สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องมือวัดอัตราการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง

นายจตุพร สีตะ

นายชัยสิทธิ์ อร่ามมงคลวิชัย

ปพ.
จ 134 ค
2539

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี.....

b19044572

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optical Fibre Based Breathing Sensor

Mr. Jatuporn Seeta

Mr. Chaiyasith Arammongkolwichai

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Appiled Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องมือวัดอัตราการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง
โดย	นายจตุพร สีตะ
	นายชัยสิทธิ์ อร่ามมงคลวิชัย
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. ธีรวัฒน์ ประกอบผล
	ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(รศ. สุรพล รักวิจัย)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

..... ประธานกรรมการ

(อ. ธีรวัฒน์ ประกอบผล)

..... กรรมการ

(ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน)

..... กรรมการ

(ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องมือวัดอัตราการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง
โดย	นายจตุพร สีตะ
	นายชัยสิทธิ์ อร่ามมงคลวิชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล
	ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2538

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดอัตราการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสงได้ถูกศึกษา และพัฒนาขึ้น โดยให้ลำแสงจากเลเซอร์ไดโอดซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงผ่านเข้าไปในขดเส้นใยนำแสงซึ่งพันอยู่ที่บริเวณหน้าท้องของผู้ทำการวัด การเปลี่ยนแปลงปริมาตรบริเวณหน้าท้องระหว่างหายใจถูกพิจารณาสัมพันธ์กับผลของการเปลี่ยนแปลงจากขดเส้นใยนำแสง แสงที่ตรวจพบจะถูกประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ผ่านระบบการเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ และจะแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการหายใจกับเวลาบนจอเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Optical Fibre Based Breathing Sensor
Name	Mr. Jatuporn Seeta
	Mr. Chaiyasith Arammongkolwichai
Special Project Adviser	Aj. Teerawat Prakobphon
	Dr. Ratchapak Chitaree
Department	Applied Physics
Acadamic Year	1995

ABSTRACT

A novel respiratory sensor based on optical fibre was studied and developed. In this instrument, a light beam from laser diode used as a light source was launched into a sensing coiled fibre which located at a patient's stomach. The changing volume of the stomach was considered to related to the oscillating output from the coiled fibre. The detected light was fetched into an online computer via an interfacing cable for a graphical display of the breathing signal against time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในโครงงานพิเศษ เรื่องเครื่องมือวัดอัตราการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง นี้ เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน ดังนี้

อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล และ ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำในรายละเอียดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานพิเศษนี้

ผศ.ดร. ปรีชา ขุพาพิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ทำโครงงานพิเศษ และให้การสนับสนุน เผยแพร่ โครงงานพิเศษนี้

ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา ที่ให้ความเอื้อเฟื้อหนังสือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานพิเศษนี้

อาจารย์ธวัชชัย ขาวประเสริฐ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆ ภายในศูนย์ซ่อมสร้างเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ สจล.

คุณเกียรติศักดิ์ โพธิ์ดี ที่ให้ข้อมูลรายละเอียดที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณบุคคลเหล่านี้อย่างจริงใจ

จตุพร สีตะ
ชัยสิทธิ์ อร่ามมงคลวิชัย
17 พฤษภาคม 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	I
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบข่ายการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนในการปฏิบัติงาน	3
1.5 โครงสร้างของรายงาน	3
1.6 สรุป	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและพื้นฐานการทำงาน	5
2.1 โครงสร้างของระบบหายใจ	5
2.1.1 กลไกของการหายใจ	7
2.1.2 การวัดปริมาตรของปอด	8
2.1.3 ปัจจัยที่มีส่วนเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอด	10
2.2 ทฤษฎีและหลักการของเส้นใยนำแสง	11
2.2.1 การหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง	11
2.2.2 ชนิดของเส้นใยนำแสง	12
2.3 ทฤษฎีและวงจรต่างๆ สำหรับการเชื่อมต่อระบบเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์	16
2.3.1 วงจรขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 ตัวแปลงสัญญาณจาก Analog ไปเป็น Digital
(Analog to Digital Converter) 30
2.3.2.1 FLASH CONVERTERS 30
2.3.2.2 DUAL SLOPE CONVERTERS 32
2.3.2.3 SUCCESSIVE APPROXIMATION
CONVERTERS 33
2.3.3 การเชื่อมต่อระบบไมโครคอมพิวเตอร์ 36
2.3.4 การออกแบบสร้างวงจรถอดรหัส 49
2.4 ระบบการตรวจวัดสัญญาณการหายใจ 54
2.5 สรุป 56

บทที่ 3 หลักการและการออกแบบเครื่องมือ 57
3.1 แหล่งกำเนิดแสง (SOURCE) 57
3.2 เส้นใยนำแสง (OPTICAL FIBRE) 57
3.3 ตัวตรวจวัดความเข้มแสง (PHOTODETECTOR) 62
3.4 วงจรขยายโดยใช้ออปแอมป์ (AMPLIFIER) 63
3.5 ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (ANALOG TO
DIGITAL CONVERTER) 66
3.6 วงจรถอดรหัส (DECODER) 67
3.7 เทคนิคการเขียนโปรแกรมแสดงผล 68
3.8 สรุป 74

บทที่ 4 การสร้างเครื่องและผลการดำเนินงาน 75
4.1 แหล่งจ่ายไฟสำหรับออปแอมป์และอุปกรณ์ต่างๆ 75
4.2 การรวมอุปกรณ์และวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกัน 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 วิธีการใช้งานเครื่องตรวจวัดการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง 78
4.4 ผลการดำเนินงาน 79
4.5 สรุป 80

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและแนวทางในการพัฒนา 81
5.1 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไข 81
5.2 การนำไปใช้งานและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต 82
5.3 สรุป 83

เอกสารอ้างอิง 84

ภาคผนวก รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ (Data Sheet) 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบของ ADC converters 31

ตารางที่ 2.2 แสดงตำแหน่งของพอร์ตต่างๆ ที่ใช้ในเครื่อง IBM 42

ตารางที่ 2.3 แสดงการทำงานของ IC เบอร์ 74LS139 52

ตารางที่ 2.4 แสดงการทำงานของวงจรถอดรหัสพอร์ต 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 Spirometer 1

รูปที่ 2.1 การขยายตัวของซี่โครงปอดระหว่างหายใจเข้าและออก 6

รูปที่ 2.2 ความดันในช่องอกขณะหายใจ 8

รูปที่ 2.3 ชื่อเรียกปริมาตรของปอดที่ระดับต่างๆ ของการหายใจ 9

รูปที่ 2.4 แสดงการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสงโดยอาศัย
หลักการสะท้อนกลับหมด 12

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของแสงที่เดินทางภายในแกนเส้นใยนำแสง 13
(ก) เส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดียว
(ข) เส้นใยนำแสงหลายโหมดชนิดดัชนีขั้นบันได
(ค) เส้นใยนำแสงหลายโหมดชนิดดัชนีรูปมน

รูปที่ 2.6 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสงหลายโหมด 14

รูปที่ 2.7 แสดงชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะดัชนีหักเหแสงของแกน 15
(ก) กราฟแสดงดัชนีหักเหแสงของแกนเมื่อเปรียบเทียบกับ
ดัชนีหักเหแสงของอากาศมีลักษณะเป็นขั้นบันได
(ข) เพื่อลดการกระจายของสัญญาณโดยการสร้างให้ดัชนีหักเห
ภายในแกนมีค่าค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปโดยมีลักษณะต่อเนื่อง
มากกว่า

รูปที่ 2.8 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดียว 15

รูปที่ 2.9 แผนผังภายในของไอซีออปแอมป์ 17

รูปที่ 2.10 การป้อนกลับแบบลบ 20

รูปที่ 2.11 วงจรขยายไม่กลับเฟส 23

รูปที่ 2.12 การตอบสนองลูป-เปิดของ 741 24

รูปที่ 2.13 การตอบสนองลูป-ปิดและลูป-เปิด 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.14 25
รูปที่ 2.15 วงจรขยายกลับเฟส 26
รูปที่ 2.16 a) 2 อินพุต b) ปรับค่าอินพุตทั้ง 2 28
รูปที่ 2.17 a) วงจร b) ผลตอบสนอง 29
รูปที่ 2.18 30
รูปที่ 2.19 Flash ADC 31
รูปที่ 2.20 ADC dual slope converter 32
a) วงจร
b) แผนภาพเวลา
รูปที่ 2.21 Successive Approximation ADC 34
a) วงจร
b) สถานะของบิท แถวที่แรเงาเป็นการลองแทนบิท
รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณต่างๆ บน System Bus ของ IBM PC 35
รูปที่ 2.23 แสดงระบบที่รับข้อมูลจาก switch และแสดงข้อมูลทาง LED 38
รูปที่ 2.24 แสดงระบบต่อเชื่อมต่อกับพอร์ต 2 พอร์ต 39
รูปที่ 2.25 แสดงสัญญาณเวลาการติดต่อกับพอร์ตของคอมพิวเตอร์ 40
รูปที่ 2.26 แสดงระบบติดต่อกับพอร์ต 2 พอร์ต 41
รูปที่ 2.27 วงจรถอดรหัสอ่านข้อมูลหมายเลข 2BFH 43
รูปที่ 2.28 แสดงพอร์ตส่งข้อมูลหมายเลข 2BEH 45
รูปที่ 2.29 แสดงการต่อหลอด LED กับพอร์ต 46
รูปที่ 2.30 แสดงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย
พอร์ตรับและส่งข้อมูล 47
รูปที่ 2.31 การถอดรหัสโดยใช้ดิฟสวิทช์ 48
รูปที่ 2.32 แสดงการใช้บัฟเฟอร์ในการช่วยขับสัญญาณ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.33 การใช้บัฟเฟอร์สองทางในการขับบัสข้อมูล 50
รูปที่ 2.34 แสดง IC เบอร์ 74LS688 51
รูปที่ 2.35 แสดงวงจรถอดรหัสพอร์ตโดยทำงานที่พอร์ต 300H-30FH 52
รูปที่ 2.36 แสดงวงจรถอดรหัสที่สร้างขึ้น 53
รูปที่ 2.37 รูปแบบการจัดอุปกรณ์และระบบทั้งหมดของ
เครื่องมือวัดอัตราการหายใจ 54
รูปที่ 2.38 รูปแบบการประกอบ sensor ที่ใช้ในการพันรอบอก 55
รูปที่ 3.1 ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์ 58
รูปที่ 3.2 เลเซอร์ไดโอด 58
รูปที่ 3.3 แสดงแสงที่ผ่านออกมาจากเส้นใยนำแสง 59
(ก) จากชนิดโหมดเดียว
(ข) จากชนิดหลายโหมด
(ค) จากชนิดพลาสติก
รูปที่ 3.4 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับการ launch แสง 60
รูปที่ 3.5 การขดเส้นใยนำแสงในลักษณะวงกลม 61
รูปที่ 3.6 การขดเส้นใยนำแสงที่ใช้ในโครงงานพิเศษ 62
รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจร Photodiode 63
รูปที่ 3.8 วงจร Inverting Amplifier 63
รูปที่ 3.9 วงจร Noninverting Amplifier 64
รูปที่ 3.10 Differential Amplifier a) วงจร b) สัญลักษณ์ 64
รูปที่ 3.11 Instrumentation Amplifier a) วงจร b) สัญลักษณ์ 65
รูปที่ 3.12 วงจรขยายที่ใช้ในโครงงานพิเศษ 66
รูปที่ 3.13 แสดงขาสัญญาณต่างๆ ของ A/D เบอร์ 0804 66
รูปที่ 3.14 แสดงวงจรถอดรหัสสำหรับแอดเดรส 300H 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.15 แสดง I/O Card ของบริษัท ETT 68
รูปที่ 3.16 แสดงวงจรบน I/O Card 69
รูปที่ 3.17 ส่วนที่เป็นฉากก่อนที่จะทำการ RUN 70
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการ RUN โปรแกรม 71
รูปที่ 4.1 วงจรแปลงไฟจาก +5 V ไปเป็น -5 V 76
รูปที่ 4.2 แสดงระบบทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ 76
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรการทำงานตั้งแต่ Photodiode ถึงวงจรถอดรหัสพอร์ต 77
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสัญญาณการหายใจ 80

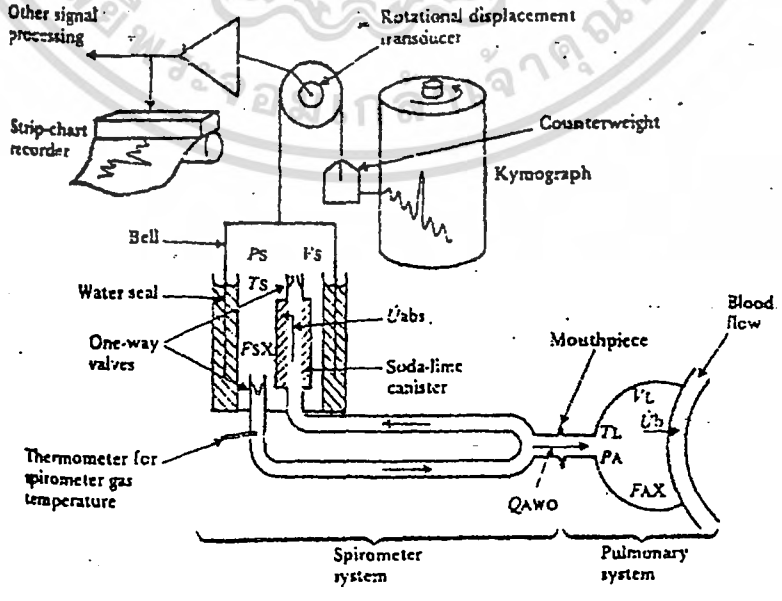
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

1.1 บทนำ

โดยทั่วไปแล้ว คนส่วนใหญ่มักจะรู้จักการหายใจเพียงแต่เป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในความเป็นจริงแล้วการหายใจได้ให้ข้อมูลมากกว่าคนทั่วไปคิดไว้ คือ ระบบการหายใจนั้นมีความสัมพันธ์กับระบบการทำงานของปอด ดั้งนั้นเมื่อระบบการทำงานของปอดเกิดการผิดปกติขึ้นมาก็สามารถสังเกตได้จากการหายใจได้เช่นกัน ซึ่งความผิดปกติของการหายใจที่เกิดขึ้นก็อาจจะสามารถบ่งบอกถึงโรคที่เกี่ยวกับทางเดินหายใจหรือปอดได้ และเครื่องมือชนิดนี้ก็อาจจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการทำนายความฝัน เช่น ฝันร้ายอัตราการหายใจแรงก็จะเห็นการเปลี่ยนแปลงสัญญาณได้มากและชัดเจน ฝันดีอาจจะมีการหายใจที่เป็นอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งก็เป็นตัวอย่างหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ได้

เครื่องตรวจวัดการหายใจที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ เครื่อง spirometer ซึ่งไม่มีความสะดวกในการใช้งาน สร้างความรำคาญให้กับคนที่ทำการตรวจวัด และไม่สะดวกในการนำออกไปใช้งานนอกสถานที่



รูปที่ 1.1 Spirometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้จะเป็นการทำเครื่องตรวจวัดการหายใจ โดยใช้เส้นใยนำแสง (fiber optic) เป็นตัวตรวจวัด (sensors) โดยทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงภายในเส้นใยนำแสง โดยเมื่อเส้นใยนำแสงเกิดการขยายตัวหรือหดตัวนั้น จะทำให้สัญญาณที่วัดจากการตรวจวัดความเข้มแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามจังหวะการขยายและหดตัวของเส้นใยนำแสง

สาเหตุที่นำเอาเส้นใยนำแสงมาใช้งาน เนื่องจากเส้นใยนำแสงมีคุณสมบัติที่ดีและเหมาะสมหลายประการ คือ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ไม่มีการรบกวนของคลื่นวิทยุ และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ สามารถทำให้เครื่องตรวจวัดการหายใจที่ได้มีความสะดวกที่จะนำมาใช้งานมากกว่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงชนิดของเส้นใยนำแสงที่เหมาะสมซึ่งใช้ในการตรวจวัดอัตราการหายใจ
2. เพื่อศึกษาถึงการทำงานของเส้นใยนำแสง ในฐานะที่เป็น Optical Fibre Sensors
3. เพื่อศึกษาถึงการเลือกชนิดของแหล่งกำเนิดแสง เส้นใยนำแสง และเครื่องตรวจวัดแสง ให้สอดคล้องกัน
4. เพื่อศึกษาถึงการเชื่อมต่อกับระบบไมโครคอมพิวเตอร์
5. เพื่อเป็นโครงการในการพัฒนาทางด้าน sensors ในการตรวจวัดโรค
6. เพื่อทำการวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวกับการหายใจ

1.3 ขอบข่ายการทำงาน

-สามารถทำการ launch แสงผ่านตัวกลางเส้นใยนำแสง

-สามารถทำการแปลงสัญญาณจากความเข้มแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยผ่านทาง photodetector

-สามารถทำการขยายและแปลงสัญญาณจาก Analog เป็น Digital โดยผ่านทางวงจรขยายและ A/D converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-สามารถทำการเชื่อมต่อสัญญาณ Digital ที่ได้เข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์

-สามารถทำการประมวลผลข้อมูล และแสดงผลออกทาง monitor โดยแสดงผลเป็นกราฟระหว่างอัตราการหายใจกับเวลา

1.4 ขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

1. ทำการศึกษาเพื่อเลือกชนิดของ source และ detector

2. ทำการศึกษา และทดลองชนิดของเส้นใยนำแสงที่เหมาะสมในการใช้งานเป็น sensors

3. ทำการศึกษา และทดลองวงจร detector และและเลือกตัว photodetector ที่เหมาะสม

4. ทำการศึกษาทฤษฎี และทดลองใช้วงจรขยายที่เหมาะสม

5. ทำการศึกษาทฤษฎี และทดลองชนิดของ A/D converter และวงจร A/D converter

6. ทำการศึกษาทฤษฎี และทดลองวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ ระบบไมโครคอมพิวเตอร์

7. ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลข้อมูลที่ได้ผ่านทางmonitorในลักษณะของกราฟ

8. ทดสอบการทำงานของระบบ

9. ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับโรคต่าง ๆ และคนปกติให้ได้มากที่สุดเพื่อใช้ในการอ้างอิง

10. นำไปทดสอบกับคนไข้จริง

1.5 โครงสร้างของรายงาน

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรายงานฉบับนี้ จะประกอบไปด้วยกัน 5 บท โดยจะอธิบายพอสังเขปคร่าว ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในบทแรก จะเป็นการกล่าวถึงที่มาของโครงงานพิเศษคร่าว ๆ และจะบอกถึงเหตุผลในการเลือกใช้เส้นใยนำแสง วัตถุประสงค์ในการใช้งาน ขอบข่ายในการทำงาน รวมทั้งขั้นตอนต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน

ในบทถัดมาซึ่งเป็นบทที่สอง จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับระบบการหายใจ ระบบการทำงานของปอด ทฤษฎีและหลักการของเส้นใยนำแสง และพื้นฐานการทำงานของระบบตรวจวัดสัญญาณการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง รวมทั้งทฤษฎีและวงจรต่าง ๆ ที่ใช้เกี่ยวกับการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์

ส่วนในบทที่สาม จะเป็นการกล่าวถึง หลักการเลือกอุปกรณ์ทั้งหมด ตั้งแต่ ตัวตรวจวัดสัญญาณ จนไปถึง การแสดงผล (sensor to display) และการออกแบบเครื่องมือที่จะทำ

ต่อมาในบทที่สี่ จะเป็นเทคนิคในการสร้างเครื่องมือวัดอัตราการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง และการทดลองและผลการทดลองที่ได้ รวมทั้งปัญหาที่ในการสร้างเครื่องระหว่างการทดลอง

ในบทสุดท้ายเป็นบทที่ห้า จะกล่าวถึง การนำไปใช้งาน การประยุกต์ที่เป็นไปได้ในการวัดอัตราการหายใจให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และสุดท้ายจะเป็นการกล่าวถึงแนวทางที่สามารถพัฒนาต่อไปในอนาคตได้

1.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง ที่มาและความเป็นไปในการศึกษาโครงงานพิเศษ "เครื่องมือวัดอัตรการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง" และได้กล่าวถึงสาเหตุที่ได้มีการนำเอาเส้นใยนำแสงมาใช้งาน วัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของโครงงานพิเศษ ขอบข่ายการทำงาน รวมทั้งขั้นตอนต่าง ๆ ที่ต้องทำในการปฏิบัติงาน ส่วนในบทต่อไป จะได้กล่าวถึงเกี่ยวกับทฤษฎีและพื้นฐานการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบการหายใจและ ระบบการทำงานของปอด พื้นฐานการทำงานของระบบตรวจวัดสัญญาณการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง รวมทั้งทฤษฎีและวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและพื้นฐานการทำงาน

ในบทนี้โดยหลัก ๆ แล้วจะประกอบไปด้วย 4 หัวข้อใหญ่ ๆ คือ เป็นทฤษฎีระบบการหายใจและการทำงานของปอด จะเป็นการบอกถึงหลักการทางชีวภาพของขบวนการหายใจ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวคิดในการวัดระบบการหายใจ ซึ่งจะแบ่งได้อีกเป็น โครงสร้างของระบบการหายใจ กลไกการหายใจ และการวัดปริมาตรของปอด ในส่วนต่อมาจะเป็นการกล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใยนำแสง ทฤษฎีและวงจรต่าง ๆ สำหรับการเชื่อมต่อระบบไมโครคอมพิวเตอร์ (interfacing) โดยในส่วนสุดท้ายจะเป็นพื้นฐานการทำงานของระบบการตรวจวัดสัญญาณการหายใจ จะเป็นการกล่าวถึงระบบทั้งหมดอย่างคร่าว ๆ ในแต่ละส่วนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงจะเป็นทฤษฎีทั้งหมดที่ต้องใช้เพื่อใช้ในการสร้างเครื่องตรวจวัดอัตราการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดของแต่ละส่วนต่อไป

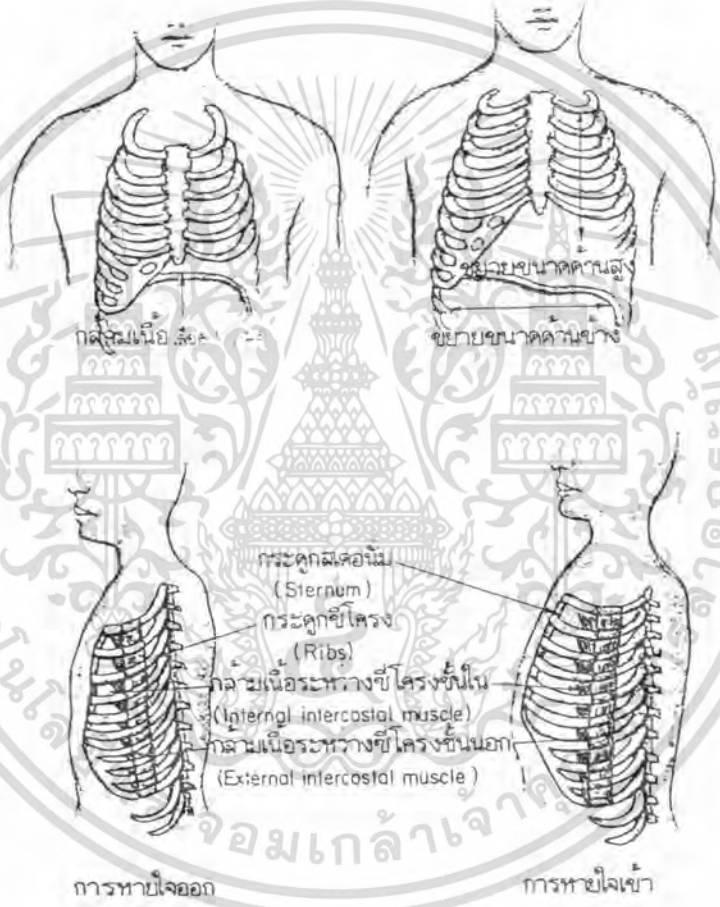
2.1 โครงสร้างของระบบหายใจ

ระบบการหายใจประกอบด้วยสามส่วนที่สำคัญ คือ ทางเดินอากาศ ถุงลมปอด และเส้นเลือดที่นำเลือดมาแลกเปลี่ยนก๊าซ O_2 และ CO_2 ดังนั้น ปอดจึงต้องมีพื้นที่ขนาดใหญ่มากสำหรับแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยปกติคนจะมีถุงลม (Alveoli) อยู่ประมาณ 300 ล้านถุง คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 70-90 ตารางเมตร ถุงลมปอดจะต้องขยายหรือหดเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศ ปอดจึงต้องอาศัยระบบกล้ามเนื้อทรวงอกและกระบังลมเปลี่ยนแปลงปริมาตรของทรวงอก และอาศัยระบบประสาทสำหรับควบคุมอัตราการหายใจด้วยการสั่งงานไปยังระบบกล้ามเนื้ออีกต่อหนึ่ง ซึ่งโดยปกติคนเราจะหายใจประมาณ 12-15 ครั้งต่อนาที

โครงสร้างของระบบหายใจประกอบด้วย ส่วนที่อยู่นอกทรวงอก (Extrathoracic) และภายในทรวงอก (Intrathoracic) สำหรับ จมูก ปาก คอหอย กล่องเสียง และส่วนต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของหลอดลมใหญ่ จะเป็นส่วนที่อยู่นอกทรวงอก จึงไม่มีผลกระทบโดยตรงจากการที่ทรวงอกหดหรือขยายตัวส่วนที่อยู่ภายในทรวงอก ดังรูป2.1 คือ



รูปที่ 2.1 การขยายตัวของซี่โครงปอดระหว่างหายใจเข้าและออก

อวัยวะปอดซึ่งประกอบด้วยหลอดลมใหญ่ ที่แยกเป็นหลอดลมแขนงซ้ายขวา หลอดลมนี้จะแยกเป็น 2 แขนงไปเรื่อยๆ เป็นหลอดลมเล็กประมาณ 10-11 ครั้ง หลังจากนั้นหลอดลมจะกลายเป็นหลอดลมฝอย แล้วจะแยกต่อไปเป็นหลอดลมหายใจฝอย จากนั้นก็แยกตัวไปเป็นท่อถุงลม ในสภาวะปกติเราสามารถหายใจได้โดยไม่ต้องคิดหรือ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นึกสั่งให้มีการหายใจ นี่คือระบบอัตโนมัติ แต่ในการหายใจบางครั้งเราอาจจะนึกสั่งให้ทำการหายใจเร็วขึ้นหรือช้าลงได้ อย่างไรก็ตาม การหายใจเป็นกระบวนการที่มีการเกี่ยวข้องระหว่างพลังทางกล้ามเนื้อ คุณสมบัติทางกายภาพของปอด หลอดลมและทรวงอก (Thorax) ซึ่งการตรวจหาประสิทธิภาพของการหายใจสามารถจะบอกความผิดปกติและระดับของความผิดปกติของกล้ามเนื้อหลอดลมหรือความยืดหยุ่นของปอดได้ แต่ก่อนที่จะทราบว่าอะไรผิดปกติเราจำเป็นต้องทราบว่าอะไรคือสภาพปกติของกระบวนการหายใจเสียก่อน

