัญญาณที่ได้โดยผ่านการขยายสัญญาณแล้วนั้น ต้องนำไปผ่าน comparator เพื่อเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณจากอนาลอกมาเป็นดิจิทัลเสียก่อน จึงจะนำมาเข้าสู่ส่วนของวงจรประมวลผลได้

ในการคำนวณหาค่าอัตราการเดินทางของชีพจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เราจะหาค่าคาบของสัญญาณหัวใจ โดยอ้างอิงจากฐานเวลาที่ใช้ในการควบคุมการทำงานภายในของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง ดังนั้นในการแสดงผลของระบบจะอยู่ในรูปของค่าอัตราการเดินทางของชีพจรในหน่วยนาที่ พร้อมกับมีเสียงตามจังหวะการเดินทางของหัวใจที่เกิดขึ้นจากการป้อนสัญญาณให้กับลำโพงนั่นเอง

ค่าของอัตราชีพจรที่วัดได้ในแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับ เพศ อายุ สภาพทางร่างกาย และสภาวะทางอารมณ์ เป็นต้น

โดยระบบการตรวจวัดชีพจรโดยใช้แสงนี้สามารถพัฒนาได้ต่อไป เช่นอาจมีการนำไป interface กับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงภาพของสัญญาณบนหน้าจอ หรืออาจมีการเขียนโปรแกรมควบคุมให้สามารถบันทึกค่าอัตราชีพจรที่วัดได้เก็บเอาไว้ เป็นต้น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. McPherson, S.P. in *Respiratory Care Equipment* 5th ed. , pp.146-147, Mosby, New York,1995
2. Eubanks, D.H. and Bone R.C. in *Principles and Applications of Cardiorespiratory Care Equipment* pp.308-309, Mosby, New York, 1994
3. วรมนต์ ตรีพรหม ใน *สัณฐานวิทยา* หน้า 45-50 โครงการตำรามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
4. ยืน ภู่วรรณ ใน *ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 3* หน้า 23-25 บริษัท ซีเอ็ดดูเคชัน จำกัด (มหาชน)
5. คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใน *ฟิสิกส์ 2* หน้า 410-412 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. Kenneth J. Ayala in *The 8051 Microcontroller Architecture, Programing, and Applications* pp. 1-129, West Publishing Company, 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายฝั่งน่าน แ้วนแก้ว

เกิดเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนสตรีวิทยา 2 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาวรุ่งฤดี อู๋ประเสริฐ

เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนศรีอยุธยา จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

Photo Detectors
Darlington Output

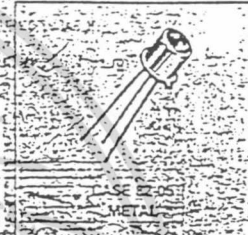
MRD360
MRD370

... designed for application in industrial inspection, processing and control, counters, sorters, switching and logic circuit or any design requiring very high radiation sensitivity at low light levels.

- Popular TO-18 Type Hermetic Package for Easy Handling and Mounting
- Sensitive Throughout Visible and Near Infrared Spectral Range for Wider Application
- Minimum Light-Current 12 mA at $H = 0.5 \text{ mW/cm}^2$ (MRD360)
- External Base for Added Control
- Switching Times

$t_r @ I_L = 1 \text{ mA peak} = 15 \mu\text{s (Typ)}$ — MRD370
 $t_f @ I_L = 1 \text{ mA peak} = 25 \mu\text{s (Typ)}$ — MRD370

PHOTO DETECTORS
DARLINGTON OUTPUT
— NPN SILICON



MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE}	0	Volts
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	0	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CB}	50	Volts
Light Current	I_L	50	mA
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	50	mW
Operating Temperature Range	T_A	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to 150	$^\circ\text{C}$

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector Dark Current ($V_{CE} = 10 \text{ V}, H = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{CEO}	—	10	100	nA
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)CBO}$	50	—	—	Volts
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)CEO}$	0	—	—	Volts
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)EBO}$	10	—	—	Volts

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	MRD360	MRD370	Min	Typ	Max	Unit
Light Current ($V_{CC} = 5 \text{ V}, R_L = 10 \text{ Ohms}$) Note 1	I_L	I_L	12	20	—	mA
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_L = 10 \text{ mA}, H = 2 \text{ mW/cm}^2$ at 2870K)	$V_{CE(sat)}$	$V_{CE(sat)}$	—	10	1	Volt
Photo Current Rise Time (Note 2) ($R_L = 100 \text{ ohms}, I_L = 1 \text{ mA peak}$)	t_r	t_r	—	40	100	μs
Photo Current Fall Time (Note 2) ($R_L = 100 \text{ ohms}, I_L = 1 \text{ mA peak}$)	t_f	t_f	—	15	100	μs
Wavelength of Maximum Sensitivity	λ_s	λ_s	—	60	150	μs
			—	25	150	μm

NOTES: 1. Radiation flux density (H) equal to 0.5 mW/cm^2 emitted from a tungsten source at a color temperature of 2870 K.
2. For unsaturated response time measurements, radiation is provided by pulsed GaAs (gallium-arsenide) light-emitting diode ($\lambda = 940 \text{ nm}$) with a pulse width equal to or greater than 500 microseconds (see Figure 6) $I_L = 1 \text{ mA peak}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