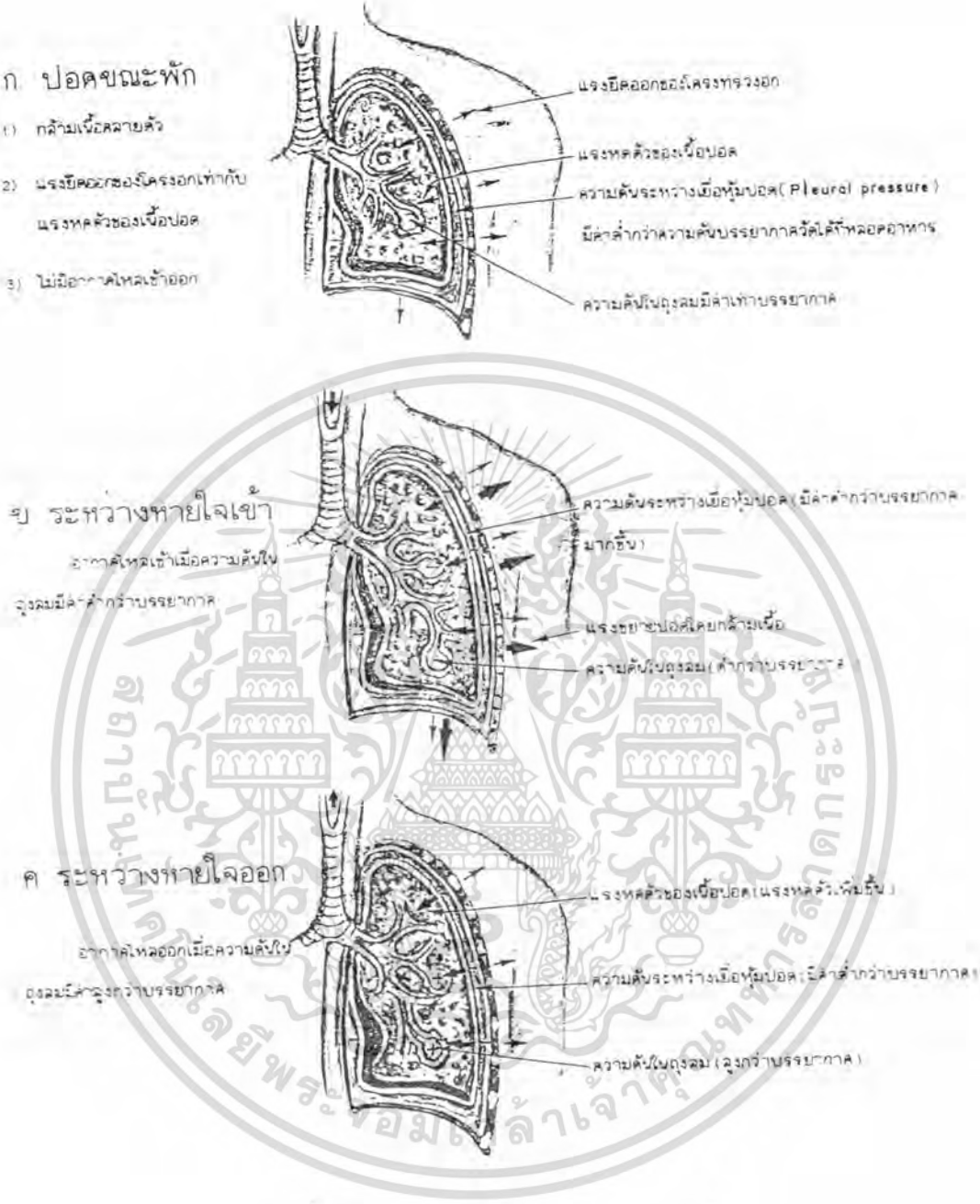
2.1.1 กลไกของการหายใจ

ปอดทั้งสองข้างถูกล้อมด้วยกระดูกซี่โครงกล้ามเนื้อทรวงอกและกระบังลม (Diaphragm) หลังจากการหายใจหมดลง กล้ามเนื้อกระบังลมจะถูกดันขึ้นโดยลำไส้ ทำให้เป็นลักษณะรูปโดมขึ้นเข้าไปในช่องอก และกระดูกซี่โครงทั้งหมดจะหุบลง ดังรูป2.2

เมื่อเริ่มต้นจะหายใจเข้า (Inspiration) สมองจะส่งสัญญาณมาทางเส้นประสาทเฟรนิค ให้กระบังลมหดตัว และส่งสัญญาณมาทางเส้นประสาทอินเตอร์คอสตอลทั้งทางซ้ายและขวาพร้อมกัน (จะบังคับปอดให้ขยายเพียงข้างเดียวเหมือนการยกแขนไม่ได้) เพื่อทำให้กล้ามเนื้อซี่โครงชั้นนอกหดตัว เมื่อกระบังลมหดตัวรูปโดมของกระบังลมจะแบนราบลงทำให้เพิ่มปริมาตรของช่องอกในแนวตั้ง ส่วนการหดตัวของกล้ามเนื้อซี่โครงชั้นนอกจะทำให้ซี่โครงรูปโค้งถูกยกสูงขึ้นและกางออก จึงเพิ่มปริมาตรช่องอกในแนวกว้าง หรือด้านข้างและในแนวหน้าหลัง โดยปกติการยกซี่โครงชั้นบนๆ จะเพิ่มปริมาตรทางแนวหน้าหลัง และการยกซี่โครงชั้นล่างจะเป็นการเพิ่มปริมาตรในแนวด้านข้าง เมื่อปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันอากาศภายในปอดก็ลดต่ำกว่าความดันอากาศภายนอก อากาศก็จะไหลเข้าโดยผ่านทางจมูกและหลอดลม

ส่วนการหายใจออก (Expiration) ปกติจะไม่มีการใช้พลังงานทางกล้ามเนื้อเลย อาศัยเพียงการคลายตัวของกล้ามเนื้อ โดยทรวงอกที่ถูกขยายตัวไว้ก็จะหุบลงถ้าที่เดิม (Passive recoil) กระบังลมก็จะถูกลำไส้ดันขึ้นไปบนช่องอกอย่างเดิม เมื่อปริมาตรช่องอกเล็กลงและกดให้ความดันอากาศสูงกว่าภายนอก อากาศก็ถูกดันให้ไหลออกจากปอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความดันในช่องอกขณะหายใจ

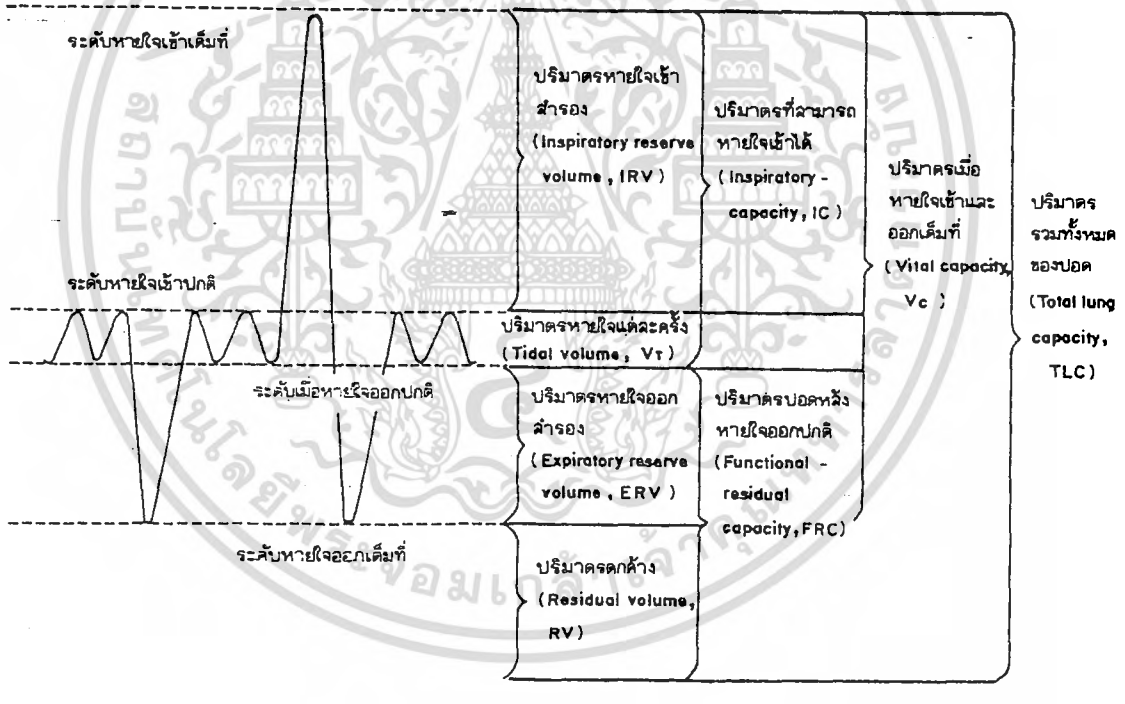
2.1.2 การวัดปริมาตรของปอด

เราสามารถวัดปริมาตรของปอดที่ระดับต่างๆ โดยใช้เครื่องวัดปริมาตรการหายใจที่เรียกว่า Spirometer เครื่องนี้จะประกอบด้วยถัง 2 ใบ ซ้อนกันโดยถังใบล่างที่มีผนัง 2 ชั้น บรรจุน้ำไว้ระหว่างผนัง ถังบนครอบอยู่ด้านบนโดยลอยอยู่บนน้ำระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังของถังใบล่าง เมื่อหายใจผ่านท่อเข้าไปยังถังใบล่าง อากาศที่เข้าและออกก็จะดันให้ถังบนเคลื่อนขึ้นลงตามปริมาตรอากาศที่เข้าออก การเคลื่อนที่ของถังบนสามารถต่อผ่านระบบลูกรอกเข้ากับอุปกรณ์ที่ลากเส้นบนกระดาษบันทึกข้อมูลอีกต่อหนึ่ง โดยกระดาษบันทึกนี้จะพันอยู่กับทรงกระบอกที่หมุนได้รอบตัวช้าๆ

เมื่อเราหายใจเข้าออกปกติ เข็มปากกาก็จะเคลื่อนที่ขึ้นลงดังแสดงในภาพ (รูป 2.3) เมื่อเราหายใจเข้าเต็มที่ เข็มก็จะเคลื่อนขึ้นถึงจุดสูงสุดที่เราหายใจเข้าได้ และเมื่อหายใจออกเต็มที่จนไม่สามารถจะถ่ายอากาศออกจากปอดได้อีก เข็มก็จะมาอยู่ที่จุดต่ำสุด รูปกราฟที่แสดงนี้เรียกว่า Spirometer และสามารถแสดงปริมาตรของปอดที่ระดับต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.8 ชื่อเรียกปริมาตรของปอดที่ระดับต่างๆของการหายใจ

ปริมาตรที่ลมหายใจเข้าหรือออกแต่ละครั้ง เรียกว่า Tidal Volume (V_T) และเมื่อหายใจออกแบบปกติแล้ว ปริมาตรที่เหลือในปอด เรียกว่า Functional residual capacity (FRC) ปริมาตรนี้ก็คือ ปริมาตรที่เราสามารถหายใจออกได้อีกเมื่อต้องการ ปริมาตรที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หายใจออกจากระดับนี้ถึงหายใจออกเต็มที่ เรียกว่า ปริมาตรหายใจออกสำรอง หรือ Expiratory reserve volume (ERV) แม้จะหายใจออกจนเต็มที่แล้ว ปอดก็ยังมีปริมาตรตกค้างในปอด (Residual volume,RV) ที่เราไม่สามารถจะหายใจออกมาได้อีกด้วยวิธีธรรมชาติ

จากจุดที่เราหายใจเข้าปกติแล้ว ถ้าเราหายใจเข้าเพิ่มเต็มที่ ปริมาตรหายใจเข้าที่เพิ่มขึ้น คือปริมาตรหายใจเข้าสำรอง (Inspiratory reserve volume,IRV) ซึ่งเมื่อรวมกับ Tidal volume แล้วก็จะเรียกว่าปริมาตรที่สามารถหายใจเข้าได้ (Inspiratory capacity,IC) ดังนั้น ความจุของปอดเมื่อนับรวมตั้งแต่หายใจออกเต็มที่ถึงเมื่อหายใจเข้าเต็มที่ (IRV+V_T+ERV) ก็จะ เรียกว่า Vital capacity(V_C) หรือปริมาตรที่ปอดสามารถหายใจเข้าและออกได้เต็มที่ เมื่อนับรวมปริมาตรตกค้าง (RV) ด้วยก็จะเท่ากับปริมาตรรวมของปอดทั้งหมด (Total lung capacity) ส่วนปริมาตรที่ปอดสามารถหายใจได้ในหนึ่งนาที (Respiratory minute volume) จะมีค่าเท่ากับ $V_T \times R$ เมื่อเท่ากับอัตราการหายใจ(Rate) ใน 1 นาที

2.1.3 ปัจจัยที่มีส่วนเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอด

ปริมาตรของปอดจะเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่อไปนี้ คือ

1. *ขนาดของร่างกาย* คนรูปร่างใหญ่ก็จะมีปริมาตรปอดใหญ่ ตามปกติแล้วก็จะใช้ส่วนสูง หรือพื้นที่ผิวร่างกายเป็นเกณฑ์สำหรับพิจารณาเปรียบเทียบ

2. *อายุ* ปอดมีขนาดเล็กในเด็กและโตขึ้นตามลำดับ การเพิ่มขนาดอาจจะสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดรูปร่างก็ได้

3. *เพศ* ปกติแล้วเพศชายจะมีปริมาตรปอดใหญ่กว่าเพศหญิง แม้ว่าจะมีขนาดรูปร่างเท่ากันก็ตาม

4. *การฝึก* การฝึกเช่นการออกกำลัง จะเพิ่มปริมาณของปอดได้อย่างมาก

5. *อิริยาบถของร่างกาย* เมื่อเปลี่ยนจากท่านั่ง (หรือยืน) มาเป็นท่านอน ปริมาตรหายใจเข้าสำรอง (IRV) และ Tidal volume จะลดลง โดยมีการเพิ่มของปริมาตรหายใจออกสำรอง (ERV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. *พยาธิสภาพของปอด* โรคที่ทำให้ความสามารถ ในการขยายของปอดบกพร่อง เช่น โรคหืด ที่การหายใจออกมีปัญหานั้นจะทำให้มีอากาศถูกกักอยู่ในปอดเป็นเหตุให้ปอดมีขนาดใหญ่ เป็นต้น

7. *ปัจจัยจำเพาะที่กำหนดค่าของปริมาตรส่วนต่าง ๆ*

2.2 ทฤษฎีและหลักการของเส้นใยนำแสง

สำหรับในโครงงานพิเศษนี้ เราใช้เส้นใยนำแสงเป็น sensor นั้น สิ่งแรกที่จะต้องพิจารณา ควรจะทำการศึกษาถึงปรากฏการณ์พื้นฐานของเส้นใยนำแสง (การหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง) การจัดแบ่งประเภทและชนิดของเส้นใยนำแสง และการเลือกใช้ชนิดของเส้นใยนำแสงให้เหมาะสมสำหรับในโครงงานพิเศษนี้ โดยพิจารณาถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นตัวบอกคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงนั้นๆ

2.2.1 การหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง 2ชนิด ที่มีดัชนีหักเหแสง (light refractive index) ต่างกันแล้ว จะมีการหักเหของแสงเกิดขึ้นซึ่งเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's law)

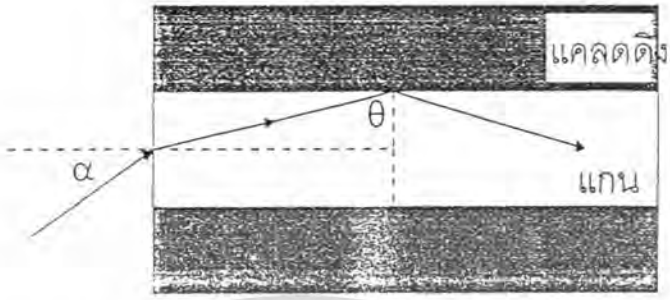
$$\sin\theta_1/\sin\theta_2 = n_2 / n_1 \qquad (2.1)$$

ในที่นี้ θ_1 และ θ_2 คือมุมตกกระทบและมุมหักเหที่ลำแสงกระทำกับเส้นปกติ (normal line) บนพื้นผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้น ส่วน n_1 และ n_2 คือดัชนีหักเหแสงของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ

ในกรณีแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมากกว่าไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อยกว่านั้น หากมุมตกกระทบ θ_1 มีค่ามากขึ้นจะทำให้มุมหักเห θ_2 มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา เรียกมุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหเท่ากับ 90 องศา นี้ว่า มุมวิกฤต (critical angle, θ_c) ดังสมการที่ 2.2 และหากเพิ่มมุมตกกระทบอีก ($\theta > \theta_c$) จะทำให้แสงไม่สามารถเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่สองได้เลย นั่นคือเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 2.4

$$\theta_c = \sin^{-1}(n_{clad}/n_{core}) \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



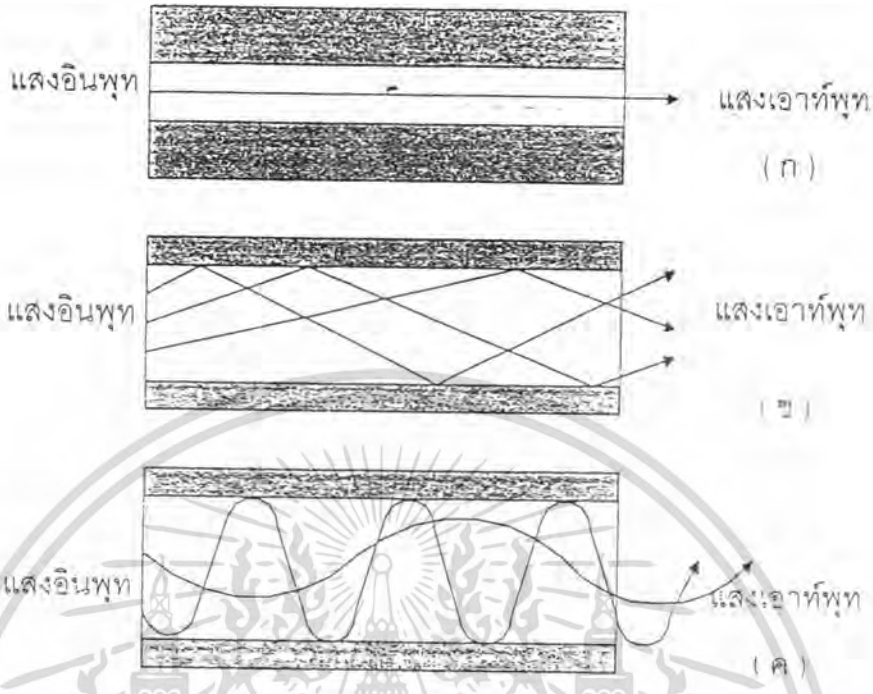
รูปที่2.4 แสดงการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง
โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมด

ในการนำแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสงดังรูปที่ 2.4 โดยการทำให้ดัชนีหักเหของแกนมีค่ามากกว่าดัชนีหักเหของแคลดดิง (cladding) ที่หุ้มส่วนของแกนไว้ โดยอาศัยปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดภายในของแสงดังกล่าวข้างต้น สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในแกนเดินทางไปได้โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับไปมาภายในแกน

2.2.2 ชนิดของเส้นใยนำแสง

ภายในเส้นใยนำแสงนั้นจำนวนลำแสงที่เกิดขึ้นเป็นตัวบอกจำนวนโหมดของเส้นใยนำแสง เส้นใยนำแสงที่มีแนวลำแสงอยู่เพียงแนวเดียว เรียกว่าเส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (single mode fiber) แต่ถ้าภายในเส้นใยนำแสงนั้นมีแนวลำแสงเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เรียกเส้นใยนำแสงชนิดนี้ว่า เส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมด (multimode fiber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของแสงที่เดินทางภายในแกนเส้นใยนำแสง
(ก) เส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดียว
(ข) เส้นใยนำแสงหลายโหมดชนิดดัชนีขั้นบันได (step-index multimode fiber)
(ค) เส้นใยนำแสงหลายโหมดชนิดดัชนีรูปมน (graded index multimode fiber)

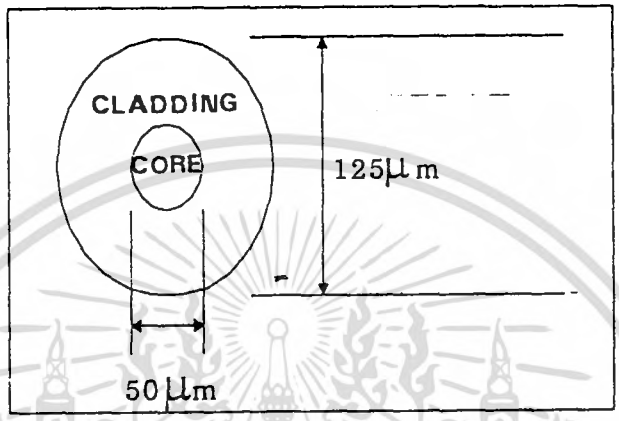
เส้นใยนำแสงหลายโหมด

จากโครงสร้างภายในของเส้นใยนำแสงซึ่งประกอบด้วยแกน และแคลดดิง ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับเส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมดส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและแคลดดิงโดยประมาณ 50 ไมครอน และ 125 ไมครอนตามลำดับ ดังรูปที่ 2.6

เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางแกนของเส้นใยนำแสงหลายโหมดนั้นมีขนาดใหญ่ดังนั้น แสงที่ตกกระทบปลายที่อินพุทของเส้นใยนำแสงมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า จากหลักการสะท้อนกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้นภายในส่วนของแกน ทำให้มีแนวลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมด และแสงแต่ละโหมดเดินทางในเส้นใยนำแสงโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน อันเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณ (modal dispersion) จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีการพัฒนาที่จะลดค่าการแตกกระจายของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นจากเส้นใยนำแสงหลายโหมด โดยแบ่งเส้นใยนำแสงแสงตามลักษณะดัชนีการหักเหแสงของแกน

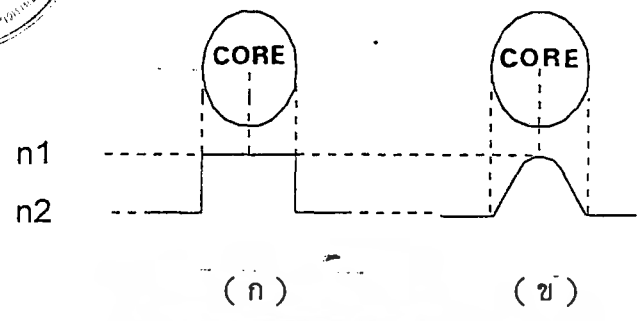


รูปที่ 2.6 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสงหลายโหมด

จากรายละเอียดในหัวข้อการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง ถ้าคิดว่าแกนของเส้นใยนำแสงนั้นมีค่าดัชนีหักเหแสงสม่ำเสมอเท่ากันตลอด ความสัมพันธ์ของกราฟแสดงค่าดัชนีแสงของส่วนแกนเส้นใยนำแสง เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีแสงในอากาศ ดังรูปที่ 2.7(ก) มีลักษณะเหมือนขั้นบันได โดยเรียกเส้นใยนำแสงซึ่งมีลักษณะการแจกแจงของค่าดัชนีแสงภายในแกนเช่นนี้ว่า เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีขั้นบันได

เมื่อสร้างเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีขั้นบันไดนี้ เป็นแบบหลายโหมดก็ย่อมทำให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณเอาท์พุทมาก ด้วยเหตุที่ว่าแนวทางเดินของแสงในแต่ละโหมดนั้นต้องใช้เวลาในการเดินทางต่างๆ กัน เพื่อปรับปรุงลดการแตกกระจายของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากเส้นใยนำแสงหลายโหมดนี้ สามารถทำได้โดยการสร้างเส้นใยนำแสงให้มีดัชนีหักเหแสงภายในส่วนของแกนมีค่าค่อยๆ เปลี่ยนแปลง โดยบริเวณจุดศูนย์กลางมีดัชนีหักเหมากที่สุด และค่อยๆ ลดลงตามแนวรัศมี ดังรูปที่ 2.7(ข) ซึ่งเส้นใยนำแสงชนิดนี้เรียกว่า เส้นใยนำแสงดัชนีรูปมน ทำให้ลำแสงทุกลำหรือทุกโหมดใช้เวลาในการเดินทางผ่านเส้นใยนำแสงต่างกันน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



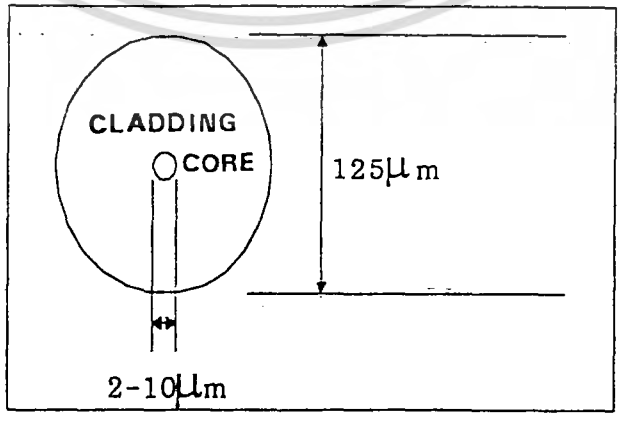
รูปที่ 2.7 แสดงชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะดัชนีหักเหแสงของแกน

(ก) กราฟแสดงดัชนีหักเหแสงของแกนเมื่อเปรียบเทียบกันดัชนีหักเหแสงของอากาศมีลักษณะเป็นขั้นบันได

(ข) เพื่อลดการกระจายของสัญญาณโดยการสร้างให้ดัชนีหักเหภายในแกนมีค่าค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปโดยมีลักษณะต่อเนื่องมากกว่า