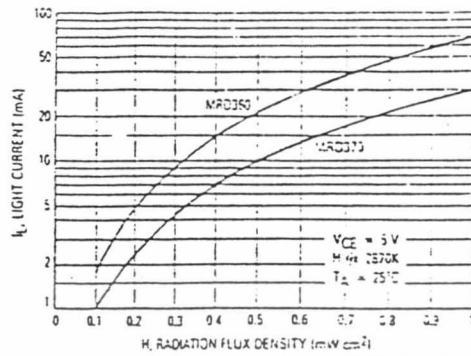


Figure 1. Light Current versus Irradiance

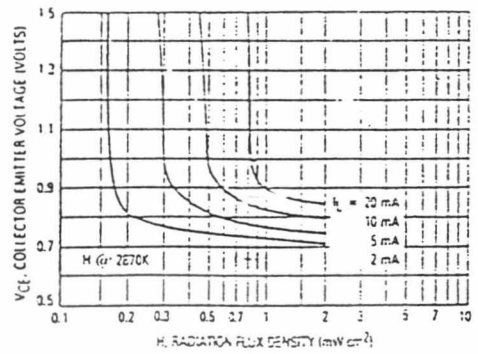


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Characteristic

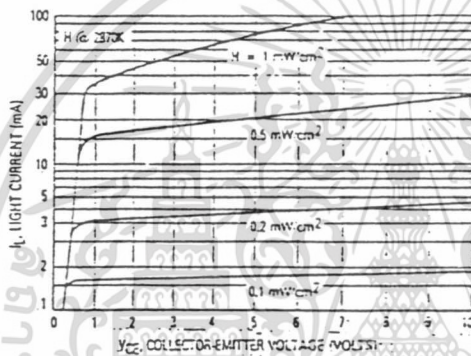


Figure 3. Collector Characteristics

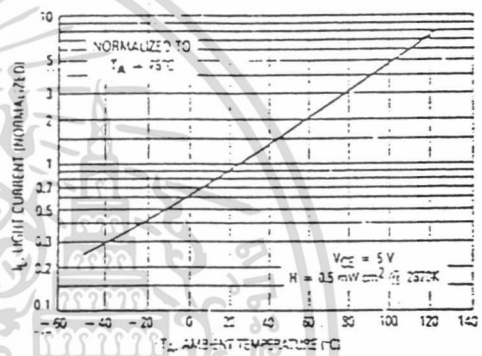


Figure 4. Normalized Light Current versus Temperature

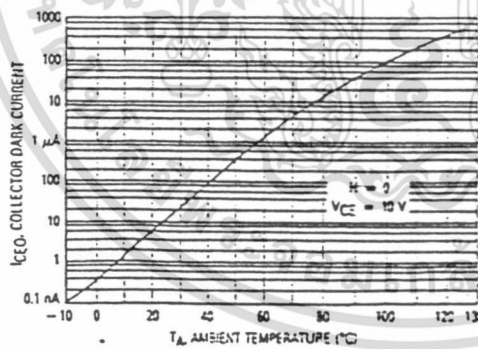


Figure 5. Dark Current versus Temperature

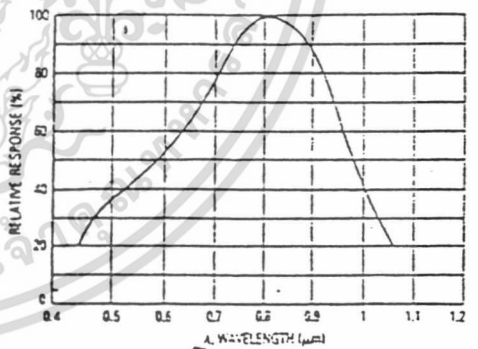


Figure 6. Constant Energy Spectral Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

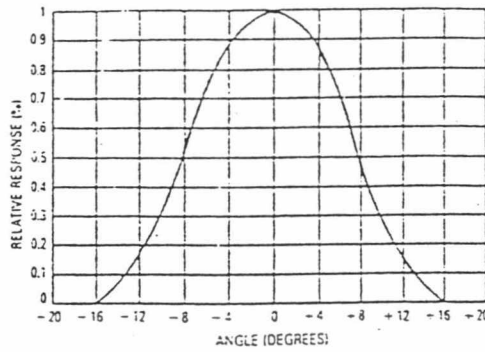


Figure 7. Angular Response

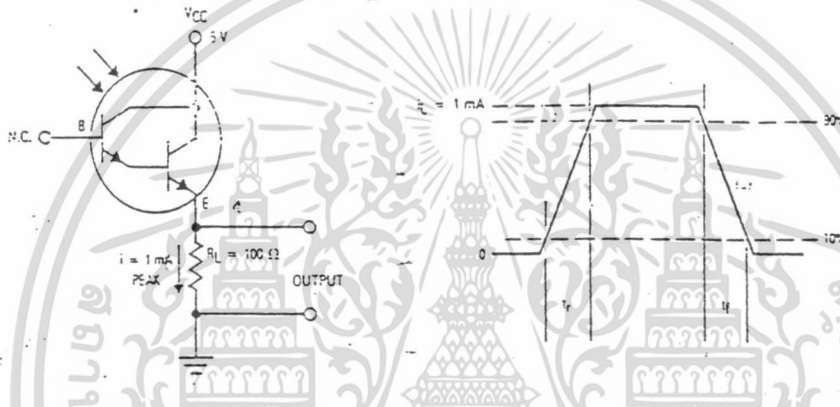


Figure 8: Pulse Response Test Circuit and Waveform

OUTLINE DIMENSIONS

NOTES

- LEADS WITHIN 13 mm EDGE RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE, AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION
- PIN 3 INTERNALLY CONNECTED TO CASE

STYLE 1
1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	5.31	5.64	0.209	0.220
B	4.57	4.95	0.179	0.195
C	4.57	6.45	0.179	0.254
D	2.41	3.45	0.095	0.136
F	—	1.14	—	0.045
G	7.54 BSC	—	0.292 BSC	—
H	6.95	1.17	0.274	0.046
J	6.34	1.27	0.250	0.050
K	17.70	—	0.697	—
L	3.35	4.01	0.132	0.158
M	44° BSC	—	1.7° BSC	—

**CASE 82-05
METAL**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu A741$ Electrical Characteristics: $V_{CC} = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$

Characteristic	MIN	TYP	MAX	Unit
V_{io} Input offset voltage		1	6	mV
I_{io} Input offset current		20	200	nA
I_b Input Bias Current		80	500	nA
V_{cm} Common-mode input voltage range	± 12	± 13		V
V_{op} Maximum peak output voltage swing	± 12	± 14		V
A_{vd} Large-signal differential voltage amplification	20	200		V/mV
r_i Input resistance	0.3	2		M Ω
r_o Output resistance		75		Ω
C_i Input capacitance		1.4		pF
CMRR Common-mode rejection ratio	70	90		dB
I_{sc} Supply current		1.7	2.8	mA
P_{D} Total power dissipation		50	85	mW

Operating Characteristics: $V_{CC} = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	MIN	TYP	MAX	Unit
SR Slew rate at unity gain		0.5		V/ μs
B ₁ Unity gain bandwidth		1		MHz
t _r Rise time		0.3		μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5404/7404 Hex Inverter

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package		
		C	P	M/CF		C	P	M/CF		C	P	M/CF		C	P	M/CF		C	P	M/CF
T. I.	SN54S04	J	Q	W	SN54H04	J	Q	W	SN54LS04	J	Q	W	SN5404	J	Q	W	SN54L04	J	Q	W
FAIRCHILD	FMS4S04/FM9S04	D	Q		FMS4H04/FM9H04	D	Q	F2	FMS4LS04/FM9LS04	D	Q	F2	FMS404/FM904	D	Q	F2				
MOTOROLA	FC74S04/FC9S04	D	Q		FC74H04/FC9H04	D	Q	P	FC74LS04/FC9LS04	D	Q	P	FM7404/FC9N04	D	Q	P				
N. S. C.	DM74S04		N		DM54H04	J	Q	N	DM54LS04	J	Q	N	DM5404	J	Q	N	DM54L04	J	Q	N
PHILIPS	N74S04		Q		N74H04		Q		N74LS04		Q		FJH241/7404		Q					
SIGNETICS	S54S04	F	Q	A	S54H04	F	Q	A	S54LS04	F	Q	A	S5404	F	Q	A				
SIEMENS	N74S04	F	Q	A	N74H04	F	Q	A	N74LS04	F	Q	A	N7404	F	Q	A				
FUJITSU									74LS04		M		MB418		Q	M				
HITACHI	HD74S		Q	P					HD74LS04		P		HD7404/HD2522		Q	P				
MITSUBISHI	M5S004		P						M74LS04		P		M53204		P					
NEC	74S04		C	Q					74LS04		C	Q	μ PB235		D					
TOSHIBA													TD3404A		P					

Electrical Characteristics SN54LS04/SN74LS04

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 75°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

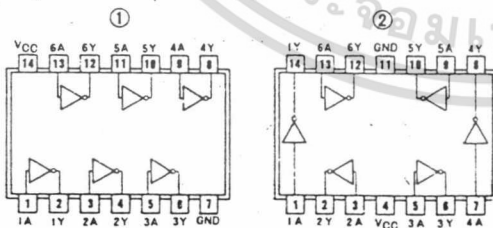
recommended operating conditions

	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μ A
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

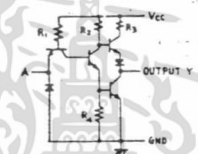
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} =MIN, I _I =-18mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} =MIN, V _I =V _{IH} max, I _{OH} =MAX	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} =MIN, V _I =2V, I _{OL} =4mA		0.4	V	
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} =MAX, V _I =7V		0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} =MAX, V _{IH} =2.7V		20	μ A	
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} =MAX, V _{IL} =0.4V		-0.4	mA	
I _{OS}	Short-circuit output current	V _{CC} =MAX	SN54LS Family	-20	-100	mA
			74LS Family	-20	-100	mA
I _{CC} H	Supply current	V _{CC} =MAX	Total, outputs high	1.2	2.4	mA
I _{CC} L	Supply current	V _{CC} =MAX	Total, outputs low	3.6	6.6	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} =5V	Average per gate (50% duty cycle)	0.4		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15PF, R _L =2K Ω	9	15	ns	
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output		10	15	ns	

Pin Assignments (Top View)



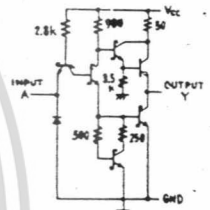
positive logic:
Y = \bar{A}

Schematics (each gate)

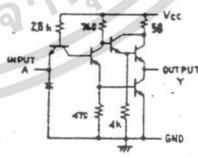


CIRCUIT	R1	R2	R3	R4
'04	4K	1.5K	130	1K
'L04	40K	20K	500	12K

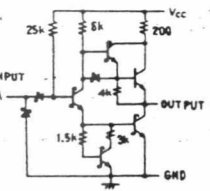
Input clamp diodes not on SN54LS04/SN74LS04 circuits.