เส้นใยนำแสงโหมดเดี่ยว

เส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน และของแคลดดิงโดยประมาณ 2-10 ไมครอน และ 125 ไมครอน ตามลำดับซึ่งส่วนของแกนมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมดมาก และให้แสงออกมาเพียงโหมดเดียว ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตว่าขนาดของแกนที่ใช้ส่งสัญญาณนั้นเล็กมาก ทำให้ยากต่อการที่จะนำแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสง แต่ข้อดีของเส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวก็คือ ไม่มีการแตกกระจายของสัญญาณเกิดขึ้นจึงมีแบนวิดธ์ที่ใช้ประโยชน์ได้กว้างกว่า

2.3 ทฤษฎีและวงจรต่าง ๆ สำหรับการเชื่อมต่อระบบเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึง 4 ส่วนที่สำคัญ คือ ทฤษฎีที่เกี่ยวกับวงจรขยายโดยใช้ออปแอมป์ , ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการแปลงสัญญาณอะนาลอคไปเป็นดิจิตอล ,ทฤษฎีการเชื่อมต่อระบบเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ และการออกแบบสร้างวงจรถอดรหัส

2.3.1 วงจรขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์

วงจรออปแอมป์พื้นฐาน

รูปที่ 2.9 เป็นแผงผังของออปแอมป์ซึ่งเป็นวงจรเสมือนของ 741 และออปแอมป์ชนิดใหม่ๆ อีกหลายตัว

<u>ภาคอินพุท</u>

Q_{13} และ Q_{14} เป็นวงจรสะท้อนกระแส ดังนั้น Q_{14} จะจ่ายกระแสเทลให้วงจรขยายผลต่าง (Q_1และQ_2) ซึ่งวงจรขยายผลต่างจะขับวงจรสะท้อนกระแส (Q_3และQ_4) สัญญาณอินพุท V_{IN} ทรานซิสเตอร์ตรงอินพุทปกติมี β เท่ากับ 300 ดังนั้น

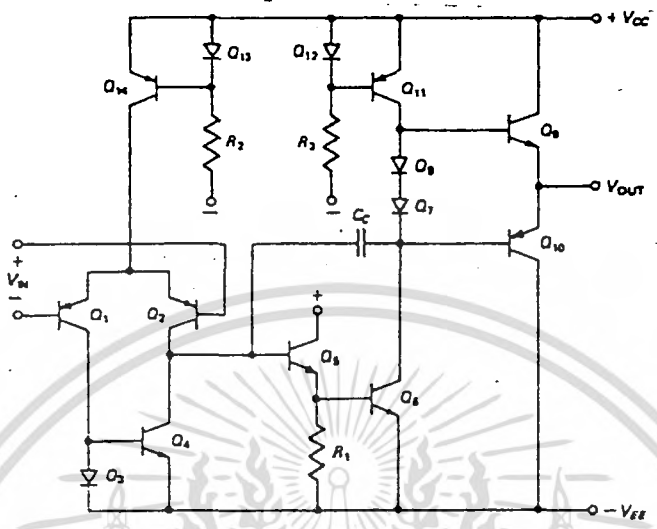
$$Z_{in} = 2\beta r_e' = 2 \times 300 \times 3.33\ k\Omega = 2\ M\Omega$$

ซึ่งเป็นไปตามใบกำกับข้อมูลของ 741 ที่กำกับไว้

<u>สรุป</u> รูปที่ 2.9 ช่วยให้เข้าใจการทำงานและการใช้ออปแอมป์ง่ายยิ่งขึ้น ดังรูป แหล่งจ่ายไฟ (ที่จ่ายให้ออปแอมป์) แยกออกจากกันเนื่องจากภาคอินพุทเป็นวงจรขยายผลต่างมีอินพุท 2 อินพุท สัญญาณเอาท์พุทที่ได้คือ สัญญาณผลต่างที่ถูกขยายแล้วของอินพุททั้ง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 แผนผังภายในของไอซีออปแอมป์

รายละเอียดของออปแอมป์

ใบกำกับข้อมูลของออปแอมป์จะมีรายละเอียดหลายอย่างกำกับไว้ เท่าที่สำคัญจะได้อธิบายได้ดังนี้

<u>กระแสไบอัสอินพุท (INPUT BIAS CURRENT)</u>

ออปแอมป์รูปที่ 2.9 แสดงภายในตัวถังไอซีในการใช้งานเราต้องต่อ V_{CC} และ V_{EE} แหล่งจ่ายแรงดันซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่เครื่องหมายต่างกันและยังต้องต่อกราวนด์ด้วยเพื่อให้วงจรสมบูรณ์

สัญญาณจากอินพุทที่จะเข้าออปแอมป์ จะต้องมีการไบอัสไฟตรงให้มิเช่นนั้นจะใช้กับคับปลิ้งด้วยตัวเก็บประจุไม่ได้ จึงจำเป็นต้องต่อตัวต้านทานที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว (Q_1และQ_2) ลงกราวนด์และกระแสเบส(ที่วงจรขยายผลต่างที่อินพุท) ทั้ง 2 จะต้องมีค่าใกล้เคียงกันแต่ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน (เมื่อกระแสเบสต่างกันเล็กน้อย จะทำให้มีแรงดัน error เล็กน้อย อันเนื่องมาจากสัญญาณอินพุทที่คลาดเคลื่อน ดังนั้น กระแสเบสยิ่งน้อยเท่าไหร่จะยิ่งดี เพราะว่าจะได้มีแรงดัน error น้อยมากๆ) จะทำให้เกิดกระแสที่ขยายแล้วออกจากขาคอลเลคเตอร์ของ Q_2 ซึ่งจะเข้าขาเบสของ Q_5

เอกสารนี้ ... การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ภาคที่ 2 และ 3</u>

ภาคที่ 2 คือ Q_5 อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ เพิ่มอินพุทอิมพิแดนซ์ของภาคที่ 3 (Q_6) ด้วยค่า β จะสังเกตุได้ว่า Q_6 เป็นตัวขับสัญญาณให้ภาคเอาท์พุท

เครื่องหมายบวกที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_5 หมายถึงต่อกับ V_{CC}

เครื่องหมายลบที่ขาหนึ่งของ R_2 และ R_3 หมายถึงต่อกับ V_{EE}

<u>ภาคเอาท์พุท</u>

ภาคสุดท้ายคือ คลาส B พุช-พูล อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ (Q_9 และ Q_{10}) เนื่องจาก Q_9 และ Q_{10} มีแหล่งจ่ายไฟแยกกัน ($+V_{CC}$ และ $-V_{EE}$ มีขนาดเท่ากันแต่เครื่องหมายตรงข้าม) ดังนั้น เอาท์พุทขณะไม่มีอินพุทจะเป็น 0 V Q_{11} เป็นส่วนหนึ่งของวงจรสะท้อนกระแสที่มีไดโอดชดเชย (Q_7,Q_8) ด้วย Q_{12} ก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจรสะท้อนกระแส และค่าไบอัสความต้านทาน R_3 จะเป็นตัวกำหนด กระแสในวงจรสะท้อนกระแสส่วนนี้

<u>ตัวเก็บประจุชดเชย (COMPENSATING CAPACITOR)</u>

C_C เรียกว่า ตัวเก็บประจุชดเชย จะค่าประมาณ 30 pF มีผลต่อการตอบสนองความถี่ เพื่อป้องกันการออสซิเลท (OSCILLATION) ที่ไม่ต้องการอันเกิดจากวงจรขยายภายใน

<u>โหลดแอคทีฟ (ACTIVE LOADING)</u>

ในรูปที่ 2.9 ภาคอิมิตเตอร์ร่วม (Q_6) จะขับโหลดแอคทีฟ (Q_{11}) เพราะว่า Q_{11} เป็นส่วนหนึ่งของวงจรสะท้อนกระแส ซึ่งจ่ายกระแสคงที่ค่าหนึ่ง ดังนั้น กระแสสัญญาณที่ถูกขยายแล้วที่ออกจาก Q_2 จะถูกบังคับให้เข้าไปในทรานซิสเตอร์เอาท์พุทตัวสุดท้าย (Q_9 หรือ Q_{10}) ตัวใดตัวหนึ่งแล้วแต่ว่าสัญญาณเป็นซีกบวกหรือลบ

<u>อินพุทอิมพิแดนซ์</u>

อินพุทอิมพิแดนซ์ของวงจรขยายผลต่าง คือ

$$Z_{in} = 2\beta r_e'$$

ออปแอมป์จะมีอินพุทอิมพิแดนซ์ค่อนข้างสูง เมื่อกระแสเทลที่ไหลเข้าวงจรขยายผลต่างที่อินพุทมีค่าน้อยๆ ตัวอย่างเช่น วงจรขยายผลต่างที่อินพุทของ 741 มีกระ

เอกสาร ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสเทลประมาณ 15 μA และจะแบ่งเข้าขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 เท่าๆ กัน ฉะนั้น

$$r_e' = \frac{25mV}{I_E} = \frac{25mV}{7.5\mu A} = 3.33k\Omega$$

กระแสไบอัสที่อินพุทที่แสดงในใบกำกับข้อมูลจะเป็นค่าเฉลี่ยของ 2 อินพุทซึ่งเป็นค่ากระแสไบอัสที่อินพุทแต่ละขาโดยประมาณ ตัวอย่างเช่น 741 มีกระแสไบอัสที่อินพุท 80 nA ซึ่งสามารถใช้งานได้จริงในงานทั่วๆ ไป แต่สำหรับการใช้งานในกรณีที่ต้องการอะไรบางอย่างเป็นพิเศษ ควรใช้ออปแอมป์ที่มีคุณสมบัติพิเศษเช่น BIFET ออปแอมป์ 357 มีกระแสอินพุทไบอัสแค่ 30 pA หากกระแสอินพุทต่างกันเล็กน้อย สัญญาณอินพุทที่คลาดเคลื่อนจะน้อยมากจนแทบไม่ต้องคำนึงถึง

<u>กระแสออฟเซทอินพุท</u>

คือผลต่างของกระแสอินพุททั้ง 2 ตัวอย่างเช่น 741 มีกระแสออฟเซทอินพุท 20 nA นั่นคือขณะที่ใช้งานอาจจะพบกระแสที่อินพุทมีความแตกต่างกัน 20 nA ซึ่งค่านี้จะไม่ทำให้เกิดแรงดันเอาท์พุทผิดไป โดยทั่วไปกระแสออฟเซทอินพุทยิ่งน้อยยิ่งดี

<u>แรงดันออฟเซทอินพุท</u>

คือ แรงดัน error ขณะที่ไม่มีอินพุท ทำให้มีแรงดันเอาท์พุทเท่ากับศูนย์ ตัวอย่างเช่น 741 มีแรงดันออฟเซทอินพุท 5 mV นั่นคือ เวลาใช้งานจะต้องมีแรงดัน error ประมาณ 5 mV เพื่อที่จะทำให้มีแรงดันเอาท์พุทเป็นศูนย์ขณะที่ไม่มีอินพุท

การป้อนกลับแบบลบ (NEGATIVE FEEDBACK)

ในระบบควบคุมการป้อนกลับ หลักการคือ บางส่วนของเอาท์พุทจะถูกส่งกลับไปยังอินพุทเพื่อทำการรวมสัญญาณอินพุทจริงๆ

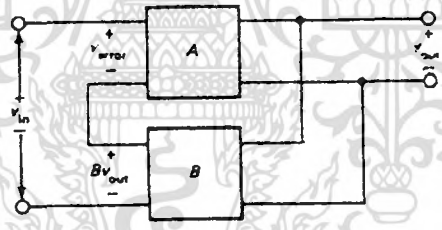
การป้อนกลับแบบลบหมายถึง สัญญาณบางส่วนของเอาท์พุทที่ถูกส่งไปยังอินพุทจะมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณอินพุท ประโยชน์ของการป้อนกลับแบบลบคือ ทำให้อัตราขยายคงที่ เปลี่ยนแปลงค่าอินพุทและเอาท์พุทอิมพิแดนซ์ให้ดีขึ้น ลดการผิดเพี้ยนไม่เป็นเชิงเส้น เพิ่มแบนด์วิดท์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ออปแอมป์จะไม่ใช้เป็น ลูป-เปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(OPEN-LOOP) แต่จะใช้ลักษณะ ลูป-ปิด (CLOSE LOOP) นั่นคือต้องมีการต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติม ซึ่งมักจะทำให้เกิดการป้อนกลับแบบลบ

<u>แนวคิดพื้นฐาน</u>

รูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างของวงจรขยายป้อนกลับแบบลบ อินพุทที่เข้าไปในวงจรขยาย (บล็อก A) เรียกว่า แรงดัน error (ERROR VOLTAGE) ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุท V_{in} กับสัญญาณป้อนกลับ Bv_{out} ในระบบป้อนกลับแบบลบ แรงดัน errorจะมีค่าใกล้ศูนย์ เนื่องจากอัตราขยาย A มีค่าสูง ประมาณ 10,000 ถึงมากกว่า 1,000,000 และแรงดันเอาท์พุทมักจะน้อยกว่า 10 V ดังนั้น แรงดัน error บางทีมีค่าเป็นไมโครโวลท์ (ที่ความถี่ต่ำ) เมื่อเทียบกับแรงดันอื่นๆ ทั้งหมดในวงจรแล้ว V_{error} จึงน้อยมาก



รูปที่ 2.10 การป้อนกลับแบบลบ

<u>การป้อนกลับทำให้อัตราขยายคงที่ได้อย่างไร</u>

สมมติว่าอัตราขยายภายในวงจรเป็น A เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงหรือเหตุผลอื่นๆ แรงดันเอาท์พุทก็จะเพิ่มตาม นั่นคือ แรงดันที่ถูกป้อนกลับไปยังอินพุทก็จะมีเพิ่มขึ้นด้วย บล็อก B มักจะเป็นตัวแบ่งแรงดันที่มีอัตราขยายเท่ากับ B (ระหว่าง 0 ถึง 1) ดังนั้น สัญญาณป้อนกลับ Bv_{out} เป็นส่วนหนึ่งของแรงดันเอาท์พุท สัญญาณที่ป้อนกลับไปอินพุทจะถูกกลับเฟสให้ตรงข้ามกับสัญญาณอินพุท V_{in} จึงทำให้ V_{error} ลดลง ซึ่งจะไปชดเชยกับการเพิ่มขึ้นของอัตราขยาย A พอดี ผลก็คือ V_{out} แทบจะไม่เพิ่มขึ้นเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในกรณีอัตราขยาย A ลดลงก็เช่นเดียวกันคือ เมื่อ A ลดลง V_{out} จะลดลง Bv_{out} ก็จะลดลงด้วยจึงทำให้ V_{error} เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปชดเชยกับการลดลงของอัตราขยาย A พอดี ผลก็คือ V_{out} ไม่ลดลงเลย หรืออาจจะลดลงก็เพียงเล็กน้อย

การพยายามที่จะเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุทที่ป้อนกลับให้แก่อินพุท เป็นสาเหตุให้ต้องการทำแรงดันerror เปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้าม คือการป้อนกลับแบบลบ ผลที่เกิดขึ้นคือแรงดันเอาท์พุทจะเสมือนไม่ได้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงภายในที่ทำให้อัตราขยาย A เปลี่ยนไป

สังเกตได้ว่า สัญญาณเอาท์พุทจะมีเฟสตรงกับสัญญาณอินพุท นั่นคือระบบเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (NONINVERTING AMPLIFIER) ที่มีการป้อนกลับแบบลบ ในหัวข้อต่อๆ ไปจะได้กล่าวถึงการนำ ออปแอมป์และตัวต้านทานมาต่อเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

<u>วิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์</u>

ในรูปที่ 2.10 แรงดัน error คือ ผลต่างของแรงดันอินพุทและแรงดันที่ป้อนกลับ

$$V_{error} = V_{in} - Bv_{out} \qquad (2.3)$$

แรงดันเอาท์พุทเท่ากับแรงดัน error คูณกับอัตราขยายภายในวงจร

$$V_{out} = AV_{error}$$

$$V_{out} = A(V_{in} - BV_{out})$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$V_{out} / V_{in} = A / (1+AB) \qquad (2.4)$$

สมการ 2.4 คือ อัตราแรงดันของระบบทั้งหมด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนของ V_{out} (เอาท์พุทสุดท้าย) ต่อ V_{in} (อินพุทจากแหล่งกำเนิด)

ถ้าหากว่าผลคูณ AB มากว่า 1 มากๆ อันเนื่องมาจาก อัตราขยาย A สูงมาก แล้วสมการ 2.4 จะลดลงเหลือ

$$V_{out} / V_{in} = 1/B \qquad (2.5)$$

สมการ (2.5) สำคัญมากเนื่องจากดูจากรูปสมการแล้วจะพบว่า อัตราขยายแรงดันของทั้งสองวงจร จะไม่ขึ้นอยู่กับอัตราขยายภายใน (A) เลย กลับขึ้นอยู่กับค่า B เท่านั้น และดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า วงจรย้อนกลับนั้นมักจะเป็นการแบ่งแรงดันจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุท ซึ่งตัววงจรสามารถใช้ค่าตัวต้านทานค่าหนึ่งที่ถูกต้องและแน่นอน (คงที่ตลอด) อัตราขยายแรงดันของวงจรขยายป้อนกลับจึงมีค่าเท่ากับส่วนกลับของ B

อัตราขยายภายใน (A) เรียกอีกอย่างว่า อัตราขยาย ลูป-เปิด เพราะว่ามันคืออัตราขยายเมื่อเปิด (ลูป) ทางที่จะป้อนกลับ ในทางกลับกันอัตราขยายทั้งหมดที่มีการป้อนกลับด้วย เรียกว่า อัตราขยาย ลูป-ปิด เพราะว่ามันคือ อัตราขยายเมื่อปิด (ลูป) หรือมีทางของสัญญาณทุกทางในวงจร (ไม่ตัดวงจรส่วนใดออก)

ดังนั้นเราอาจจะพบสมการ (2.4) และ (2.5) ในรูปดังนี้บ่อย ๆ

$$A_{CL} = A_{OL} / (1+ A_{OL}B) \qquad (2.6)$$

และ $$A_{CL} \equiv 1 / B \qquad (2.7)$$

A_{CL} : อัตราขยายลูปปิด (CLOSED - LOOP GAIN)

A_{OL} : อัตราขยายลูปเปิด (OPEN - LOOP GAIN)

<u>อินพุทและเอาท์พุทอิมพิแดนซ์</u>

ด้วยวิธีการคล้ายๆ กับการหาอัตราขยายแรงดัน เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า อินพุทอิมพิแดนซ์ของวงจรขยายไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบลบมีค่าเป็น

$$Z_{in(CL)} = (1+A_{OL}B)Z_{in(OL)} \qquad (2.8)$$

จะเป็นได้ว่า การที่มีการป้อนกลับ (แบบลบ) จะเพิ่มอินพุทอิมพิแดนซ์ ตัวอย่างเช่น ถ้าวงจรขยายภายในมีอินพุทอิมพิแดนซ์ 1 Ω และ 1 $A_{OL}B$ มีค่าเท่ากับ 10,000 เมื่อนั้นอินพุทอิมพิแดนซ์ของทั้งระบบ (รวมการป้อนกลับด้วย) มีค่าเป็น

$$Z_{in(CL)} = 10{,}000 \times 1\ k\Omega = 10\ M\Omega$$

และสามารถหาเอาท์พุทอิมพิแดนซ์

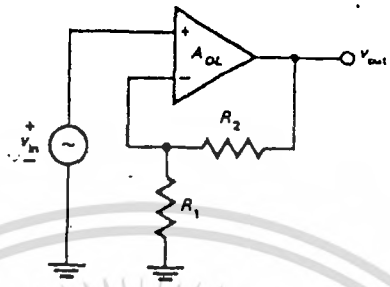
$$Z_{out(CL)} = Z_{out(OL)} / (1+ A_{OL}B) \qquad (2.9)$$

จะสังเกตุได้เช่นเดียวกันว่า การที่มีการป้อนกลับ (แบบลบ) จะลดเอาท์พุทอิมพิแดนซ์ด้วยแฟคเตอร์ (factor) $1+ A_{OL}B$ อาจกล่าวได้อีกอย่างว่า เอาท์พุทอิมพิแดนซ์(คิดแบบเทวินิน) ของวงจรจะลดลง ตัวอย่างเช่นถ้า วงจรขยายภายในมี (เอาท์พุท) อิมพิแดนซ์ (คิดแบบเทวินิน) 1KΩ และ $1 + A_{OL}B = 10{,}000$

$$Z_{out(CL)} = 1K\Omega / 10000 = 0.1\ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ออปแอมป์ทำงานเป็นวงจรขยายไม่กลับเฟส



รูปที่ 2.11 วงจรขยายไม่กลับเฟส

รูปที่ 2.11 แสดงถึงการต่อออปแอมป์เป็นวงจรขยายที่มีการป้อนกลับแบบลบ สัญญาณอินพุทจะเข้าที่อินพุทบวกของออปแอมป์

ออปแอมป์มีอัตราขยายภายใน A_{OL} และมีตัวต้านทานภายนอก R_1 และ R_2 เพื่อเป็นตัวแบ่งแรงดันให้ป้อนกลับ เนื่องจากแรงดันที่ป้อนกลับนี้เข้าออปแอมป์อินพุทลบ ซึ่งตรงข้ามกับสัญญาณอินพุทหรือเรียกว่า เกิดการป้อนกลับแบบลบขึ้นแล้ว

<u>อัตราขยายแรงดัน</u>

หาค่า B เพื่อที่จะใช้ในการหาอัตราขยายแรงดัน

$$B = R_1 / (R_1 + R_2)$$

ดังนั้นอัตราขยาย ลูป-ปิด ประมาณเท่ากับ

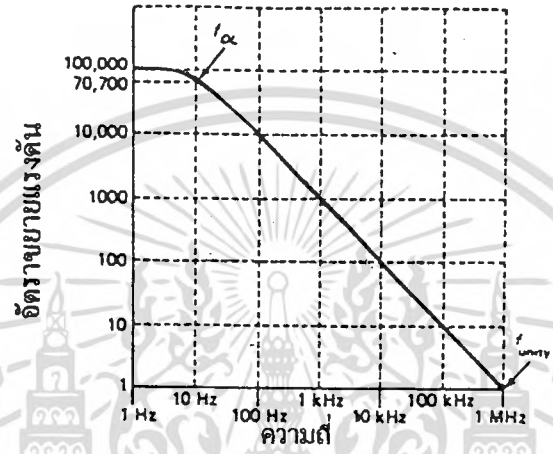
$$A_{CL} \cong 1/B = R_1 / (R_1 + R_2)$$

$$A_{CL} \cong (R_2 / R_1) + 1 \qquad (2.10)$$

จะเห็นว่าอัตราขยาย ลูป-ปิด ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของตัวต้านทานที่ใช้ในการป้อนกลับ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เราสามารถใช้ตัวต้านทานด้วยการกำหนดค่าได้ถูกต้อง จึงทำให้ได้ค่าอัตราขยาย ลูป-ปิด ที่ถูกต้องด้วย แม้ว่าอุณหภูมิหรือปัจจัยอื่นๆ จะเปลี่ยนแปลง อัตราขยาย ลูป-ปิด จะคงที่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (UNITY-GAIN FREQUENCY)



รูปที่ 2.12 การตอบสนองลูป-เปิดของ 741

รูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นถึงการตอบสนอง ลูป-เปิดของ 741 C อัตราขยาย ลูป-เปิดสูงสุดที่ 100,000 แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 10 Hz อัตราขยายลูป-เปิดจะลดลงเป็น 0.707 เท่าของค่าสูงสุดเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อัตราขยายยังคงลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน

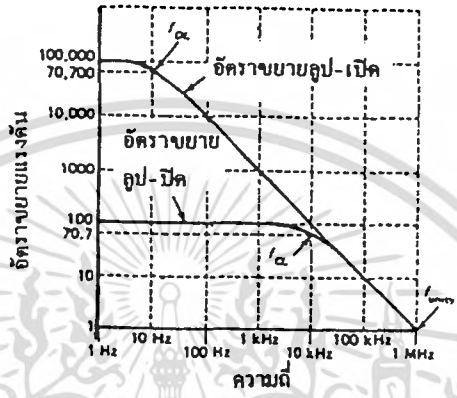
ความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับหนึ่ง คือความถี่เพื่ออัตราขยายลูป-เปิด เท่ากับ 1 ใน รูปที่ 2.12 f_{unity} เท่ากับ 1 MHz

ในกำกับข้อมูลจะบอกค่า f_{unity} ยิ่งสูง การตอบสนองความถี่ก็จะยิ่งดี ตัวอย่าง เช่น 741 C มี f_{unity} ที่ 1 MHz 318 มี f_{unity} ที่ 15 Mhz แม้ว่าราคาของ 318 จะแพงกว่า แต่สามารถใช้เป็นวงจรขยายในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 741 C

<u>สรุป</u> รูปที่ 2.13 เป็นกราฟสรุปทุกสิ่งทุกอย่างที่กล่าวมาข้างต้น อัตราขยายลูป-เปิดของ 741 C ที่ f_{OL} (ความถี่คัทออฟด้านบนลูป-เปิด) จะมีอัตราขยายเป็น 0.707 เท่า ของ อัตราขยายลูป-เปิดสูงสุด และอัตราจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าอัตราขยาย ลูป-ปิด ที่ ซึ่งมีความถี่เท่ากับ f_{CL} (ความถี่คัทออฟลูป-เปิด) จะมีอัตราขยายเป็น 0.707 เท่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

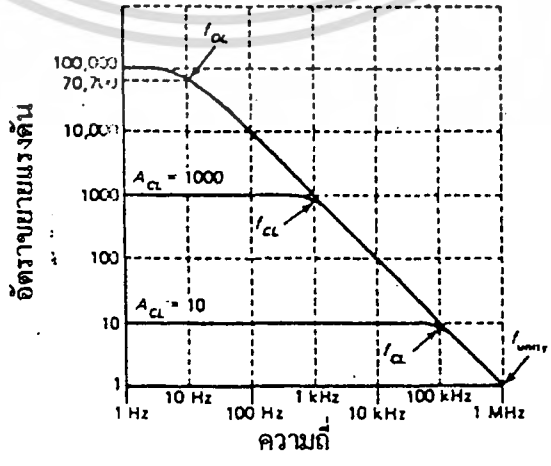
อัตราขยาย ลูป-ปิดสูงสุด จากนั้นอัตราขยาย ลูป-เปิดและอัตราขยายลูป-ปิดจะลดลงจนมีค่าเท่ากับหนึ่งที่ f_{unity}