'S04 CIRCUIT



'H04 CIRCUIT



'LS04 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC}=5V, T_A=25°C.
• Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5408/7408 Quaduple 2-Input Positive-AND Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
T.L.	SN54S08	J J	W1						SN54LS08	J J	W1	SN5408	J J	W1						
FAIRCHILD	FM54S08 / FM9S08	DJ	W1		FM54H08 / FM9H08	DJ	W1		FM54LS08 / FM9LS08	DJ	W1	FM5408 / FM9N08	DJ	W1						
MOTOROLA	MC3101	L	P	F	MC3001	L	P	F	SN74LS08	P	I	MC7408	P	I						
N.S.C.					DM54H08	J J	W1		DM54LS08	P	I	DM5408	J J	W1						
PHILIPS	N74S08				N74H08				N74LS08			N7408								
SIGNETICS	N74S08				S54H08	F	A	W1	N74LS08	A	I	S5408	F	A	W1					
SIEMENS					N74H08	F	A	W1	N74LS08	A	I	N7408	F	A	W1					
FUJITSU									74LS08	M	I									
HITACHI									HD74LS08	P	I	HD7408 / HD2550	P	I						
MITSUBISHI									M74LS08	P	I	M53208	P	I						
NEC									74LS08	C	I	μPB234	D	I						
TOSHIBA												TD3408	P	I						

Electrical Characteristics SN54LS08/SN74LS08

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
Interconnection voltage	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C

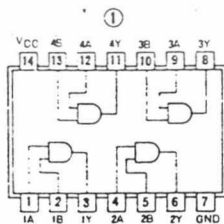
recommended operating conditions

	SN54LS08			SN74LS08			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current I _{OH}			-800			-800	mA
Low-level output current I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature T _a	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

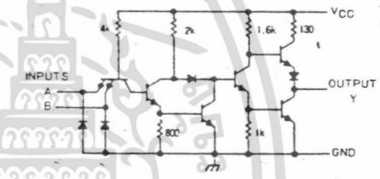
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2		V
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} =MIN, I _I =-18mA		-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} =MIN, I _{OH} =MAX, V _{IH} =2V	2.7	3.4	V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} =MIN, I _{OL} =4mA, V _{IH} =2V	0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} =MAX, V _I =7V		0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} =MAX, V _{IH} =2.7V		20	μA
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} =MAX, V _{IL} =0.4V		-0.4	mA
I _{OS}	Short circuit output current †	V _{CC} =MAX	-20	-100	mA
I _{CC} H	Supply current	V _{CC} =MAX, Total, outputs high	2.4	4.8	mA
I _{CC} L	Supply current	V _{CC} =MAX, Total, outputs low	4.4	8.8	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} =5V, Average per gate (50% duty cycle)	0.85		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =2kΩ	8	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =2kΩ	10	20	ns

Pin Assignment (Top View)

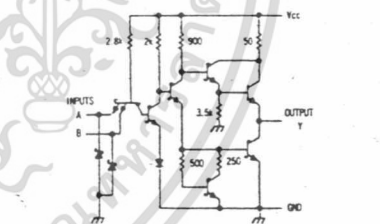


positive logic:
Y=AB

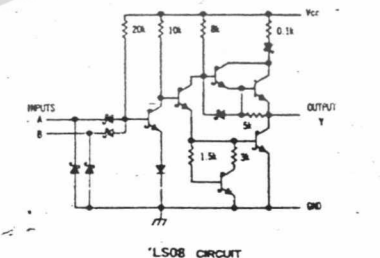
Schematics (each gate)



7408 CIRCUIT



5408 CIRCUIT



LS08 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate values specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC}=5V, T_A=25°C.
† Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54S/SN74S, duration of output short circuit should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5448 / 7448 BCD-to-Seven Segment Decoder / Driver

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL				
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	
T.I.									SN54LS48	J	U		WD	SN5448	J	U		WD			
FAIRCHILD									SN74LS48	J	U	N	J	FMS448/FC 9358	D	J		FO			
MOTOROLA														FC7448/FC 9358	D	U	P	J			
N.S.C.									DM54LS48	J				MC5448	L	U					
PHILIPS									DM74LS48	T				MC7448	L	U	P	J			
SIGNETICS														N7448	T						
SIEMENS														N7448	B	D					
FUJITSU														FLH551	U						
HITACHI									HD74LS48	P	U										
MTSUBISHI														M53248	P	U					
NEC																					
TOSHIBA																					