รูปที่ 2.18 การตอบสนอง ลูป-ปิด และลูปเปิด

ถ้าตัวต้านทานที่ใช้ในการป้อนกลับเปลี่ยนไป อัตราของลูป-ปิดจะเปลี่ยนแปลง ทำให้ความถี่คัทออฟลูป-ปิด เปลี่ยนแปลงด้วย อย่างไรก็ตามยังเป็นตามเงื่อนไขของผลคูณของแบนด์วิดท์กับอัตราขยายซึ่งเป็นค่าคงที่เสมอ

ตัวอย่างเช่น สมมติเราเปลี่ยนตัวต้านทาน เพื่อให้ได้อัตราขยาย ลูป-ปิด เท่ากับ 1000 (A_{CL} = 1000) ดังรูปที่ 2.14 ฉะนั้นความถี่คัทออฟ ลูป-ปิด f_{CL} = 1 KHz



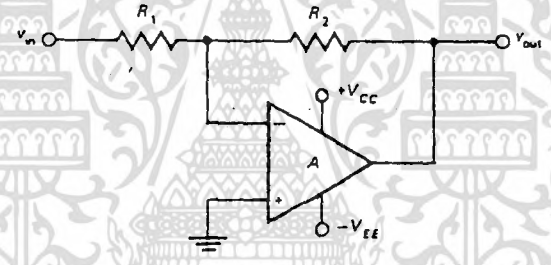
รูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราอาจลดค่า A_{CL} เป็น 10 เพื่อที่จะให้ความถี่ f_{CL} เป็น 100 Mhz ได้ดังรูปที่ 2.14

วงจรขยายกลับเฟสโดยใช้ออปแอมป์

รูปที่ 2.15 คือ วงจรขยายกลับเฟส(ป้อนกลับแบบลบ) ที่ใช้ออปแอมป์สัญญาณอินพุทผ่าน R_1 เข้าออปแอมป์ที่อินพุทลบ ออปแอมป์มี A_{OL} เป็นอัตราขยายลูป-เปิด ดังนั้นสัญญาณที่เอาท์พุทจะมีขนาดใหญ่กว่าแรงดันerror และเพราะว่ามีการกลับเฟสสัญญาณเอาท์พุทจะมีเฟสต่างจากสัญญาณอินพุท 180° นั่นคือ สัญญาณที่ป้อนกลับจะตรงกันข้ามกับสัญญาณอินพุท จึงเป็นการป้อนกลับแบบลบ



รูปที่ 2.15 วงจรขยายกลับเฟส

<u>กราวด์เสมือน (VIRTUAL GROUND)</u>

อัตราขยาย ลูป-เปิด ของออปแอมป์จะมีค่าสูงมาก (741 C A_{OL} = 100,000) ถ้าแรงดันเอาท์พุท 10 V แรงดันerror จะมีค่าเพียง

$$V_{error} = V_{out} / A_{OL} = 10 / 100{,}000 = 0.1 \text{ mV}$$

นอกจากนี้ อินพุทอิมพิแดนซ์ (ลูป-เปิด) ของ 741 C มีค่าประมาณ 2 MΩ ; สำหรับแรงดันerror 0.1 mV ฉะนั้นกระแสอินพุท

$$i_{error} = V_{error} / Z_{in(OL)} = 0.1 \text{ mV} / 2 \text{ M}\Omega = 0.05 \text{ nA}$$

เนื่องจากแรงดันerrorมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงดันของสัญญาณอื่นๆ เราจึงประมาณค่า $V_{error} \cong 0$ และในทำนองเดียวกัน $i_{error} \cong 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทกลับเฟสในรูปที่ 2.15 เป็นกรานด์เสมือน ซึ่งเสมือนกับว่าแรงดัน error จะมีค่าเป็นศูนย์ไม่ว่าแรงดันอินพุทจะเป็นเท่าไรก็ตาม อินพุทกลับเฟสนี้ไม่ใช่กราวด์ที่แท้จริง เพราะว่ามีอินพุทอิมพิแดนซ์ 2 MΩ ซึ่งมีกระแสน้อยมากไหลผ่านที่สามารถตัดทิ้งได้ กราวนด์เสมือนเราใช้แทนจุดที่แรงดันที่จุดนี้มีค่าใกล้ศูนย์มากๆ และมีกระแสที่สามารถไหลผ่านจุดนั้นน้อยมากๆ

<u>อัตราขยายแรงดัน และอินพุทอิมพิแดนซ์</u>

ในรูปที่ 2.15 อินพุทกลับเฟสเป็นกราวนด์เสมือน จึงทำให้อินพุททั้งหมดตกคร่อม R_1 สามารถหากระแสไหลผ่าน R_1 ได้

$$i = V_{in} / R_1$$

และกระแส i นี้ก็จะไหลผ่าน R_2 (เนื่องจากมีกระแสไหลลงกราวนด์เสมือนน้อยมากจนตัดทิ้งได้)

จุดด้านซ้ายมือของ R_2 ก็เป็นจุดเดียวกันกับอินพุทกลับเฟสซึ่งเป็นกราวนด์เสมือน นั่นคือ แรงดันตกคร่อม R_2 คือ แรงดันเอาท์พุทนั่นเอง จึงเขียนได้ว่า

$$V_{out} = i_2R_2 = i_1R_2 = V_{in}R_2 / R_1$$

จะได้ว่า

$$A_{CL} = R_2 / R_1 \qquad (2.11)$$

และอินพุทอิมพิแดนซ์เมื่อมองจาก V_{in}

$$Z_{in(CL)} = R_1 \qquad (2.12)$$

เหตุผลหนึ่งที่ทำให้วงจรขยายกลับเฟสเป็นที่นิยมคือ มีค่าอินพุทอิมพิแดนซ์และอัตราขยายแรงดันที่ถูกต้องตามที่ต้องการและคงที่เสมอ แม้ว่าอุณหภูมิหรือปัจจัยอื่นๆ อาจเปลี่ยนแปลง

<u>2 อินพุท</u>

ข้อดีของวงจรขยายกลับเฟสอีกข้อหนึ่งคือ สามารถมีอินพุทมากกว่า 1 อินพุทในเวลาเดียวกัน ได้ดังรูปที่ 2.16 (a)

$$i_1 = V_1 / R_1$$

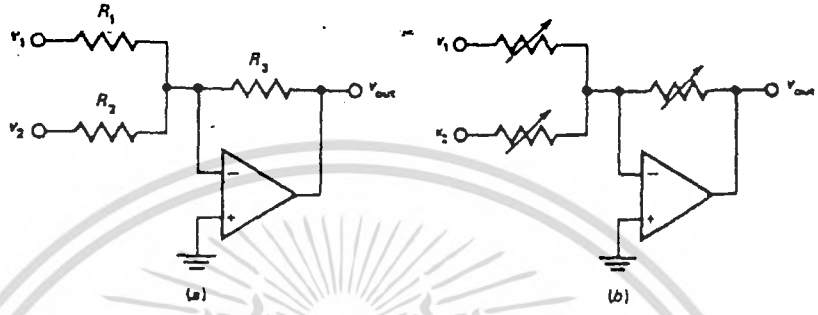
$$i_2 = V_2 / R_2$$

$$V_{out} = (i_1 + i_2)R_3 = i_1R_3 + i_2R_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$V_{out} = R_3V_1/R_1 + R_3V_2/R_2 \qquad (2.13)$$



รูป 2.16 a) 2 อินพุต b) ปรับค่าอินพุตทั้ง 2

จากสมการ 2.13 แสดงว่าแต่ละอินพุทสามารถมีอัตราขยายแรงดันต่างกันได้ และเอาท์พุทจะเป็นผลรวมของอินพุทที่ถูกขยายเรียบร้อยแล้ว เราสามารถดัดแปลงให้ใช้กับอินพุทที่มากเท่าใดก็ได้

รูปที่ 2.16 (b) อาจใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับขนาดของอินพุทและอัตราขยายได้ วงจรลักษณะนี้ใช้ในการรวมสัญญาณเสียงต่างๆ

การประยุกต์การใช้งานของออปแอมป์

ไอซีออปแอมป์ราคาถูกทำงานได้หลายอย่าง วิธีการใช้งานง่ายจึงทำให้ออปแอมป์ไม่เพียงแต่ใช้เป็นวงจรขยายมีการป้อนกลับแบบลบเท่านั้น แต่ยังมีการประยุกต์ใช้เป็น ตัวจัดรูปคลื่น,FILTER,ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์การใช้งานที่ใช้บ่อยๆ ของออปแอมป์

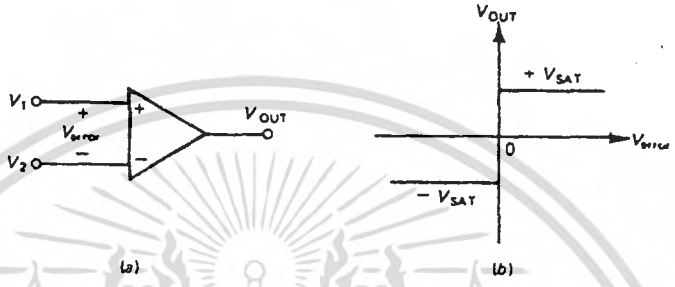
<u>ตัวเปรียบเทียบ (COMPARATOR)</u>

วิธีที่ง่ายที่สุดในการใช้ออปแอมป์คือ การใช้เป็น ลูป-เปิด (ไม่มีตัวต้านทานที่เป็นตัวป้อนกลับ) ดังรูปที่ 2.17 (a)

เนื่องจากออปแอมป์มีอัตราขยายสูงมาก แรงดัน error เพียงเล็กน้อยเป็นไมโครโวลต์ (10^{-6}) ก็สามารถทำให้เกิดเอาท์พุทขนาดใหญ่ได้ เมื่อ V_1 มากกว่า V_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันerrorจะเป็นบวก แรงดันเอาท์พุทจะเป็นค่าสูงสุดด้านบวก (ระดับต่ำกว่าแรงดันที่จ่ายให้ IC 1 ถึง 2 V) และถ้า V_1 น้อยกว่า V_2 แรงดัน error จะเป็นลบ แรงดันเอาท์พุทจะเป็นค่าสูงสุดด้านลบ



รูปที่ 2.17 a) วงจร b) ผลตอบสนอง

รูปที่ 2.17 (b) เป็นผลแสดงแรงดันเอาท์พุท เมื่อแรงดันerror มีค่าบวกและลบ

$+V_{SAT}$ คือ ค่าแรงดันเอาท์พุทสูงสุดด้านบวก

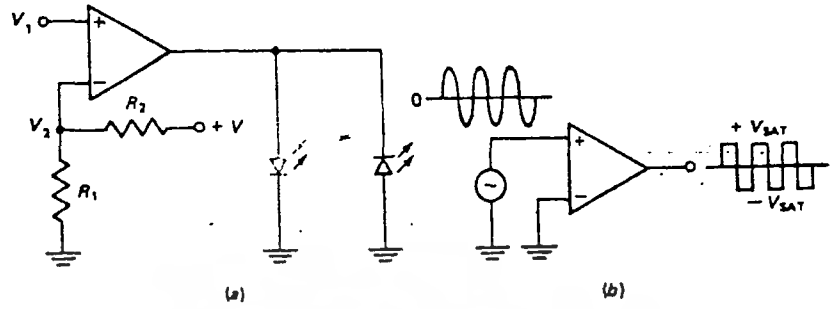
$-V_{SAT}$ คือ ค่าแรงดันเอาท์พุทสูงสุดด้านลบ

วงจรในลักษณะนี้เรียกว่าตัวเปรียบเทียบ คือเปรียบเทียบระหว่าง V_1 กับ V_2 เพื่อที่จะได้แรงดันเอาท์พุทบวก เมื่อ V_1 มากกว่า V_2 และได้ แรงดันเอาท์พุทลบ เมื่อ V_1 น้อยกว่า V_2

รูปที่ 2.18 (a) เป็นำการประยุกต์ใช้ตัวเปรียบเทียบ เมื่อ V_1 มากกว่า V_2 เอาท์พุทจะมีค่าเป็นบวก LED สีเขียวจะสว่าง เมื่อ V_1 น้อยกว่า V_2 เอาท์พุทจะมีค่าเป็นลบ LED สีแดงจะสว่าง อาจตั้งค่า V_2 ไว้ค่าหนึ่ง แล้วใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบ V_1 ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่า V_2 ได้

รูปที่ 2.18 (b) ใช้เป็นตัวสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมจากคลื่นซายน์ เนื่องจากอินพุทลบเป็นกราวนด์ V_2 ก็เลยมีค่าเป็นศูนย์ ดังนี้เมื่อคลื่นซายน์อินพุทเป็นบวกเพียงเล็กน้อยเอาท์พุทก็จะมีค่าเป็น $+V_{SAT}$ และเมื่ออินพุท (ซายน์) เป็นลบเพียงเล็กน้อยเอาท์พุทก็จะมีค่าเป็น $-V_{SAT}$ จึงทำให้เกิดคลื่นรูปสี่เหลี่ยมขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18

2.3.2 ตัวแปลงสัญญาณจาก Analog ไปเป็น Digital(Analog to Digital Convertor)

ในการจะเลือกใช้ A/D จะต้องพิจารณาถึง 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ความเร็วและ resolution ซึ่งจะมีใช้กันอย่างกว้างขวางอยู่ 3 ชนิด ตาม ADC technologies ในปัจจุบันนี้ คือ (1) Flash or parallel converters

(2) Dual slope converters

(3) Successive approximation converters

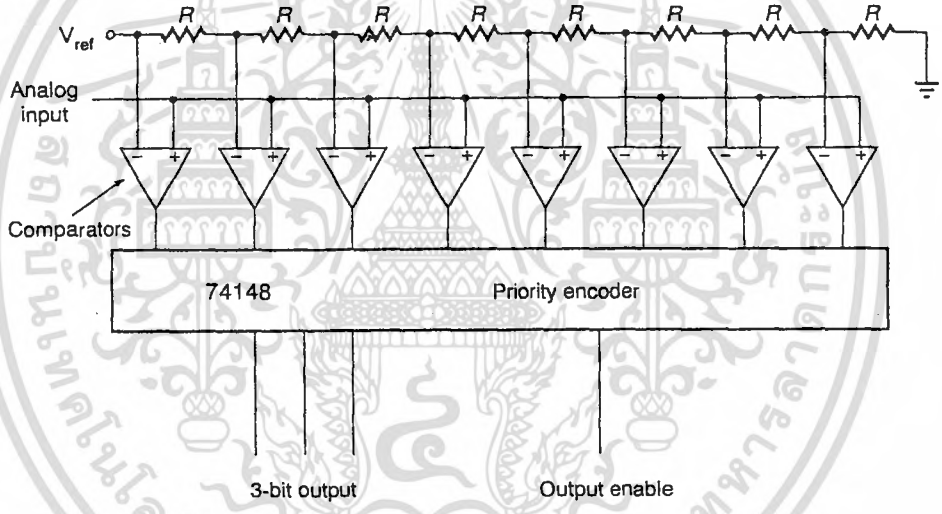
Flash converters มีความเร็วมาก แต่มีความแน่นอนต่ำ ซึ่งจะใช้ในการประมวลสัญญาณในขณะเวลานั้น (real-time signal processing) เช่น oscilloscopes, eleotronic warfare และการสื่อสาร (communications) Dual slope converters ช้ามากแต่มีความแม่นยำสูง ซึ่งใช้เทคนิคการเฉลี่ย (averaging technique) ทำให้ไม่มีสัญญาณรบกวน จะพบในเครื่องมือจำพวก multimeter, อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และระบบการวัดหรือระบบอื่น ๆ ที่ต้องใช้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมาก ๆ และชนิดสุดท้ายที่ได้รับความนิยมมากที่สุดใน ADCs คือ successive approximation type ซึ่งดีที่สุดในทางการค้าทั้งความเร็ว, resolution และราคา ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของ ADC

2.3.2.1 FLASH CONVERTERS

รูปแบบของ flash converters แสดงดังรูปที่ 2.19 สมมติว่าเราอยากจะแปลงสัญญาณ analog input ไปเป็นสัญญาณ digital output 3 bit ต้องใช้ตัวต้านทานค่าเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันแปดตัว เพื่อแบ่งค่า 10V ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงให้เท่ากัน โดยจะลดลงเป็น steps ดังนี้ 10, 8.75, 7.50, 6.25, 5.00, 3.75, 2.00, 1.25 ตัว comparators แปดตัวจะทำการลบค่าความต่างศักย์อ้างอิงที่แยกออกมาด้วยสัญญาณ analog input เพื่อให้สัญญาณ output เป็นศูนย์หรือหนึ่ง ขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ว่าเป็นลบหรือบวก ดังนั้นถ้า input เป็น 3V comparators ตัวที่ 2 ถึง 7 จะให้ค่าศูนย์ ขณะที่ comparators ตัวที่ 0 และ 1 ให้ค่าเป็นหนึ่ง โดยปกติแล้ว N-bit converter จะต้องใช้ 2^N comparators และตัวต้านทาน ดังนั้น resolution จะถูกจำกัดด้วยจำนวนของ comparator ซึ่งโดยทั่วไป flash converters ที่มากกว่า 8 bits จะมีราคาที่แพงมาก



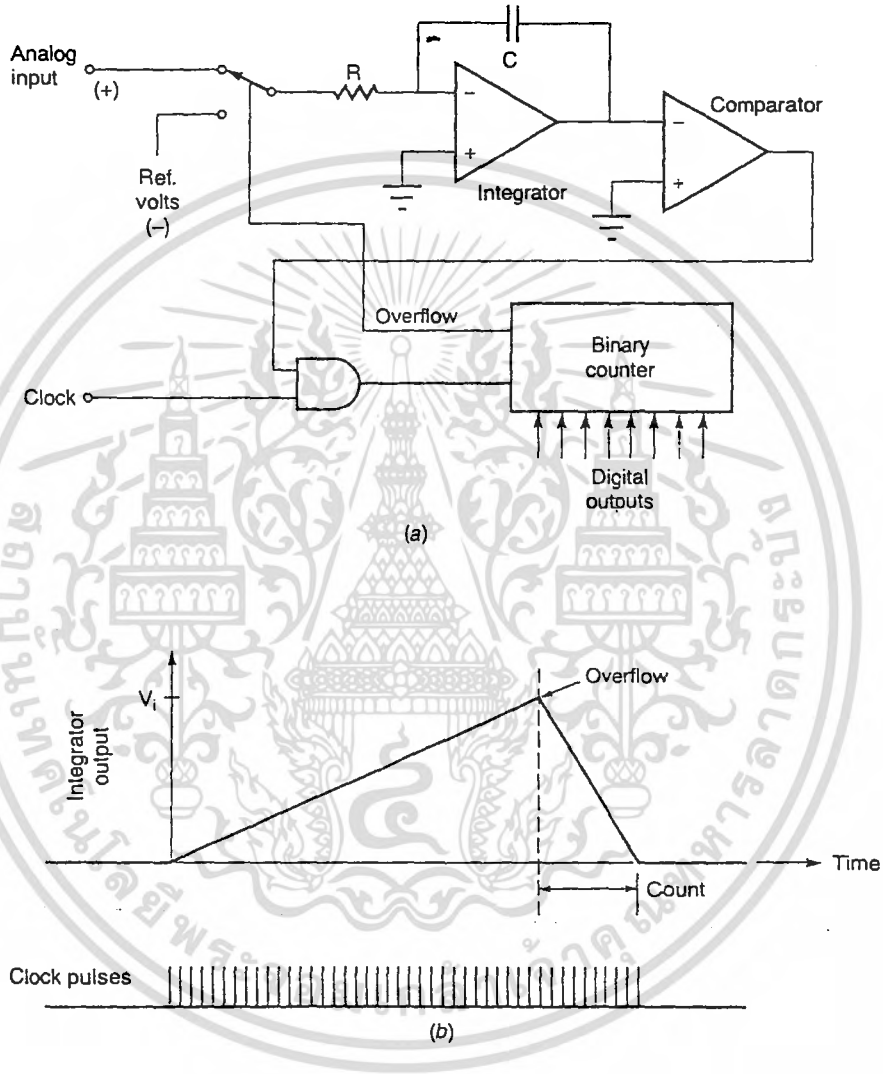
รูปที่ 2.19 Flash ADC

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบของ ADC converters

	Flash	Dual slope	Successive approximation
Speed	4 - 1000 ns	50 - 1000ms	1 - 100 μs
Resolution	4 - 10 bits	10 - 22 bits	8 - 16 bits
Cost(approx.)	$150(6 bit) $3000(10 bit)	$15(10 bit) $40(16 bit)	$200(16-bit) $40(12-bit) $5(8-bit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 DUAL SLOPE CONVERTERS



รูปที่ 2.20 ADC dual slope converter a) วงจร b) แผนภาพเวลา

มีจำนวนหลาย ๆ แบบของวิธีการ integration : single slope, dual slope และ multiple slope เราจะกล่าวถึงเฉพาะ dual slope converter เท่านั้น วงจรของ dual slope converter แสดงตามรูปที่ 2.20 (a) ทำการป้อน voltage ที่ไม่ทราบค่าเข้าที่ input ให้ analog switch ต่อกับ integrator โดย integrator จะไปทำการขับ comparator ซึ่ง output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็น HIGH ขณะที่ integrator output มีค่ามากกว่าหลาย ๆ มิลลิโวลต์ เมื่อ output ของ comparator เป็น HIGH แล้ว AND gate จะให้ clock pulses ไปที่ binary counter แล้ว binary counter จะนับ pulse จนกระทั่ง counter overflow ตามเวลานี้จะเป็น T_1 ซึ่งจะถูกกำหนดโดยความถี่ f_c และขนาด counter M และไม่ขึ้นกับ voltage ที่ไม่ทราบค่า อย่างไรก็ตาม integrator output voltage ก็จะเป็นสัดส่วนกับ voltage ที่ไม่ทราบค่า (V_{in}) ดังนี้

$$V_1 = \left(\frac{T_1}{RC}\right)V_{in} = \frac{MV_{in}}{f_c RC} \qquad (2.14)$$

เมื่อ counter overflows มันจะ reset ให้เป็นศูนย์และส่งสัญญาณไปที่ analog switch ซึ่งไม่ได้ต่อกับ voltage ที่ไม่ทราบค่าและต่อกับ voltage อ้างอิง ขั้วของ voltage อ้างอิงจะตรงกันข้ามกับ voltage ที่ไม่ทราบค่า integrator voltage จะลดลงที่อัตราส่วนตาม voltage อ้างอิง ในขณะนั้น counter ก็ได้เริ่มทำการนับใหม่อีกครั้งจากศูนย์ ขณะที่ voltage อ้างอิงได้ป้อนให้ integrator เมื่อ integrator output เป็นศูนย์ comparator จะเป็น LOW ซึ่งทำให้ AND gate เป็น LOW clock pulses จะไม่สามารถผ่านได้ และ counter จะหยุดนับที่ m

$$V_i = \left(\frac{T_2}{RC}\right)V_{ref} = \frac{MV_{ref}}{f_c RC}$$

จากรูป 2.20 (b) จะได้ จำนวน count เป็น

$$m = \left(\frac{M}{V_{ref}}\right)V_{in}$$

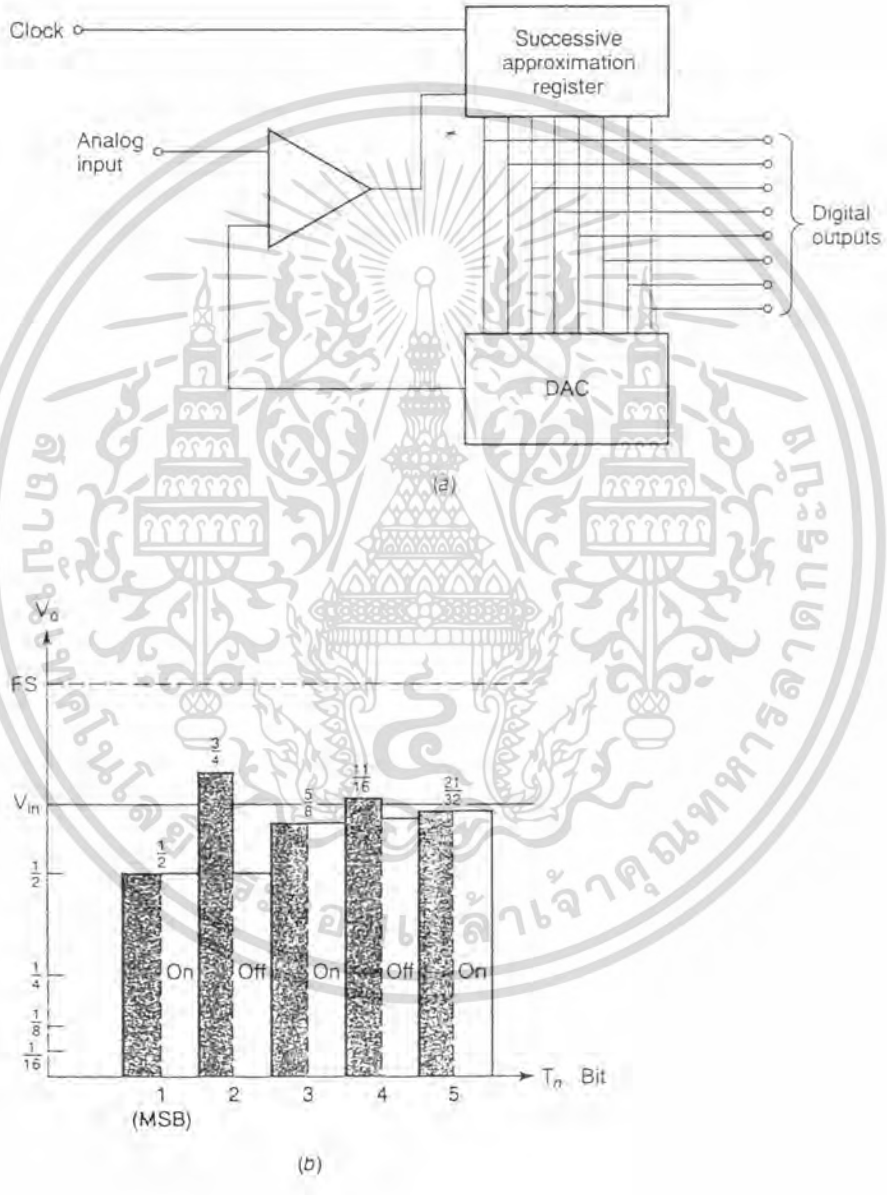
ความแม่นยำของวิธี dual slope ขึ้นกับ V_{ref} เพียงอย่างเดียว การกำจัดสัญญาณรบกวน (noise) ทำได้ดีเยี่ยม เพราะว่า การกระทำทาง integral ของ converter ได้เฉลี่ยสุ่มลบและบวกร่วมกันทั้งคาบในการ sampling (T_1)

2.3.2.3 SUCCESSIVE APPROXIMATION CONVERTERS

วิธีของ successive approximation จะเป็นการเทียบ input ที่เข้ามากับน้ำหนักทางเลขฐานสอง เช่น ถ้าเรามีน้ำหนักอยู่ 3 ระดับ คือ 1/2, 1/4, 1/8 จะเริ่มโดยการแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่มากที่สุด MSB (Most Significant Bit) (1/2) ก่อน แล้วดูว่า voltage input ที่เข้ามา ถ้ามีค่ามากกว่าจะทำให้บิท MSB อยู่ในสถานะ ON ต่อไปก็ทำการแทนบิทกลาง

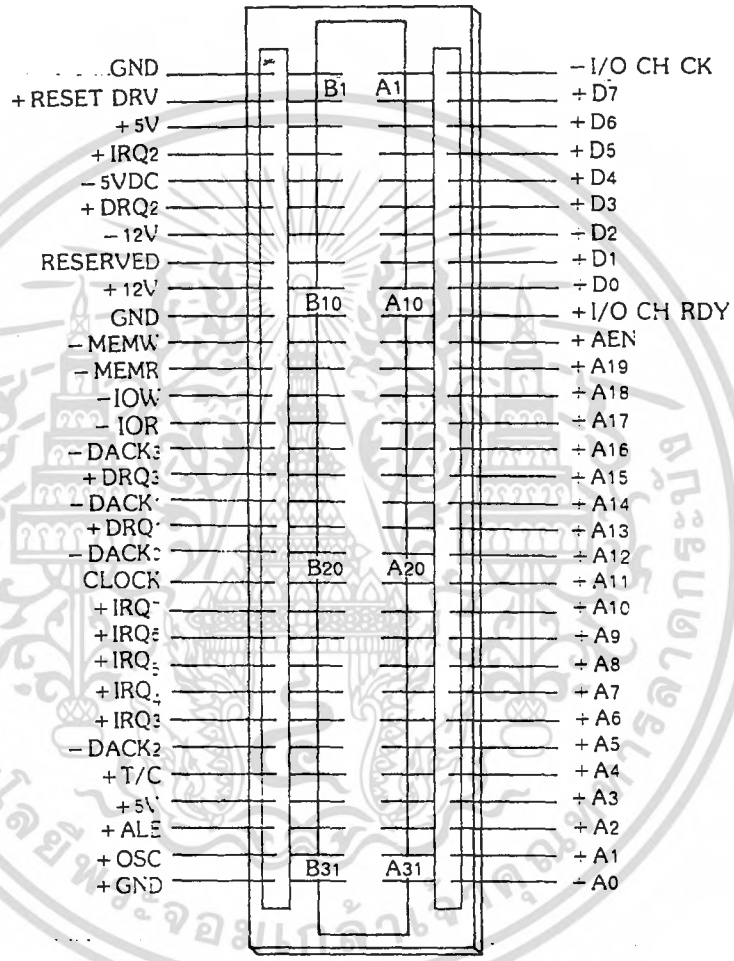


รูปที่ 2.21 Successive approximation ADC a) วงจร

b) สถานะของบิท แถวที่แรเงาเป็นการลองแทนบิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1/4) ถ้ามีค่ามากกว่า voltage input แล้วจะทำให้บิทกลางอยู่ในสถานะ OFF และสุดท้ายก็ทำการเช็คบิทสุดท้าย LSB (Least Significant Bit) (1/8) ถ้าเซ็ตให้เป็น 1 แล้วไมาทำให้มีค่ามากกว่า voltage input ก็จะทำให้บิทนี้เป็น ON ซึ่งจะอ่านค่าเป็นเลขฐาน



รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณต่างๆบน System Bus ของ IBM PC

สองได้เป็น (101) หรือ 5/8 จากเต็มสเกลเป็น 1 ที่มี resolution 1 LSB จะอ่านค่าได้สูงสุดคือเต็มสเกลลบด้วย 1 LSB หรือ 7/8

วงจร successive approximation แสดงในรูปที่ 2.21 (a) หัวใจของ converter ชนิดนี้คือ DAC โดยที่ control logic บางทีเรียกว่า successive approximation register

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(SAR) ทำให้ MSB เป็น HIGH เมื่อ clock ผ่านเข้ามาลูกแรกขณะที่บิทอื่น ๆ ยังคงเป็น LOW จำนวนเลขฐานสองจะถูกเก็บและส่งไปที่ DAC แล้ว DAC จะทำการแปลงเลขฐานสองให้เป็น voltage และ output ที่ได้จะเปรียบเทียบกับ voltage input ที่ไม่ทราบค่า ถ้า output ของ DAC มากกว่า voltage ที่ไม่ทราบค่า comparator จะให้ค่าเป็น LOW และบิทจะ reset เป็นศูนย์ ถ้า output น้อยกว่า voltage ที่ไม่ทราบค่า MSB ก็ยังคงเป็นหนึ่ง

ต่อไปก็ให้บิทต่อจาก MSB เป็นหนึ่ง และทำการเปรียบเทียบแบบเดิมอีกครั้ง ถ้า output ของ DAC น้อยกว่า voltage ที่ไม่ทราบค่า บิทนี้ก็ยังคงเป็นหนึ่งแต่ถ้ามากกว่าก็จะเป็นศูนย์ จะทำการทดสอบบิทเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนหมดทุกบิท ณจุดนี้ output ของ SAR ก็จะส่งสัญญาณ end-of-conversion (EOC) ไปให้ microprocessor (หรือ PIA) ข้อมูลที่เก็บอยู่ใน SAR ก็จะถูกส่งผ่านไปที่ register output ของ SAR และขบวนการนี้ก็จะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างสถานะของบิทที่เป็น 5 บิท ADC แสดงในรูปที่ 2.21 (b)

2.3.3 การเชื่อมต่อระบบไมโครคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ IBM PC ที่เราใช้ในปัจจุบันนอกจากใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลต่างๆ แล้วยังสามารถใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้อีกด้วย โดยติดต่อทางพอร์ต (port) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์จะเป็นสัญญาณดิจิตอล ส่งเข้าทางบัสดาต้า (Data Bus) ของคอมพิวเตอร์ ในที่นี้จะกล่าวถึงการสร้างพอร์ตขนาน สำหรับรับข้อมูลและส่งข้อมูล (parallel input/output (I/O) ports)

PROTOTYPE BOARDS

การสร้างพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จะต้องสร้างแผงวงจรสำหรับติดต่อกับสัญญาณต่างๆ ที่จำเป็นบน IBM PC System Bus ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบบัสที่ใช้กับ CPU เบอร์ 8088 เป็นหลัก ถ้าออกแบบแผงวงจรให้สามารถใช้กับระบบนี้ได้แล้วก็สามารถที่จะใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ CPU เบอร์สูงกว่านี้ได้ พอร์ตที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยวงจรบนแผง PCB ที่สามารถเสียบบน system bus ได้ เรียกว่า Prototype Board สัญญาณต่างๆบน system bus แสดงได้ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งสัญญาณจะมีค่าอยู่ในระดับ transistor-transistor logic (TTL) นอกจากนี้ยังมีขาที่จ่ายพลังงาน และ ground รวมอยู่ด้วย

สัญญาณต่างๆ ที่สำคัญในการสร้างพอร์ตมีดังนี้

1) A0-A19 มี 20 ขา เป็นขาสำหรับอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำ (memory) และพอร์ตอินพุทเอาต์พุท

2) D0-D7 เป็นขาข้อมูล (DATA) ขนาด 8บิต สำหรับส่งและรับข้อมูลเข้าบัสข้อมูลของ CPU โดยจะส่งข้อมูลไปที่ output port ถ้าสัญญาณ low ทำงาน หรือเขียนข้อมูลไปที่หน่วยความจำถ้าสัญญาณ MEMW ทำงาน และจะรับข้อมูลจาก input port ถ้าสัญญาณ IOR ทำงานหรืออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำถ้าสัญญาณ MEMW ทำงาน

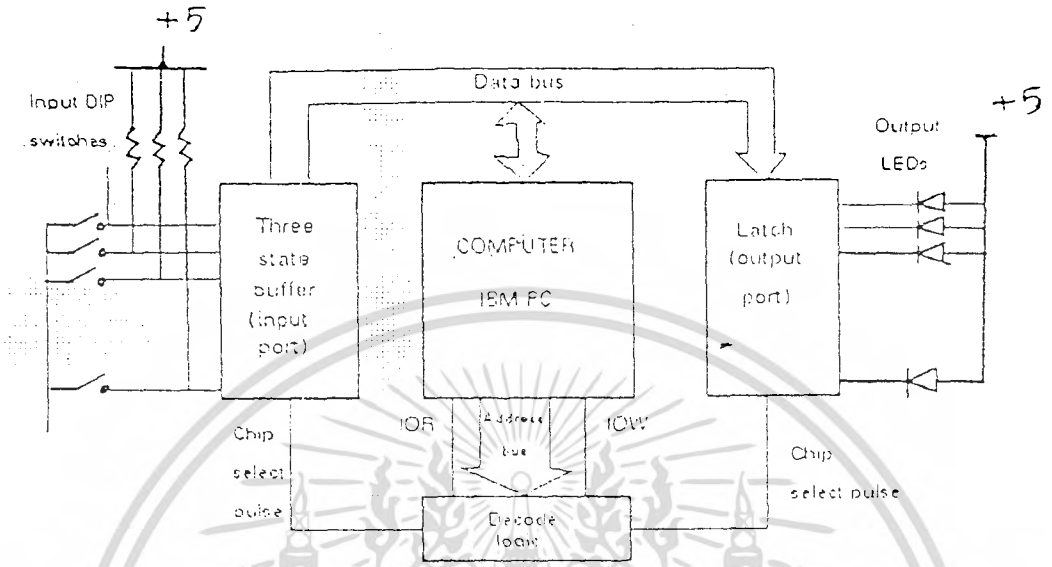
3) MEMR , MEMW , IOR , IOW เป็นสัญญาณที่ active - low ใช้ควบคุมการอ่านหรือการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ และพอร์ต I/O

4) AEN (address enable) จะแอคทีฟลอจิก 1 เครื่อง IBM PC จะใช้สัญญาณนี้เป็นตัวแบ่งว่าสัญญาณแอดเดรสที่เกิดขึ้นมากจากที่ใด ถ้าเป็นลอจิก "1" แสดงว่า เกิดการทำ DMA (ย่อมาจาก Direct Memory Access) ซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูลโดยตรงระหว่างอุปกรณ์ อินพุท/เอาท์พุท ของเครื่องคอมพิวเตอร์กับหน่วยความจำโดยไม่ผ่าน CPU ถ้าเป็นลอจิก "0" แสดงว่าพอร์ต I/O มีค่าแอดเดรสตรงกับบัสแอดเดรส

การออกแบบสร้างพอร์ตรับส่งข้อมูลแบบขนาน (PARALLEL I/O PORT DESIGN)

ในที่นี้จะยกตัวอย่างที่ว่า ระบบที่จะออกแบบคือเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM PC จะอ่านข้อมูลจาก port input คือ switch จากนั้นจะเอาข้อมูลที่อ่านได้ส่งไปยัง port output โดยแสดงผลทาง LED displays ซึ่งระบบแสดงได้ดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



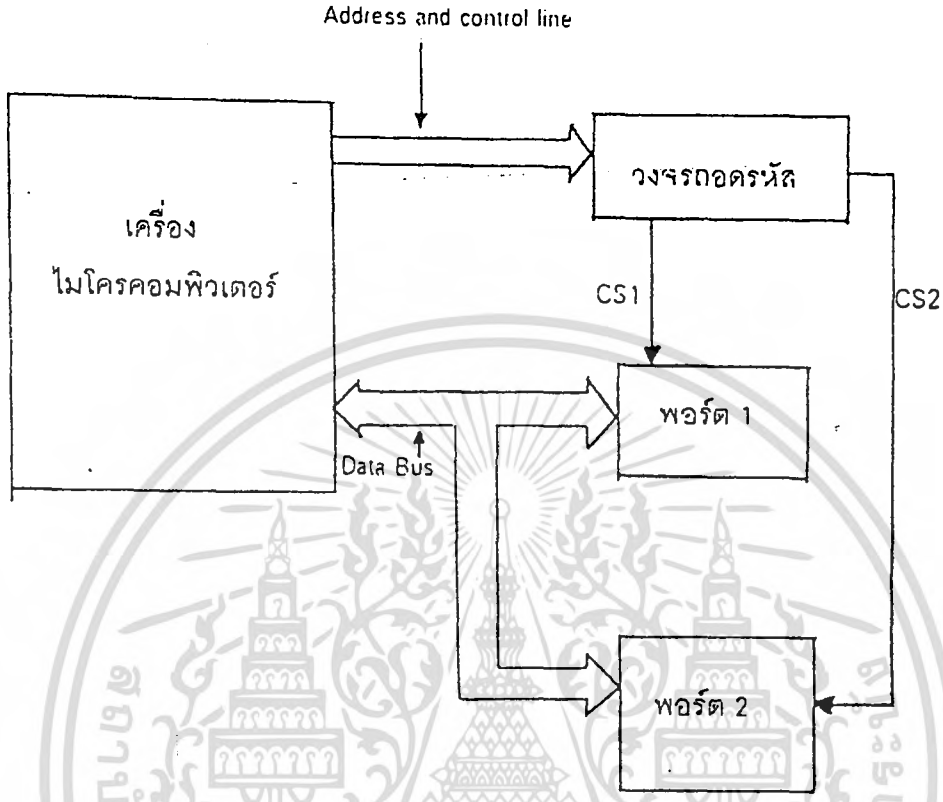
รูปที่ 2.23 แสดงระบบที่รับข้อมูลจาก switch และแสดงข้อมูลทาง LED

เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถมี port ต่ออยู่ได้เป็นจำนวนมากมาย ดังนั้นการสร้าง port ต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ จะต้องถอดรหัสเสียก่อน ว่าระบบที่สร้างขึ้นต้องการติดต่อกับ port ใด โดยสร้างเป็นวงจรถอดรหัสขึ้น จากขา address และสัญญาณควบคุมของไมโครคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 2.24 ถ้าออกแบบระบบให้ port 1 เป็น port input และ port 2 เป็น port output โดย port แต่ละ port จะมีเลขประจำตัวอยู่ที่เรียกว่า memory-mapped I/O ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการติดต่อกับ port ใด ก็ส่งสัญญาณ address ออกมา ถ้าวงจรถอดรหัส ถอดรหัสสัญญาณ address พบว่าตรงกับ port 1 ก็จะส่งสัญญาณ CS1 ให้ active เพื่อให้ port 1 ทำงาน แต่ถ้าวงจรถอดรหัสพบว่าสัญญาณ address ตรงกับ port 2 ก็จะทำให้สัญญาณ CS2 active เพื่อให้ port 2 ทำงาน แต่ถ้าสัญญาณ address ที่ส่งออกมาไม่ตรงกับ port ใดเลย port ทั้งสองนี้ก็จะไม่ทำงาน

การที่คอมพิวเตอร์ต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ I/O หรือ port คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณต่าง ๆ ออกมาดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



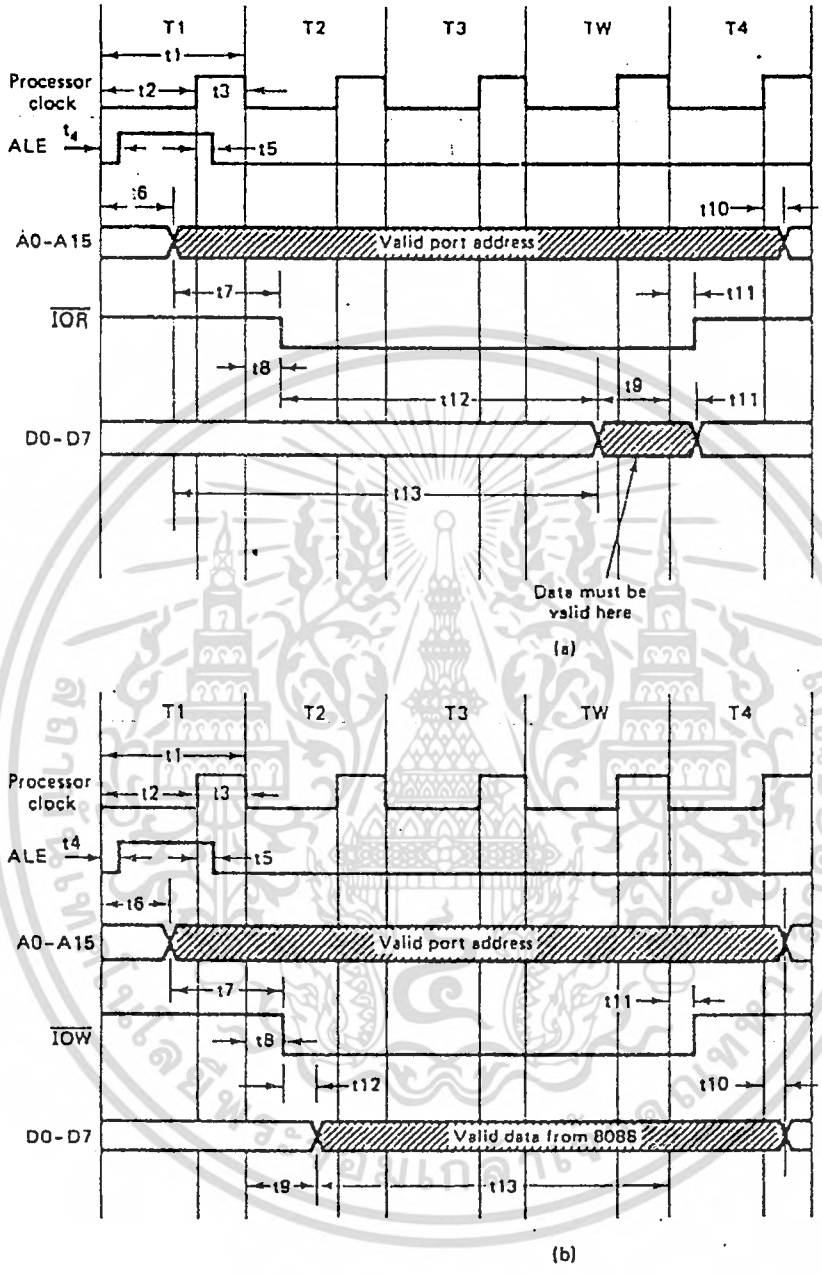
รูปที่ 2.24 แสดงระบบต่อเชื่อมต่อกับพอร์ต 2 พอร์ต

จากรูป 2.25 a) คือ cycle timing ในการอ่าน port input จะเห็นว่าในช่วงแรกของการอ่าน port CPU จะส่งสัญญาณ address ออกมา จากนั้นสัญญาณ IOR จะ active เพื่อบอกว่าต้องการจะอ่านข้อมูล เวลาต่อมา Data Bus ก็จะรับข้อมูลเข้า CPU สำหรับรูป 2.25 b) เป็น cycle timing ในการส่งข้อมูลออกไปที่ port ช่วงเวลาแรก CPU จะส่งสัญญาณ address ออกมา จากนั้นสัญญาณ IOW จะ active เพื่อที่จะเขียนข้อมูลจาก Data Bus ไปยัง port สัญญาณต่าง ๆ เหล่านี้เกิดได้จากการเขียนโปรแกรม เช่นถ้าเขียนโปรแกรมด้วยภาษา BASIC ถ้าต้องการส่งข้อมูลออกไปยัง port ก็จะใช้คำสั่ง

OUT address,data

เช่น OUT &H300,2 หมายความว่า ส่งข้อมูลมีค่าเป็น 2 ออกไปยัง port หมายเลข 300 H สัญญาณต่าง ๆ จะเป็นไปตามรูป 2.25 a) โดยขา address จะมีสัญญาณเป็น 300H

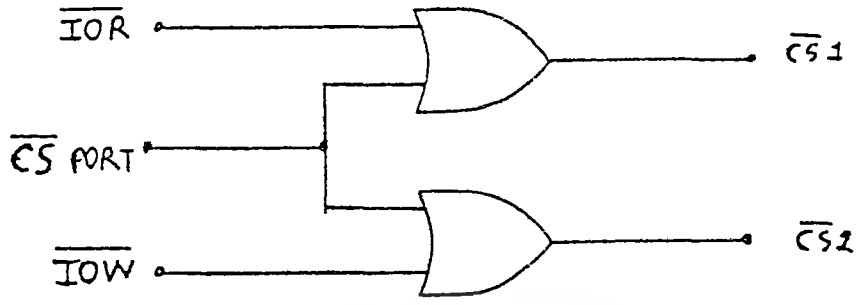
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงสัญญาณเวลาการติดต่อกับ port ของคอมพิวเตอร์

จากรูป 2.24 เราสามารถออกแบบให้ port input และ port output มีหมายเลขเดียวกันได้ แต่ให้ทำงานในเวลาต่างกัน วงจรถอดรหัสสำหรับ CS1 และ CS2 อาจออกแบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงระบบติดต่อกับพอร์ต 2 พอร์ต

โดยสัญญาณ CS นำมาจากวงจรถอดรหัสหมายเลข port เช่น ถอดรหัสไว้หมายเลข 300 ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลออกไปยัง port หมายเลข 300 สัญญาณ CS จะ active ขณะเดียวกันจากรูป 2.25 a) สัญญาณ IOR จะ active ด้วย ทำให้ CS1 active จึงอ่านข้อมูลเข้ามาได้

การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตนั้น จะต้องมีการจัดตำแหน่งพอร์ตที่ไม่ซ้ำซ้อนกัน แต่ละพอร์ตจะต้องมี address หรือหมายเลขพอร์ตที่แน่นอน ซึ่งใน IBM PC / XT จะใช้สัญญาณ address A0 - A9 ในการติดต่อกับพอร์ต สำหรับการ์ดและพอร์ตต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ จะมีหมายเลขพอร์ตดังตารางที่ 2.2

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่า ถ้า A9 เป็น 0 (พอร์ตหมายเลข 000H - 1FFH) จะเป็นการติดต่อกับพอร์ตบนเมนบอร์ต ดังนั้นถ้าจะออกแบบสร้างการ์ดจะต้องเลือกแอดเดรสของพอร์ตให้ A9 เป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงตำแหน่งของพอร์ตต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่อง IBM

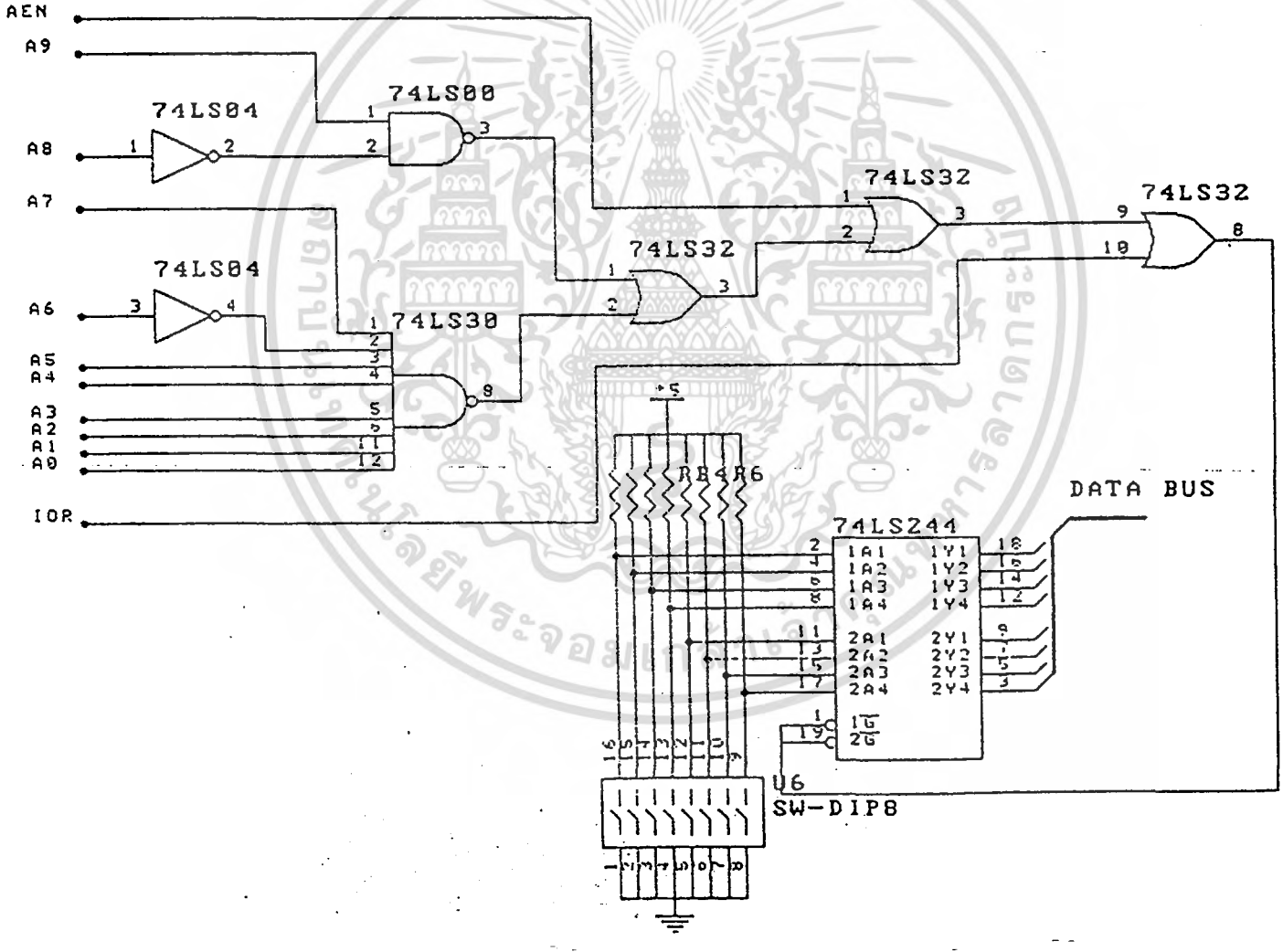
รหัสพอร์ต (HEX)	พอร์ตที่ใช้
000 - 00F	DMA chip 8253A - 5
020 -021	Interrupt 8259A
040 -043	Timer 8253 - 5
060 - 063	PPI 8255A - 5
080 -083	DMA page registers
0Ax	NMI mask register
0Cx	Reserved
0Ex	Reserved
100 - 1FF	Not usable
200 -20F	Game control
210 - 217	Expansion unit
220 - 24F	Reserved
278 -27F	Reserved
2F0 - 2F7	Reserved
2F8 - 2FF	Asynchronous communications(2)
300 - 31F	Prototype card
320 - 32F	Fixed disk
378 - 37F	Printer
380 - 3BC	SDLC communications
380 - 389	Binary synchronous communications(2)
3A0 - 3A9	Binary synchronous communications(1)
3B0 - 3BF	IBM monochrome display / printer
3C0 - 3CF	Reserved
3D0 - 3DF	Color / graphics
3E0 - 3F7	Reserved
3F0 - 3F7	Diskette
3F8 - 3FF	Asynchronous communications(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างพอร์ตรับข้อมูลแบบขนาน