Electrical Characteristics / SN74LS48/SN74LS48

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

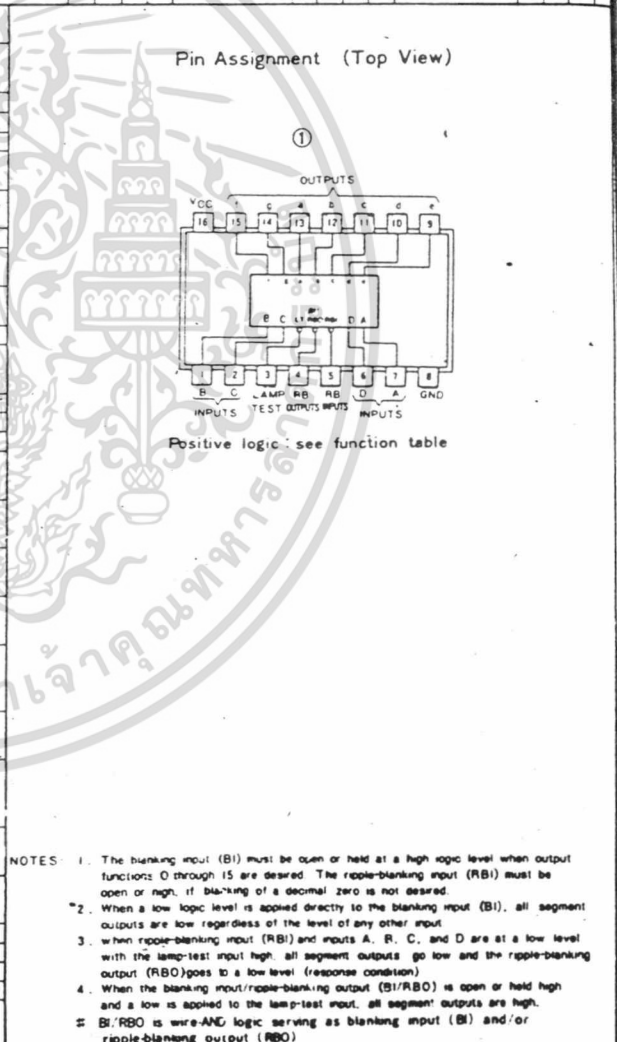
Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS48	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	temperature range	SN74LS48	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS48			SN74LS48			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}	a thru c			-100			μA
	BI/RBO			-50			
Low-level output current, I _{OL}	a thru e			2			mA
	BI/RBO			1.6			
Operating free-air temperature, T _A	-55			125			°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	input clamp voltage, any input except BI/RBO	V _{CC} = MIN, I _I = -18mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	a thru g BI/RBO	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OH} = MAX	2.4	4.2	V
I _O	Output current	a thru g	V _{CC} = MIN, V _O = 0.85V, input conditions as for V _{OH}	-1.3	-2	mA
V _{OL}	Low-level output voltage	a thru g BI/RBO	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OL} = 2mA	0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	Any input except BI/RBO	V _{CC} = MAX, V _I = 2V		0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	Any input except BI/RBO	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V		20	μA
I _{IL}	Low-level input current	Any input except BI/RBO	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4V		-0.4	mA
I _{OS}	Short-circuit output current	BI/RBO	V _{CC} = MAX	-0.3	-2	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} MAX.	SN54LS48	25	38	mA
			SN74LS48	25	38	
I _{PHL}	from A input	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 150F	R _L = 4kΩ		100	ns
I _{PLH}	from A input				100	ns
I _{PHL}	from RBI input		R _L = 6kΩ		100	ns
I _{PLH}	from RBI input				100	ns



† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
 ‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
 * I_{CC} is measured with all outputs open and all inputs at 4.5V.
 † I_{PHL} = propagation delay time, low-to-high-level output
 † I_{PLH} = propagation delay time, high-to-low-level output

CONTINUED ON NEXT PAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้