ก่อนอื่นต้องออกแบบวงจรถอดรหัสหมายเลขพอร์ตก่อน ซึ่งจะต้องเป็นหมายเลขพอร์ตที่ว่าง สมมติว่าเลือกพอร์ตหมายเลข 2BF ดังนั้น สัญญาณ A0 - A9 จะต้องเป็นดังนี้

A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
2		B				F			



รูปที่ 2.27 วงจรถอดรหัสอ่านข้อมูลหมายเลข 2BFH

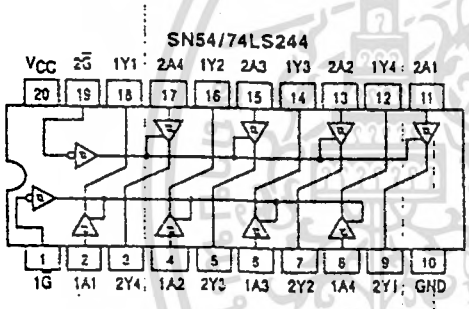
ขณะเดียวกัน ถ้า IBM PC ต้องการติดต่อกับพอร์ต I/O สัญญาณ AEN จะต้องเป็น 0 ดังนั้นวงจรถอดรหัสอาจออกแบบได้ดังรูปที่ 2.27 จาก cycle timinng ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านข้อมูลจากพอร์ตจะเห็นว่า ถ้า IBM PC ต้องการอ่านข้อมูลจากพอร์ต สัญญาณ IOR จะต้องเป็น 0 ดังนั้นจะต้องเอาสัญญาณ IOR มาร่วมถอดรหัสด้วย

สัญญาณที่ได้จากจุด A อาจเรียกได้ว่า สัญญาณอีนาเบิ้ล (enable) สำหรับไปอีนาเบิ้ลอุปกรณ์ที่ใช้เป็นอินพุตพอร์ตต่อไป

อุปกรณ์ที่จะสร้างเป็นอินพุตพอร์ตได้จะต้องใช้ IC ที่เป็นบัปเฟอร์ มีลอจิก 3 สถานะ โดยสัญญาณควบคุมพอร์ตอินพุตจะเป็นตัวเปิดเกต เพื่อนำข้อมูลเข้าสู่บัสข้อมูล และ CPU จะอ่านเข้าไปถ้าคอมพิวเตอร์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลเข้า เอาต์พุตของ IC จะต้องอยู่ในสถานะ Hi - Z ตัว IC ที่นิยมใช้เป็นพอร์ตรับข้อมูลได้แก่ เบอร์ 74LS244 ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้



SN54/74LS244

INPUTS		OUTPUT
1G, 2G	D	
L	L	L
L	H	H
H	X	(Z)

GUARANTEED OPERATING RANGES

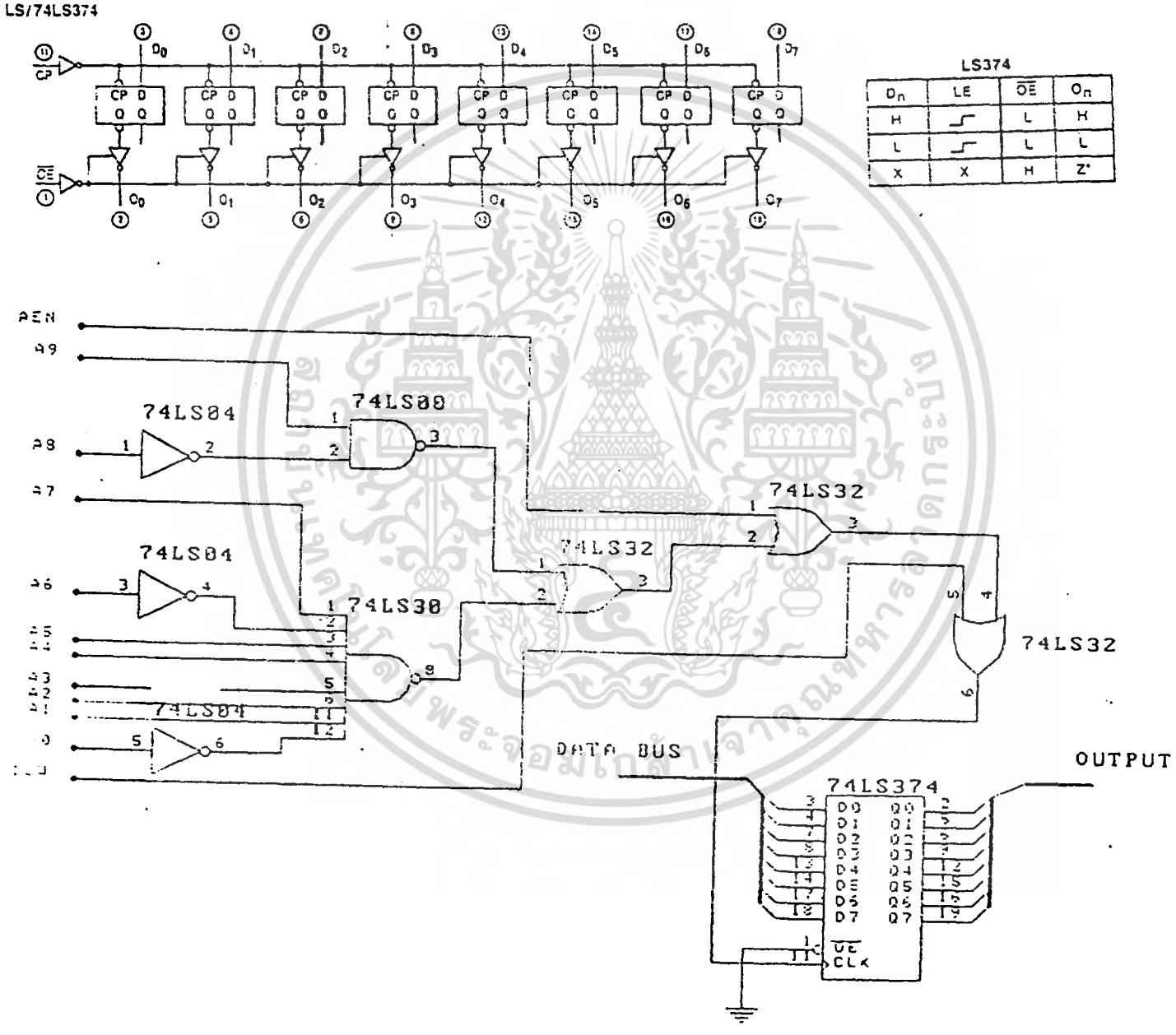
Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T_A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	−55 0	25 25	125 70	°C
I_{OH}	Output Current — High	54, 74			−3.0	mA
		54 74			−12 −15	mA
I_{OL}	Output Current — Low	54 74			12 24	mA

ถ้านำสัญญาณอีนาเบิ้ลมาต่อกับขา 1 และขา 19 ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการติดต่อกับพอร์ต 2BF สัญญาณอีนาเบิ้ลจะเป็น “0” ข้อมูลจากอินพุตจะถูกส่งเข้าบัสข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าเป็นลอจิก "1" (ไม่ต้องการติดต่อกับพอร์ต 2BF) ขาเอาต์พุตของ 74LS244 ซึ่งต่ออยู่กับบัสข้อมูลจะเป็น Hi - Z วงจรแสดงได้ดังรูปซึ่งจะรับข้อมูลจากดิปสวิตช์

การสร้างพอร์ตขนานสำหรับส่งข้อมูลออก



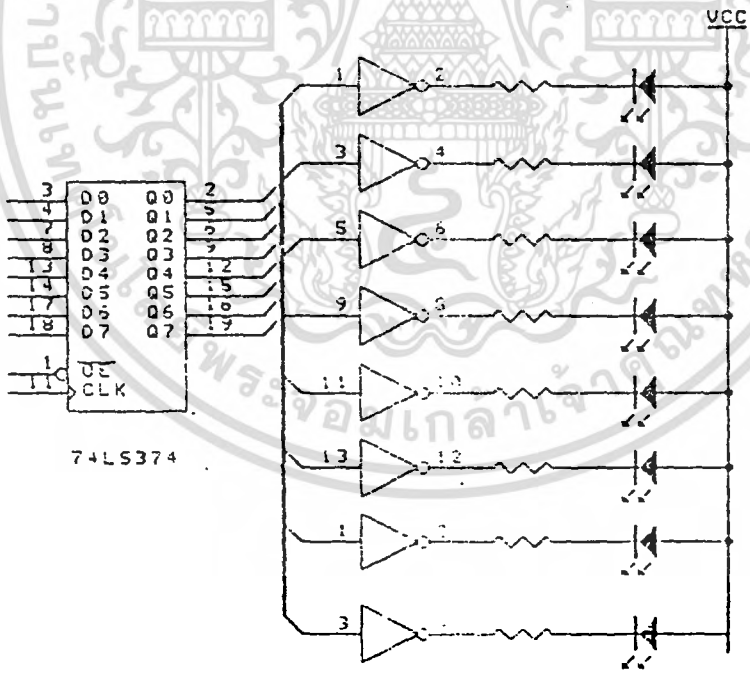
รูปที่ 2.28 แสดงพอร์ตส่งข้อมูลหมายเลข 2BEH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะคล้ายกับการสร้างพอร์ตรับข้อมูล คือจะต้องมีวงจรถอดรหัสหมายเลขพอร์ต จากนั้นมาถอดรหัสร่วมกับสัญญาณ IOW เพื่อเป็นวงจรอีนาเบิ้ลต่อไป สำหรับการเลือกใช้ IC สำหรับเอาต์พุตพอร์ต จะต้องใช้ IC ที่สามารถ LATCH ข้อมูลได้ เนื่องจากคอมพิวเตอร์ทำงานเร็วมาก เอาต์พุตจะต้องคงค่าข้อมูลไว้ชั่วขณะให้อุปกรณ์ภายนอกสามารถรับข้อมูลได้ทัน IC ที่นิยมใช้ได้แก่เบอร์ 74LS373, 74LS374 เป็นต้น ซึ่งเป็น IC D-TYPE FLIP-FLOPS 8 ตัวในชิพเดียว การทำงานและขาของ 74LS374 เป็นดังนี้

ในที่นี้จะถอดรหัสสำหรับเอาต์พุตพอร์ตเป็นหมายเลข 2BE ซึ่งสัญญาณ A0 - A9 จะต้องเป็นดังตารางข้างล่างนี้ วงจรสำหรับเอาต์พุตพอร์ตหมายเลข 2BE อาจเขียนได้ดังรูป 2.28

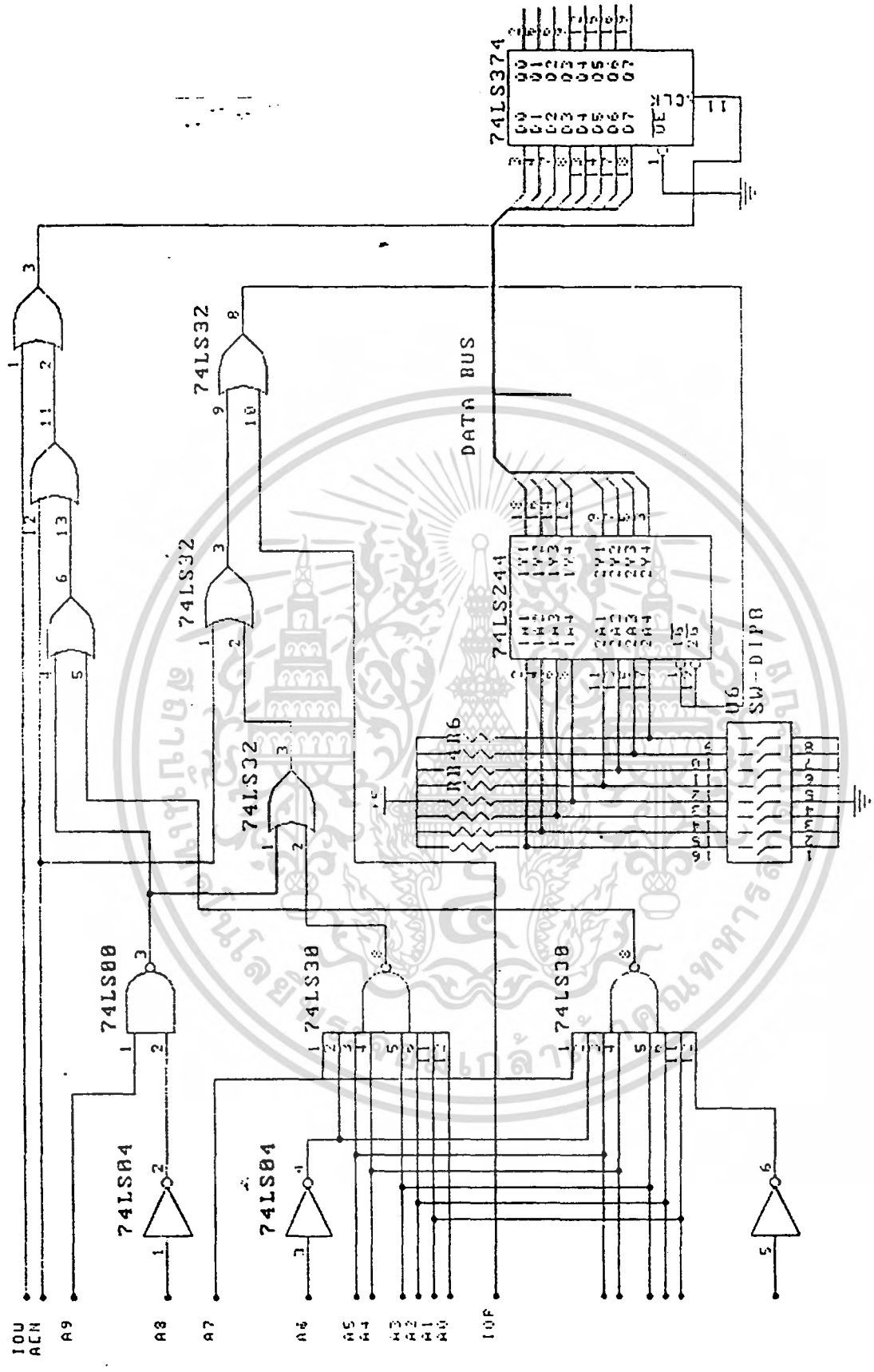
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
1	0	1	0	1	1	1	1	1	0
2		B				E			



รูปที่ 2.29 แสดงการต่อหลอด LED กับพอร์ต

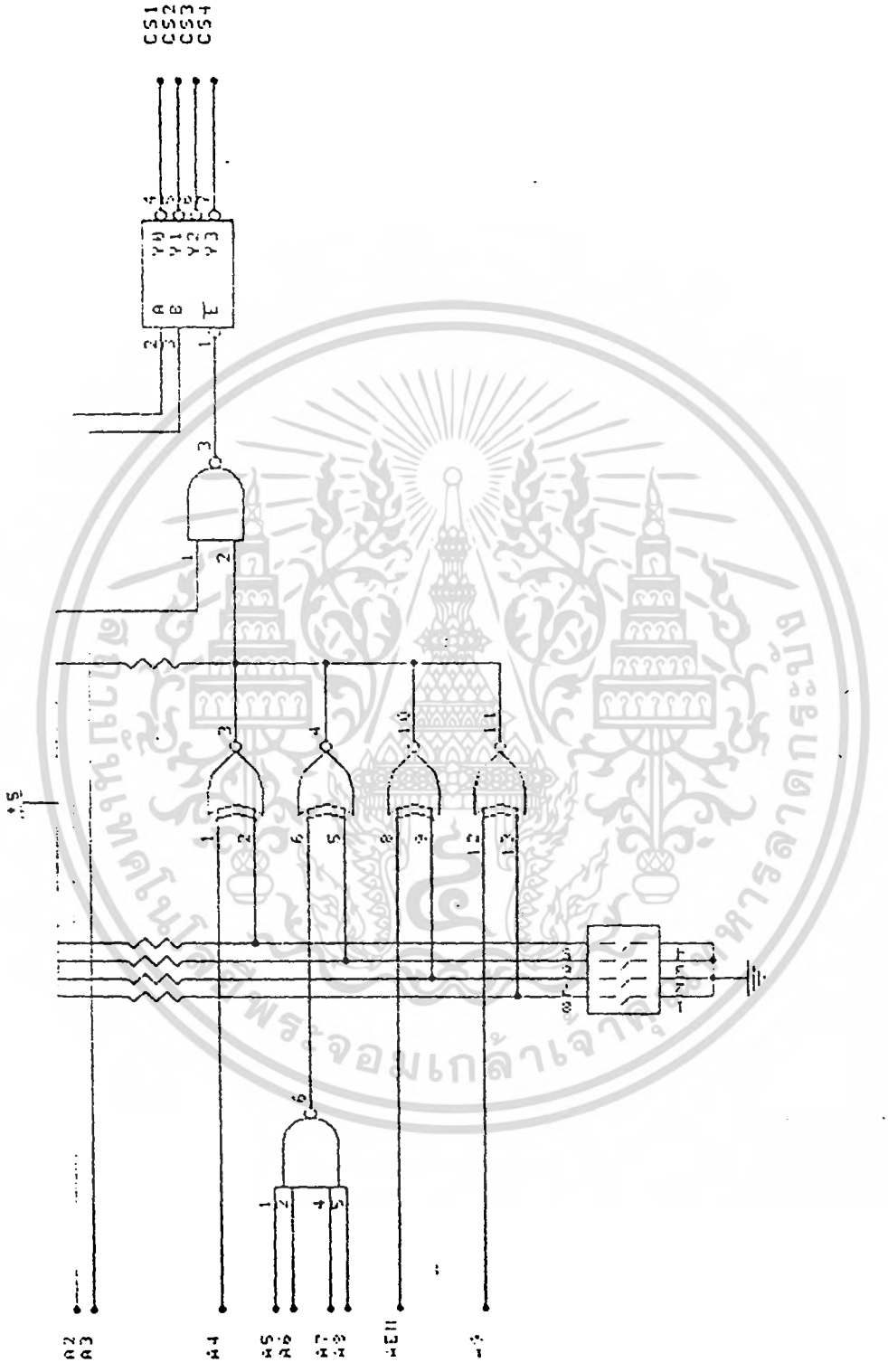
ถ้าต้องการส่งข้อมูลมาแสดงผลที่ LED สามารถต่อจาก 74LS374 ได้ดังรูปที่ 2.29 เนื่องจาก LED ต้องการกระแสไหลผ่านตัวมันประมาณ 20 mA จึงต้องใช้ IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แสดงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยพอร์ตรับและส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 การถอดรหัสโดยใช้ดิฟสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

74LS06 มารับค่ากระแสซึ่ง IC ตัวนี้จะมีเอาต์พุตเป็นแบบ OC (open collector) ซึ่งสามารถรับกระแสเข้าได้มาก

เราสมมติให้ IBM PC รับข้อมูลจากอินพุตพอร์ตซึ่งเป็นดิฟสวิตช์ และส่งข้อมูลออกทางเอาต์พุตพอร์ตคือ LED จะสามารถเขียนวงจรได้ดังรูปที่ 2.30

การถอดรหัสพอร์ตแบบอื่น ๆ

จากที่ผ่านมาจะเห็นว่าถ้าเราถอดรหัสเบอร์ 2BF หรือ 2BE ถือว่าเป็นการถอดรหัสแบบ Fixed ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนหมายเลขพอร์ตเป็นหมายเลขอื่นได้ ถ้าคอมพิวเตอร์มีแผงวงจรอื่นที่สร้างไว้เลือกใช้พอร์ตเบอร์ 2BF ด้วยจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น เพราะหมายเลขพอร์ตซ้ำกัน ดังนั้นการออกแบบวงจรถอดรหัสที่ดีจะต้องสามารถเลือกได้ว่าต้องการเลือกใช้พอร์ตหมายเลขใด โดยทั่วไปนิยมใช้ดิฟสวิทช์ (Dip-Switch) เป็นตัวเลือกและถ้าต้องการได้จำนวนพอร์ตเพิ่มจะใช้ IC ถอดรหัสร่วมด้วยซึ่งอาจออกแบบวงจรได้ดังรูป 2.31

2.8.4 การออกแบบสร้างวงจรถอดรหัส

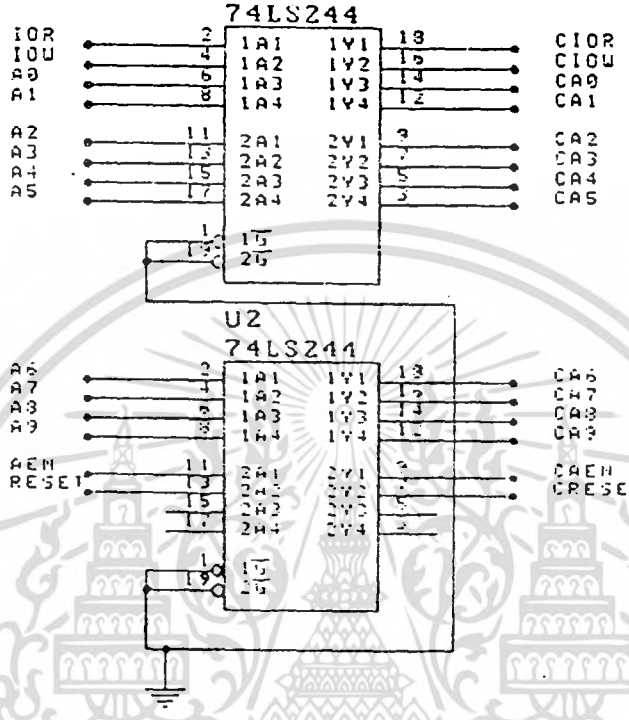
หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างวงจรถอดรหัสสำหรับพอร์ตหลาย ๆ พอร์ต

การเพิ่มบัฟเฟอร์ในระบบบัส

โดยปกติแล้วสัญญาณต่าง ๆ ที่ออกจาก system bus จะอยู่ในระดับแรงดัน TTL ซึ่งเอาต์พุตของ TTL จะต่อกับอินพุตของ TTL ได้จำนวนจำกัด ถ้าขับ TTL โดยตรงหลายเกตขนานกันจะสร้างปัญหาในเรื่องความไม่พอในการโหลด ซึ่งอาจทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานผิดพลาด ในการออกแบบระบบเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์ ถ้าต้องการเชื่อมต่อกับพอร์ตหลายพอร์ตจะต้องใช้บัฟเฟอร์ช่วย สำหรับสัญญาณที่ออกจากคอมพิวเตอร์เช่น A0 - A9, IOR, IOW, AEN, RESET ควรใช้บัฟเฟอร์แบบเกตทิศทางเดียว ในที่นี้ขอแนะนำเบอร์ 74LS244 โดยหนึ่งชิพจะมีบัฟเฟอร์ 8 ตัว โดยต่อวงจรดัง

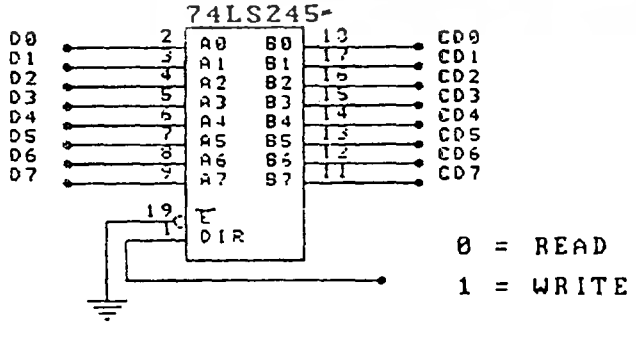
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังรูปที่ 2.32 โดยสัญญาณต่าง ๆ ที่ผ่านบัฟเฟอร์แล้วจะเขียนตัว C กำกับไว้ข้างหน้า



รูปที่ 2.32 แสดงการใช้บัฟเฟอร์ในการช่วยขับสัญญาณ

สำหรับบัฟเฟอร์ของบัสข้อมูล เนื่องจากบัสข้อมูลจะมีทิศทางเข้าและออกจากคอมพิวเตอร์ จึงต้องกำหนดทิศทางของบัสข้อมูลด้วย เพื่อจะได้ไม่มีผลต่ออุปกรณ์อื่น ๆ ดังนั้นบัฟเฟอร์ที่ใช้จะต้องเป็นบัฟเฟอร์แบบ 2 ทิศทาง ในที่นี้ขอแนะนำ IC เบอร์ 74 LS245 โดยกำหนดทิศทางของข้อมูลได้โดยลอจิกที่ขา 1 ดังวงจรตามรูปที่ 2.33 ถ้าเป็น



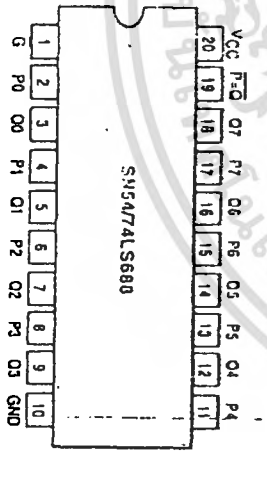
รูปที่ 2.33 การใช้บัฟเฟอร์สองทางในการขับบัสข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ห้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอจิก 0 จะเป็นการอ่านข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ แต่ถ้าเป็นลอจิก 1 จะเป็นการส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์

วงจรถอดรหัส

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วการถอดรหัสจะต้องใช้สัญญาณบัสแอดเดรส A0 - A9 มาถอดรหัส และรหัสพอร์ตที่ได้ต้องเป็นพอร์ตที่ไม่ได้ถูกใช้งาน ในที่นี้จะใช้การถอดรหัสพอร์ตโดย ดิฟสวิทซ์ ร่วมกับ IC เบอร์ 74LS688 โดย IC เบอร์นี้เป็น IC เปรียบเทียบสัญญาณ โดยจะให้ลอจิกที่ขา 19 เป็น 0 ถ้าสัญญาณอินพุตทั้งสองชุดตรงกัน การทำงานของ 74LS688 และวงจรถอดรหัสแสดงได้ดังรูปที่ 2.34 และ 2.35 ตามลำดับ โดยใช้สัญญาณ A4 - A9 เทียบกับดิฟสวิทซ์ จากนั้นนำสัญญาณจากขา 19 ของ 74 LS688 มาถอดรหัสร่วมกับ 74LS139 โดยใช้สัญญาณ A2 และ A3 ร่วมด้วย ซึ่ง 74 LS139 เป็น IC ถอดรหัสเข้า 2 ออก 4 การทำงานของ 74LS139 แสดงดังตารางที่ 2.3



FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUTS	
DATA	ENABLES			
P, Q	$\overline{G}$, $\overline{GT}$	$\overline{G2}$	$\overline{P=Q}$	$\overline{P>C}$
P = Q	L	L	L	H
P > Q	L	L	H	L
P < Q	L	L	H	H
X	H	H	H	H

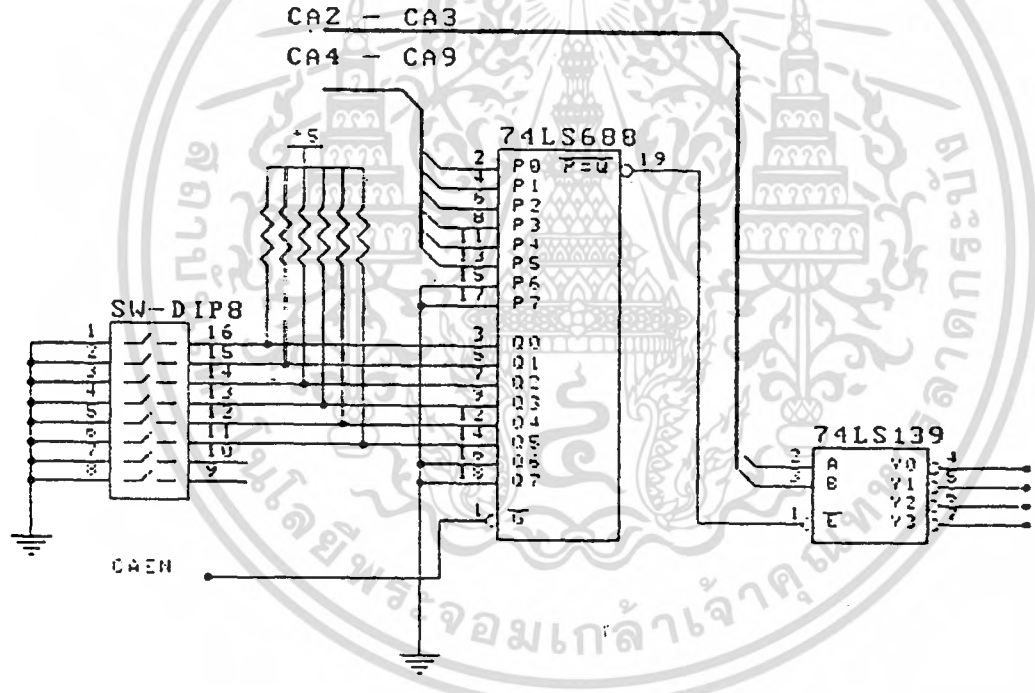
TYPE	$\overline{P=Q}$	$\overline{P>Q}$	OUTPUT ENABLE	OUTPUT CONFIGURATION	PULLUP
LS682	yes	yes	no	totem-pole	yes
LS684	yes	yes	no	totem-pole	no
LS688	yes	no	yes	totem-pole	no

รูปที่ 2.34 แสดง IC เบอร์ 74LS688

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงการทำงานของ IC เบอร์ 74LS139

INPUT			OUTPUT			
G	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3
H	X	X	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H
L	H	L	H	H	L	H
L	H	H	H	H	H	L



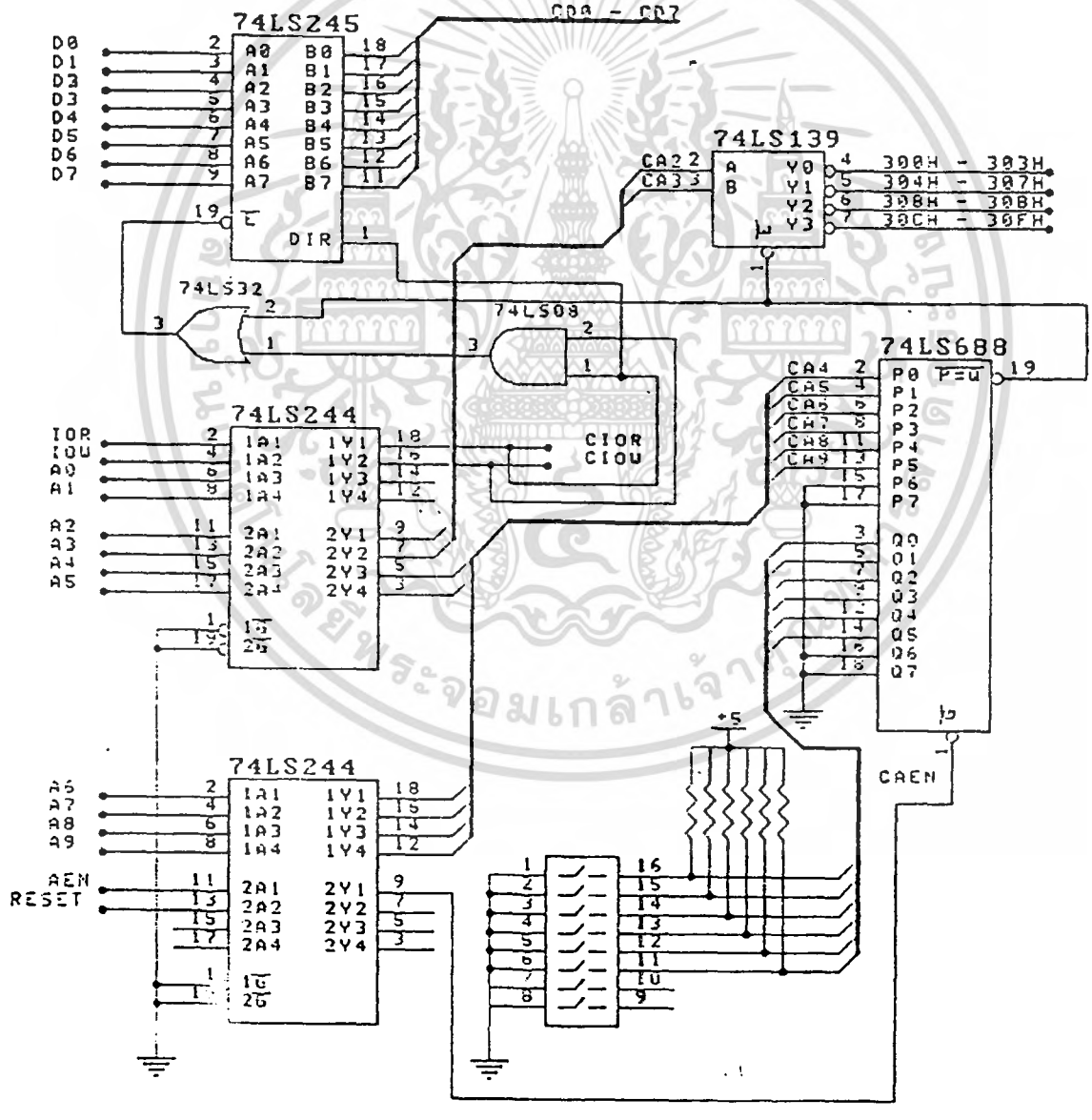
รูปที่ 2.35 แสดงวงจรถอดรหัสพอร์ต โดยทำงานที่พอร์ต 300H - 30FH

วงจรถอดรหัสแสดงได้ดังรูปที่ 2.34 ซึ่งใช้สัญญาณ A2 - A9 และสัญญาณ AEN ร่วมถอดรหัสโดยไม่สนใจ A0 และ A1 ถ้า ON สวิทช์ต่าง ๆ ให้มีสัญญาณตรงกับขา 3, 5, 7, 9 ของ 74LS688 เราจะได้รหัสพอร์ตที่ออกจากขาของ 74LS139 เป็นลอจิก 0 ที่ขาต่าง ๆ และมีหมายเลขพอร์ตดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงการทำงานของวงจรถอดรหัสพอร์ต

A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	หมายเลขพอร์ต	ขาที่แอคทีฟ
H	H	L	L	L	L	L	L	X	X	300H-303H	Y0
H	H	L	L	L	L	L	H	X	X	304H-307H	Y1
H	H	L	L	L	L	H	L	X	X	308H-30BH	Y2
H	H	L	L	L	L	H	H	X	X	30CH-30FH	Y3



รูปที่ 2.36 แสดงวงจรถอดรหัสที่สร้างขึ้น

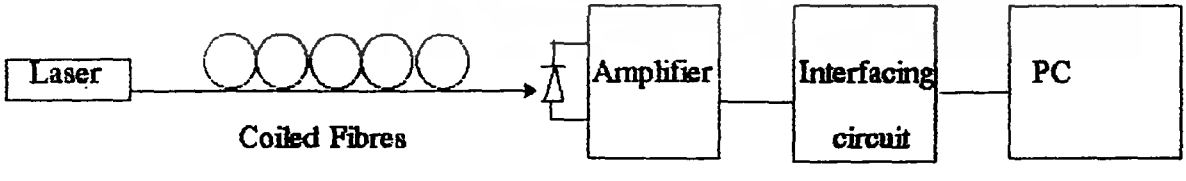
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถอดรหัสสำหรับสร้างบน Prototype Board แสดงได้ดังรูปที่ 2.35 โดยถอดรหัสเป็นหมายเลข 300H ถึง 30FH โดยสัญญาณจากขา 4, 5, 6, 7 ของ 74LS139 จะใช้เป็นวงจรอีนาเบิ้ลไอซีที่นำมาสร้างเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุต การทำงานของวงจรเป็นดังรูปที่ 2.36

จาก I/O read-bus cycle ดังรูป ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก จะส่งสัญญาณ A0 - A15 ออกมา และสัญญาณ AEN จะเป็นลอจิก 0 และถ้าสัญญาณ A4 - A9 ตรงกับสัญญาณที่กำหนดจากดิพสวิทช์ จะทำให้ขา 19 ของ 74LS688 เป็นลอจิก 0 ซึ่งจะทำให้ IC เบอร์ 74LS139 ทำงานได้ และเวลาต่อมา IOR จะเป็นลอจิก 0 ซึ่งจะทำให้ขา 1 ของ 74LS245 เป็นลอจิก 0 จะทำให้คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเข้าคอมพิวเตอร์ได้ ทำนองเดียวกันจาก I/O write-bus cycle ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ภายนอก และสัญญาณ Address จะทำให้ขา 19 ของ 74LS688 เป็นลอจิก 0 จากนั้นเวลาต่อมา IOW จะเป็นลอจิก 0 แต่ IOR เป็นลอจิก 1 จะทำให้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกได้

2.4 ระบบการตรวจวัดสัญญาณการหายใจ

จากที่เราได้ทราบว่า เมื่อมีการหายใจเข้าและออก จะทำให้ปริมาณตรงหน้าอกและท้องเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งบริเวณหน้าอกและท้องเป็นบริเวณที่จะทำการตรวจวัดอัตราการหายใจ โดย sensors ที่จะทำการตรวจวัดจะใช้เป็นเส้นใยนำแสง และจะทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงในขณะเกิดการหายใจ

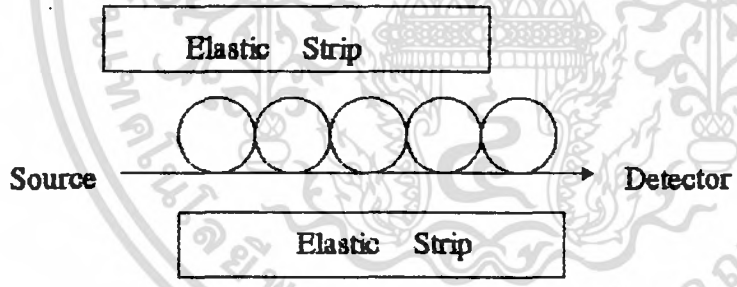


รูปที่ 2.37 รูปแบบการจัดอุปกรณ์และระบบทั้งหมดของเครื่องมือวัดอัตราการหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.37 เป็นชุดอุปกรณ์เริ่มแรกที่ใช้ในโครงงานนี้ โดยเริ่มจากแหล่งกำเนิดแสง (source) ซึ่งขั้นการทดลองจะใช้เลเซอร์ (laser) และทำการ launch แสงเลเซอร์นี้เข้าไปในเส้นใยนำแสง โดยที่เส้นใยนำแสงจะทำการขดให้มีลักษณะดังรูป และนำไปพันรอบบริเวณอกของผู้ที่ต้องการวัดอัตราการหายใจ ซึ่งในขณะหายใจจะทำให้ปริมาตรบริเวณหน้าอกและท้องเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาตรเปลี่ยนแปลง เส้นใยนำแสงที่พันอยู่รอบบริเวณอกก็เกิดการยืดและหดตัว ทำให้ความเข้มของแสงภายในเส้นใยนำแสงเกิดการเปลี่ยนแปลง และทำให้สัญญาณที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะของการหายใจ

เส้นใยนำแสงที่จะนำไปพันรอบบริเวณอกคนไข้ จะถูกหุ้มด้วยผ้ายืดดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 รูปแบบการประกอบ sensors ที่ใช้ในการพันรอบอกคนไข้

จากที่ได้ทำการทดลองพบว่า ถ้าจำนวนขดยิ่งมีมากและเส้นผ่านศูนย์กลางของขดเส้นใยนำแสงเล็ก จะทำให้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจพบ เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สรุป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเป็นทฤษฎีเบื้องต้นที่จำเป็นต้องใช้ในการทำโครงงานพิเศษชิ้นนี้ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีการหายใจและการทำงานของปอด หลักการของเส้นใยนำแสง และทฤษฎีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ โดยทฤษฎีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งได้เป็น ทฤษฎีทางด้านวงจรขยายสำหรับออปแอมป์ A/D ระบบการเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์ และการออกแบบสร้างวงจรถอดรหัส ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้เป็นความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต้องทราบก่อนที่จะลงมือปฏิบัติ ในบทต่อไปเราจะกล่าวถึง การดำเนินการของระบบ และการทดลองต่าง ๆ รวมทั้งการเลือกอุปกรณ์และวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการและการออกแบบเครื่องมือ

ในบทนี้จะกล่างถึงการออกแบบและสร้างเครื่องมือหรือชิ้นงานจริง โดยจะเริ่มตั้งแต่ แหล่งกำเนิดแสง (source) , เส้นใยนำแสง (optical fiber) , ตัวตรวจวัดความเข้มแสง (photodetector) , วงจรขยายโดยใช้ออปแอมป์ (amplifier) , ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล (analog to digital converter) , วงจรถอดรหัส (decoder) และการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผล

3.1 แหล่งกำเนิดแสง (SOURCE)

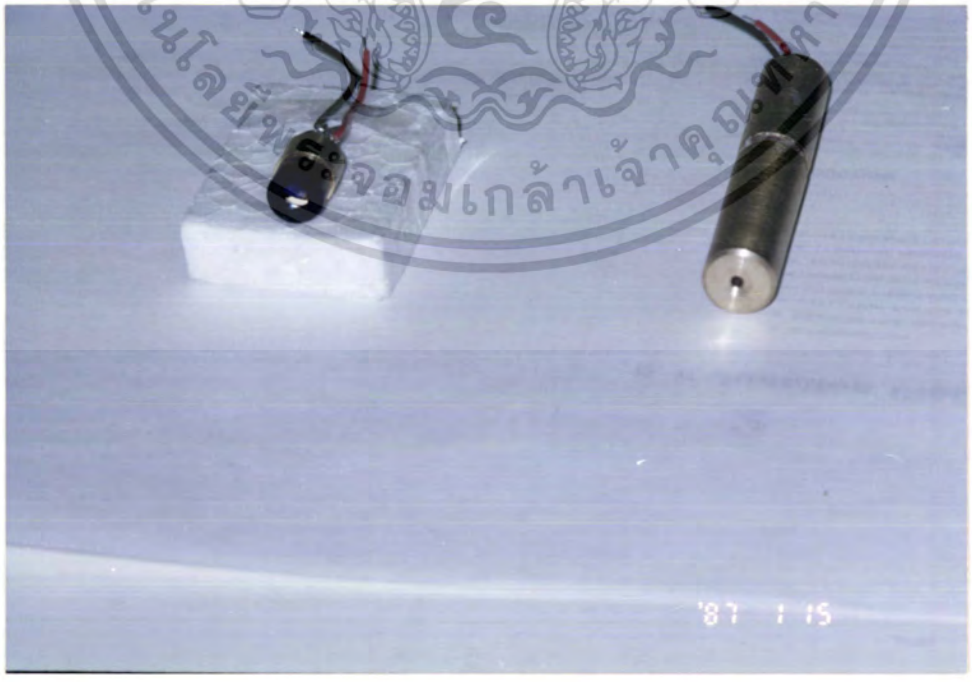
ในโครงงานนี้ในขั้นการทดลองเราได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็น ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์ (He - Ne Laser) ตามรูปที่ 3.1 ซึ่งมีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร และมีกำลัง 0.95 มิลลิวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดสำหรับการ launch แสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง ซึ่งพบว่าแสงที่ได้มีความเข้มต่ำ ซึ่งทำให้สัญญาณที่ได้มีค่าต่ำไปด้วย และเนื่องจากฮีเลียม - นีออน เลเซอร์มีขนาดใหญ่พกพาไปไหนมาไหนลำบากจึงไม่เหมาะกับโครงงานพิเศษนี้ โดยต่อมาเราได้ทำการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเป็น เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) ตามรูปที่ 3.2 ซึ่งมีความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร และกำลัง 5 มิลลิวัตต์ นำมาทำการทดลองพบว่า สัญญาณที่ได้มีค่าสูงเพียงพอ รวมทั้งเลเซอร์ไดโอดมีขนาดเล็กเหมาะแก่การใช้นอกสถานที่ได้ รายละเอียดของเลเซอร์ไดโอดดูได้จากภาคผนวก

3.2 เส้นใยนำแสง (OPTICAL FIBER)

เราได้ทำการทดลองกับเส้นใยนำแสง 3 ชนิด คือ เส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (single mode fiber) เส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมด (multimode fiber) ซึ่งเส้นใยนำแสงสองชนิดแรกเป็นแบบซิลิกา (แก้ว) และเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก (plastic fiber) ซึ่งเป็นชนิดหลายโหมดเช่นกัน โดยได้ทดลองทำการ launch แสงผ่านเส้นใยนำแสงทั้ง 3 ชนิด และสังเกตุแสงที่ผ่านออกมาได้ดังรูปที่ 3.3

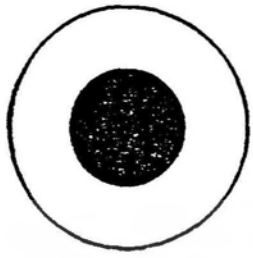
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์



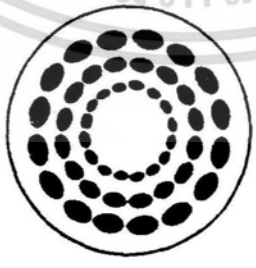
รูปที่ 3.2 เลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 3.3 แสดงแสงที่ผ่านออกมาจากเส้นใยนำแสง

(ก) จากชนิดโหมดเดียว (ข) จากชนิดหลายโหมด (ค) จากชนิดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับการ launch แสง
และสังเกตแสงที่ผ่านออกมาจากเส้นใยนำแสง

จากการทดลองและรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ความเข้มแสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกจะมีความเข้มมากที่สุด รองลงมาจะเป็นเส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมด และสุดท้ายที่มีความเข้มแสงน้อยที่สุดคือ แสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดียว ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางและมุมในการรับแสงของเส้นใยนำแสง พลาสติกที่ใช้หุ้มแกนกลางของเส้นใยนำแสง

โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนำแสง ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะยอมให้แสงสามารถผ่านเข้าตัวกลางเส้นใยนำแสงได้มากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับว่า ถ้าเส้นใยนำแสงมีขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลางมีค่ามากแสงก็จะสามารถผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ง่ายกว่า เส้นใยนำแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า ซึ่งเมื่อเรียงลำดับเส้นผ่านศูย์กลางของเส้นใยนำแสงจากมากไปหาน้อยก็คือ เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด รองลงมาเป็นชนิดหลายโหมด และเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุดจะเป็นเส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดียว จะเห็นว่าตรงกันกับความเข้นแสงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ออกมาจากเส้นใยนำแสงที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นเมื่อความเข้มที่ได้มีค่ามากก็จะทำให้ได้สัญญาณมากด้วย ดังนั้นเราจึงได้เลือกเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมาใช้ในโครงงานของเรา

รูปที่ 3.5 การขดเส้นใยนำแสงในลักษณะวงกลม

เทคนิคการขดเส้นใยนำแสง

จากการทดลองในช่วงแรก เราได้ทำการขดเส้นใยนำแสงในลักษณะเป็นวงกลมตามรูปที่ 3.5 พบว่าเมื่อทำการขยับสายเส้นใยนำแสง ก็จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเล็กน้อย

เมื่อลองทำการวัดการหายใจโดยนำมาพันบริเวณท้อง พบว่าสัญญาณการเปลี่ยนแปลงที่ได้มีค่าน้อย ดังนั้นจึงได้มีวิธีการคิดการขดเส้นใยนำแสงแบบใหม่ขึ้น เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณชัดเจนยิ่งกว่าเดิม โดยทำการเพิ่มการขดงอให้มากขึ้น เพื่อว่าเวลาทำการวัดอัตราการหายใจเมื่อเส้นใยนำแสงเกิดการขยายตัวหรือหดตัว จะทำให้แสงบริเวณที่เกิดการโค้งงอของเส้นใยนำแสงเดิมที่มีมุมตกกระทบเกือบจะน้อยกว่ามุมวิกฤตให้มีค่ามุมตกกระทบมีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤต เมื่อมีการกระตุ้นจากภายนอกเล็กน้อย ซึ่งก็จะทำให้แสงนั้นเกิดการสูญเสียและเห็นการเปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น แต่ข้อควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระวังก็คือ อย่าทำการโค้งงอหรือหักเส้นใยนำแสงมากเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดการแตกหักหรือเสียหายได้ ซึ่งการขดในรูปแบบใหม่นี้ให้จุดของการโค้งงอมีมากกว่าเดิม แสดงดังในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 การขดเส้นใยนำแสงที่ใช้ในโครงงาน

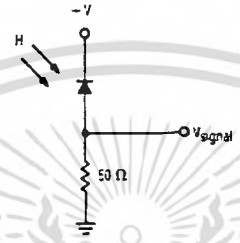
เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะการขดของทั้งสองรูปแบบพบว่า ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (sensitivity) ของการขดแบบที่สองดีกว่าแบบแรก คือ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ชัดเจนขึ้นกว่า และไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่า เราจึงได้ทำการตัดสินใจเลือกการขดเส้นใยนำแสงชนิดที่สองนี้มาใช้กับเครื่องมือของเรา

3.3 ตัวตรวจวัดความเข้มแสง (PHOTODETECTOR)

เนื่องจากจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนจาก สัญญาณแสงที่ได้ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังนั้นเราจึงต้องใช้ ตัวเปลี่ยนสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า เรียกว่า Photodetector โดยปกติแล้ว Photodetector ที่ใช้ จะเป็น Phototransistor แต่เนื่องจากอุปกรณ์จำพวก Phototransistor หาซื้อตามท้องตลาดได้ยาก และยากต่อการทำตัวเชื่อมต่อเข้ากับเส้นใย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแสงของเรา จึงได้เปลี่ยนมาใช้เป็น Photodiode ซึ่งในโครงงานนี้ได้ใช้ Photodiode เบอร์ MRD 500 ซึ่งหาซื้อได้ทั่วไป (ดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก) โดยหลักการก็คือ ว่า เมื่อมีแสงตกกระทบเข้ามาที่ Photodiode ก็จะทำการนำกระแสให้กระแสไหลผ่านตัวมันได้ โดยทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.7

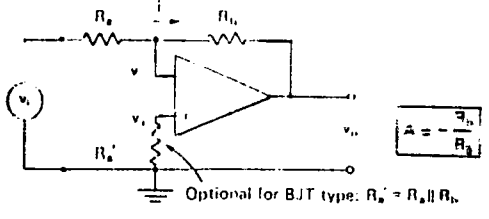


รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรของ Photodiode

3.4 วงจรขยายโดยใช้ออปแอมป์ (AMPLIFIER)

วงจรขยายที่ใช้ออปแอมป์โดยทั่วไปจะมี 4 ลักษณะด้วยกัน คือ วงจรขยายชนิดกลับเฟส (Inverting Amplifier) , วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) , วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) และ Instrumentation Amplifier โดยการใช้งานในแต่ละลักษณะก็มีแตกต่างกันไปดังนี้

Inverting Amp. มักจะใช้กับความต้านทานของแหล่งกำเนิด (source resistance, R_s) ที่มีค่าต่ำ ๆ โดยปกติแล้ววงจรขยายโดยทั่วไปมักจะต้องให้ความต้านทานอินพุต (input resistance, R_{in}) ของวงจรขยายมีค่ามากกว่า 1000 เท่าของ R_s เพื่อให้ voltage ที่เข้ามามีค่าตกคร่อม R_{in} ให้มากที่สุด

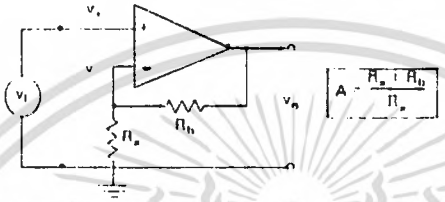


รูปที่ 3.8 วงจร Inverting Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

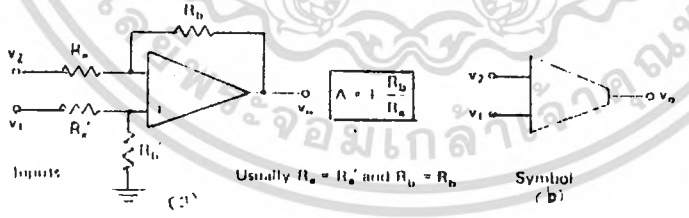
โดยที่ข้อเสียของ inverting amplifier ก็คือ input impedance จะมีค่าต่ำ ซึ่งอาจจะมีปัญหาเกิดขึ้นเมื่อต่อกับความต้านทานของแหล่งกำเนิดที่มีค่ามาก

Noninverting Amp. มักจะไม่มีปัญหากับการจำกัดของความต้านทานของแหล่งกำเนิด เพราะข้อเด่นของวงจรขยายชนิดนี้ก็คือ มีค่า input impedance สูงมาก



รูปที่ 3.9 วงจร Noninverting Amplifier

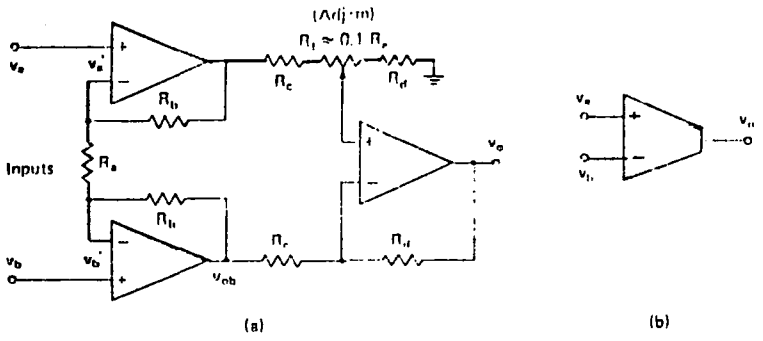
Differential Amp. เป็นวงจรสำหรับขยายความแตกต่างระหว่างอินพุตที่เข้ามาสองทาง ข้อดีของวงจรนี้ก็คือ มีค่า CMRR (Common - Mode Rejection Ratio) สูง แต่จะมีข้อเสียคือ มีค่า input impedance ต่ำมาก



รูปที่ 3.10 Differential Amplifier a) วงจร b) สัญลักษณ์

Instrumentation Amp. เป็น Differential Amp. ที่ได้รับการปรับปรุงชนิดหนึ่งที่มีการขยายความแตกต่างของสัญญาณอินพุต โดยอัตราขยายจะถูกกำหนดให้คงที่ ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัวตามรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



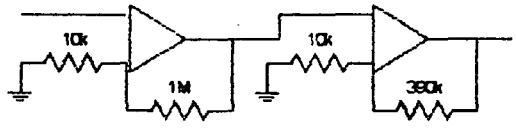
รูปที่ 3.11 Instrumentation Amplifier a) วงจร b) สัญลักษณ์

โดยจะมีลักษณะเด่น ๆ คือ 1) มี input impedance สูง 2) มีค่า CMRR สูง 3) มีค่าอัตราขยายสูงและมีความแน่นอน

เนื่องจากโครงงานนี้เราไม่ต้องการขยายความแตกต่างของสัญญาณอินพุต เพราะเรามีอินพุตเข้ามาเพียงสัญญาณเดียว และเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการ match ของ impedance เราจึงได้ทำการเลือกการต่อวงจรแบบวงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) โดยได้ทำการเลือกออปแอมป์เบอร์ ICL7650 Chopper - Stabililized Operational Amplifier โดยคำว่า "Chopper - Stabilized" หมายถึงเป็นการขยายสัญญาณโดยทำการชอยสัญญาณ DC ให้เป็น AC แล้วทำการขยายสัญญาณ AC ขึ้นมาแล้วแปลงกลับมาเป็นสัญญาณ DC มาให้ที่เอาต์พุตอีกทีหนึ่ง การทำเช่นนี้จะสามารถลดค่า offset voltage ได้มาก เนื่องจากขณะทำการขยายสัญญาณ AC จะไม่ทำการขยาย offset voltage เข้าไปด้วย เนื่องจากถูกตัวเก็บประจุภายในวงจรกั้นไว้ ทำให้ออปแอมป์ชนิดนี้มีค่า offset voltage ต่ำมาก

วงจรขยายของโครงงานนี้ จะทำการขยาย 2 ภาคด้วยกัน คือ ในภาคแรกจะทำการขยาย 100 เท่า และภาคที่สองขยาย 39 เท่า ซึ่งรวมทั้งหมดวงจรนี้จะทำการขยาย 3900 เท่า ที่ต้องขยายสูงขนาดนี้เนื่องจากสัญญาณที่ได้จาก Photodetector มีค่าต่ำมาก ไม่สามารถทำการเชื่อมต่อกับ ADC ได้ และถึงแม้ว่าจะต่อเข้ากับ ADC ได้โดยที่ไม่มีการขยาย สัญญาณที่แปลงออกมาเป็นดิจิตอลก็จะมีความละเอียดน้อย และมีโอกาสถูกรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้สูง โดยวงจรของวงจรขยายได้แสดงดังรูปที่ 3.12

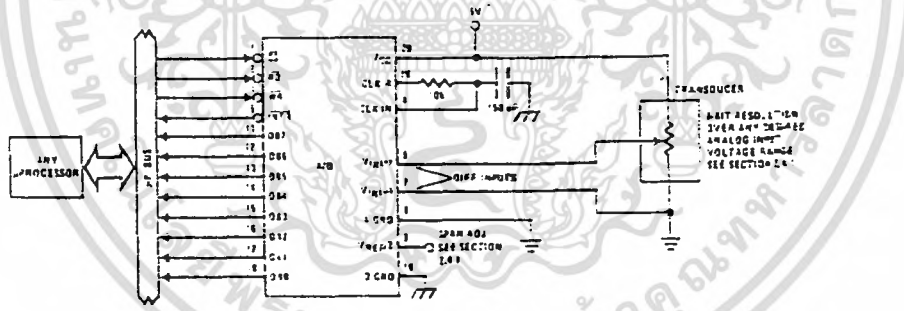
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรขยายที่ใช้ในโครงงาน

3.5 ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Convertor)

จากที่กล่าวถึง ชนิดและข้อดีข้อเสียต่างๆของ A/D มาแล้วในบทที่สอง ในหัวข้อนี้เราได้เลือก A/D เบอร์ 0804 มาใช้ในโครงงานพิเศษนี้ โดยที่ A/D เบอร์ 0804 เป็นชนิด successive approximation converter (ดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก) เป็น A/D ชนิด 8 บิท มีความเร็วและความละเอียดปานกลาง ราคาถูก สามารถซื้อหาได้ง่าย เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการความละเอียด และความเร็วมากนัก ลักษณะขาสัญญาณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.13



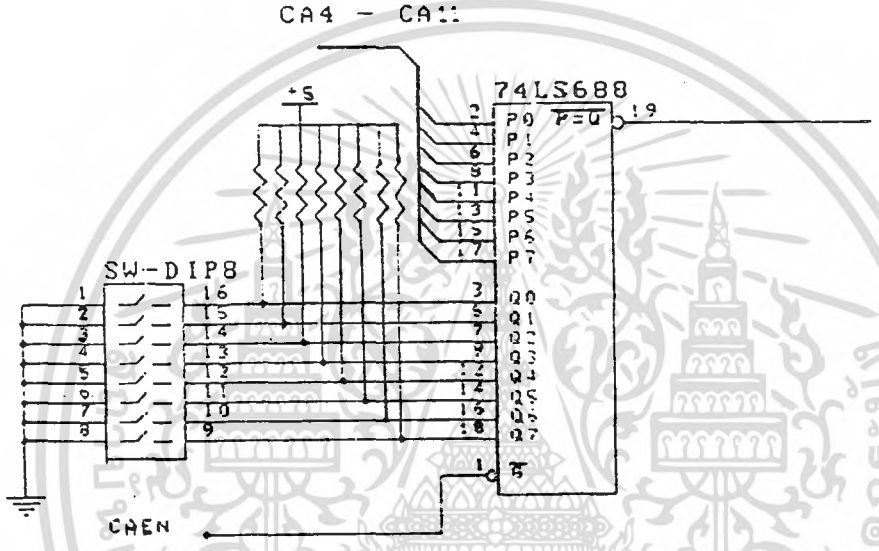
รูปที่ 3.13 แสดงขาสัญญาณต่างๆ ของ A/D เบอร์ 0804

ในโครงงานนี้เราได้เลือกใช้ $V_{ref}/2$ เป็น 1.5 V เนื่องจากเพื่อความละเอียดของสัญญาณที่จะทำการวัด และ 1.5 V นี้ทำได้โดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรถอดรหัส (Decoder)

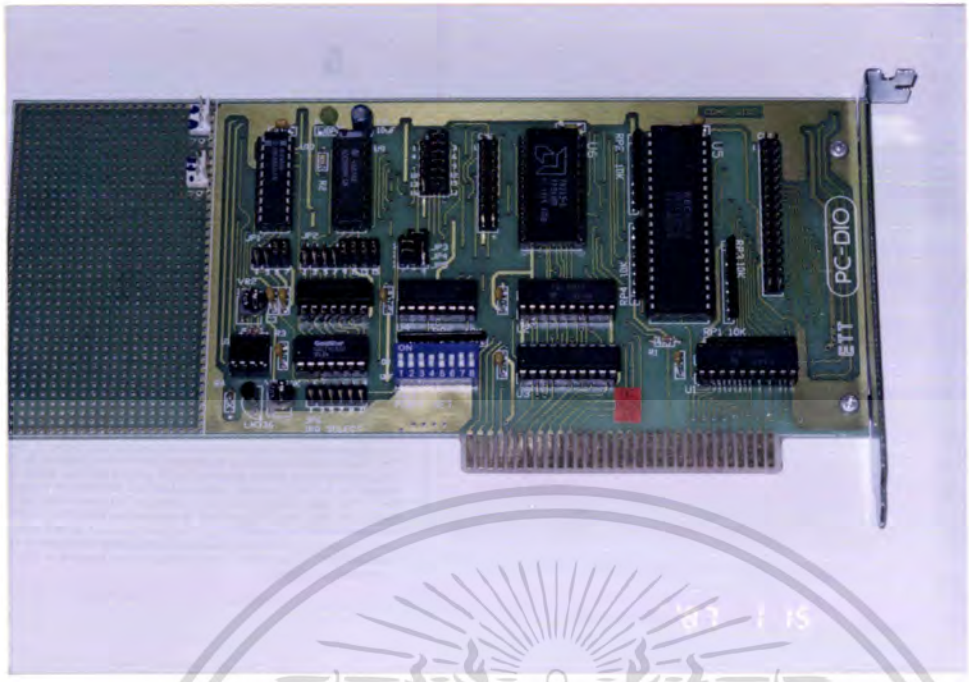
จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่สองในเรื่องการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ เราได้กำหนดแอดเดรส 300H เป็นแอดเดรส สำหรับพอร์ตที่ใช้ในการเชื่อมต่อของโครงงานพิเศษนี้ ซึ่งจะทำให้วงจรถอดรหัสเป็นดังรูปที่ 3.14 โดยการทำงานของวงจรได้อธิบายในบทที่สองแล้ว



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรถอดรหัสสำหรับแอดเดรส 300H

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในโครงงานพิเศษนี้ จึงได้ตัดสินใจใช้การ์ดอเนกประสงค์ในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งทางบริษัท ETT ได้ทำการผลิตขึ้น และมีราคาไม่แพงนัก เรียกว่า I/O card โดยใน I/O card จะมีวงจรอยู่หลายส่วน มีทั้งส่วนที่ใช้งานและไม่ได้ใช้งานในโครงงานพิเศษนี้ ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก รูปที่ 3.15 และ 3.16 ได้แสดงรูปร่างและวงจรของ I/O card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดง I/O card ของบริษัท ETT

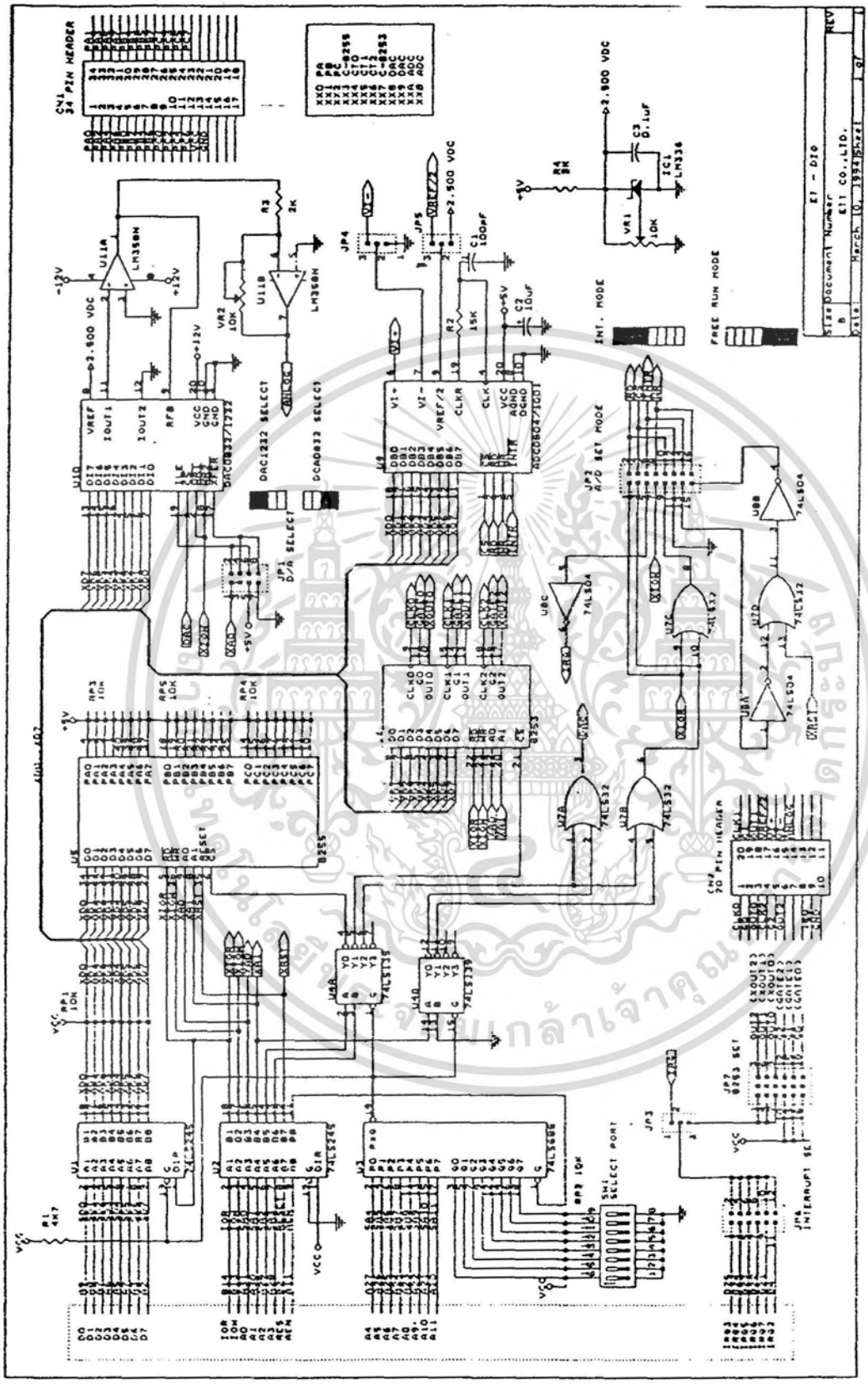
3.7 เทคนิคการเขียนโปรแกรมแสดงผล

เมื่อเราได้ข้อมูลต่าง ๆ จากสัญญาณที่ผ่านวงจรถอดรหัสเข้ามาแล้ว ต่อไปก็จะเป็นหน้าที่ของส่วนแสดงผล โดยเราจะทำการแสดงผลผ่านทางจอ monitor ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงผลเป็นกราฟ โดยให้แกนตั้งเป็นแกนของสัญญาณการหายใจ ส่วนแกนนอนเป็นแกนของเวลา ในที่นี้เราจะกำหนดแกนเวลาไว้ที่ 1 นาที ซึ่งเป็นการวัดอัตราการหายใจภายใน 1 นาที โดยกราฟที่จะทำการเขียนขึ้นเพื่อแสดงบนจอ monitor นั้นจะถูกเขียนขึ้นมาโดยการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นการนำเอาข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลในเวลาต่าง ๆ กันมาแปลงเป็นกราฟ

ในโครงงานพิเศษชิ้นนี้จะใช้โปรแกรมภาษาซี (Turbo C) ในการควบคุมการแสดงผล โดยตัวโปรแกรมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฉาก และส่วนที่ทำการรับข้อมูลมาแสดงเป็นกราฟ ซึ่งสามารถอธิบายแต่ละส่วนได้ดังนี้

ส่วนที่เป็นฉาก จะประกอบด้วย background ซึ่งเป็นสีขาว , แกนตั้งและแกนนอนเป็นสีบานเย็น , ตัวอักษรบอกชื่อแกนโดยแกนตั้งจะเป็นสัญญาณของการหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.16 แสดงวงจรบน I/O card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(SIGNAL OF BREATHING) และแกนนอนจะเป็นเวลา (TIME) จะมีสีเขียว , ส่วนต่อมาจะเป็นหน่วยของแต่ละแกน แกนตั้งจะมีหน่วยเป็นโวลต์ (VOLTS) และแกนนอนจะมีหน่วยเป็นวินาที (SECONDS) จะมีสีเหลือง และในส่วนสุดท้ายจะเป็นตัวเลขกำกับแกน แกนตั้งซึ่งเป็นแกนของสัญญาณจะให้มีขนาดสูงสุด (ข้อมูลเป็น FFH) เป็น 3 โวลต์ ส่วนแกนนอนซึ่งเป็นแกนของเวลาจะให้มีขนาดสูงสุดที่ 1 นาที หรือ 60 วินาที โดยในส่วนของฉากจะแสดงดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 ส่วนที่เป็นฉากก่อนที่จะทำการ RUN

ส่วนที่ทำการรับข้อมูลมาแสดงเป็นกราฟ เป็นการให้โปรแกรมทำงานในลักษณะจุดต่อจุด คือ เป็นการรับข้อมูลแรกเข้ามาก่อน แล้วทำการรับข้อมูลที่สองตามมา จากนั้นทำการลากเส้นระหว่างสองข้อมูล และเมื่อทำการรับข้อมูลเข้ามาอีกข้อมูลที่สองก็จะกลายเป็นข้อมูลแรกและทำการลากเส้นเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนครบ จากโปรแกรมเราได้ทำการรับข้อมูลทั้งหมด 500 ข้อมูลภายใน 1 นาที ดังนั้นหลังจากที่ได้รับข้อมูลแรกเข้ามาแล้วก็จะทำการหน่วงเวลาไว้ 120 มิลลิวินาที เพื่อจะรับข้อมูลที่สองต่อไป โดยใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละข้อมูลจะแทนในแต่ละ pixel บนกราฟ รูปที่ 3.18 แทนตัวอย่างการ RUN โปรแกรมขณะที่ยังไม่ต่ออะไร จะได้ข้อมูลเป็น FFH ซึ่งมีขนาดสูงสุด 3 โวลต์ตามรูป

รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการ RUN โปรแกรม

<u>โปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน</u>

```
#include<conio.h>
#include<stdio.h>
#include<dos.h>
#include<graphics.h>

#define ADC_PORT 0x30A

                /* PROTOTYPE SECTION */

void demo(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int     x1 = 80,x2 = 80;
float   y1 = 400,y3 = 400;
float   y2 = 50;
int     x3 = 580;
int     vx = 405;                   /* Display value on horizontal axis*/
int     vy = 70;                    /* Display value on vertical axis */

void main(void)
{
   int   data,dat1,dat2;
   int   count,poy1,poy2,pox1,pox2;
   int gdriver = DETECT,gmode;
   initgraph(&gdriver,&gmode,"");  /* Change to graphic mode */
    demo();
    setcolor(LIGHTRED);
    dat1 = inportb(ADC_PORT);
    delay(450);
    dat2 = inportb(ADC_PORT);
    delay(450);
    poy1 = (255-dat1)*((y1-y2)/255)+y2;  /* Startpoint on Y */
    poy2 = (255-dat2)*((y1-y2)/255)+y2;  /* Finishpoint on Y  */
    pox1 = x1;                          /* Startpoint on X   */
    pox2 = pox1+1;                       /* Finishpoint on X  */

    for(count=1;count<=(x3-x1);count++)
     {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        line(pox1,poy1,pox2,poy2);

        pox1 = pox2;
        poy1 = poy2;
        pox2 = pox2 + 1;
        data = inportb(ADC_PORT);
        poy2 = (255-data)*((y1-y2)/255)+y2;
        delay(450);
    }

    while(!kbhit());
    closegraph();
}

                    /* SCREEN SECTION */
void demo(void)
{
   int   mpx = (x3-x1)/6;          /* Devide horizontal axis */
   int   mpy = (y1-y2)/3;          /* Devide vertical axis */

   setbkcolor(LIGHTGRAY);
   setcolor(MAGENTA);
   line(x1,y1,x2,y2);
   line(x1,y1,x3,y3);
   setcolor(LIGHTGREEN);
   outtextxy(15,25,"SIGNAL OF BREATHING");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
outtextxy(570,415,"TIMES");
setcolor(LIGHTBLUE);
outtextxy(55,35,"(VOLTS)");
outtextxy(555,425,"(SECONDS)");
setcolor(YELLOW);
outtextxy(vy,vx,"0");              /* Define scales on horizontal axis */
outtextxy(mpx+x1,vx,"10");
outtextxy((2*mpx)+x1,vx,"20");
outtextxy((3*mpx)+x1,vx,"30");
outtextxy((4*mpx)+x1,vx,"40");
outtextxy((5*mpx)+x1,vx,"50");
outtextxy((6*mpx)+x1,vx,"60");
outtextxy(vy,y2,"3");              /* Define scales on verticle axis */
outtextxy(vy,y2+mpy,"2");
outtextxy(vy,y2+(2*mpy),"1");

}
```

3.8 สรุป

ในบทนี้ ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นหลักการเลือกชนิดอุปกรณ์และวงจรที่ใช้ในโครงงานพิเศษ รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผล โดยในบทต่อไป จะได้กล่าวถึงการนำเอาอุปกรณ์และวงจรเหล่านี้มาต่อประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงงานพิเศษขึ้นมา รวมถึงจะบอกวิธีใช้เครื่องมือตรวจวัดการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง และจะแสดงถึงผลการทำงานของเครื่องมือ ซึ่งทั้งหมดนี้จะได้แสดงในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การสร้างเครื่องและผลการดำเนินงาน

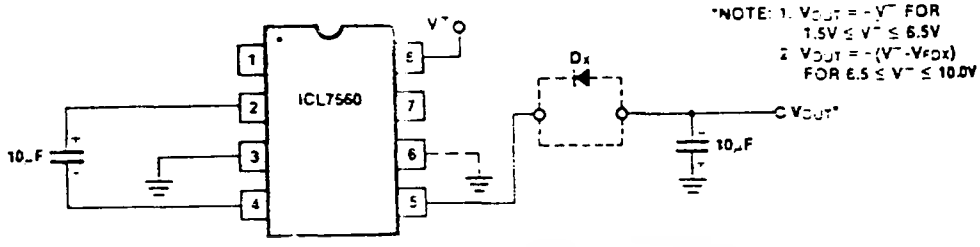
จากบทที่แล้ว ซึ่งเราได้ทำการเลือกอุปกรณ์และวงจรทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ โดยในบทนี้จะได้แสดงต่อจากบทที่แล้ว โดยนำเอาอุปกรณ์ที่ได้ทำการเลือกสรรแล้วมาทำการประกอบเป็นเครื่องมือ และอธิบายหลักการทำงานของระบบ รวมทั้งเสนอถึงผลการทดลองที่ได้โดยการใช้เครื่องตรวจวัดการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง

4.1 แหล่งจ่ายไฟสำหรับออปแอมป์และอุปกรณ์ต่าง ๆ

แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับทุกวงจร ถ้าขาดแหล่งจ่ายไฟไปวงจรก็ไม่สามารถทำงานได้ ในโครงงานพิเศษนี้เราได้ใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีอยู่แล้วจากเครื่องคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเราทำการเชื่อมต่อระบบของเรา เข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์อยู่แล้ว จึงเป็นการง่ายที่จะดึงแหล่งจ่ายไฟภายในเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้งานด้วย โดยไม่ต้องเสียเวลา และสิ้นเปลืองเกี่ยวกับการทำแหล่งจ่ายไฟใหม่ขึ้นมา แหล่งจ่ายไฟของคอมพิวเตอร์จะสามารถจ่ายแรงดันไฟตรงได้ 5 โวลต์ แต่มีอุปกรณ์บางตัวที่ต้องการใช้แรงดันในช่วงที่เป็นลบ เช่น ออปแอมป์ (ICL 7650) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสร้างวงจรที่จ่ายแรงดันในช่วงที่เป็นลบให้กับออปแอมป์ ในที่นี้เราได้ใช้ IC เบอร์ ICL 7660 CMOS Voltage Converter ช่วยในการแปลงไฟลบ (ดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก) โดยสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 500 μA ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความต้านทานโหลดเป็นอนันต์

เมื่อเราสามารถแปลงให้แรงดันเป็นลบได้แล้ว เราก็สามารถที่จะให้วงจรขยายทำงานได้โดย ให้ไฟ +5 V และ -5 V แก่ ICL 7650 และสามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 4.1 โดยที่เราต้องป้อนแรงดัน +5 V ให้กับ IC ตัวนี้เพื่อแปลงแรงดันที่เป็น -5 V ออกมา

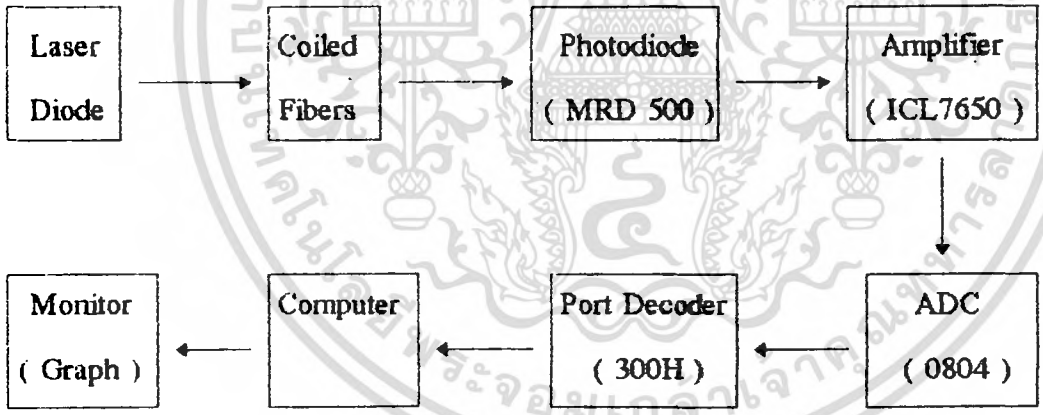
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 วงจรแปลงไฟจาก +5 V ไปเป็น -5 V

ขณะที่แหล่งจ่ายไฟนี้ถูกดึงมาจ่ายให้กับวงจรขยายที่อยู่ภายนอก ส่วนวงจรอื่น ๆ ที่อยู่ภายใน I/O card จะทำการดึงไฟจากคอมพิวเตอร์มาใช้อยู่แล้ว

4.2 การรวมอุปกรณ์และวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกัน

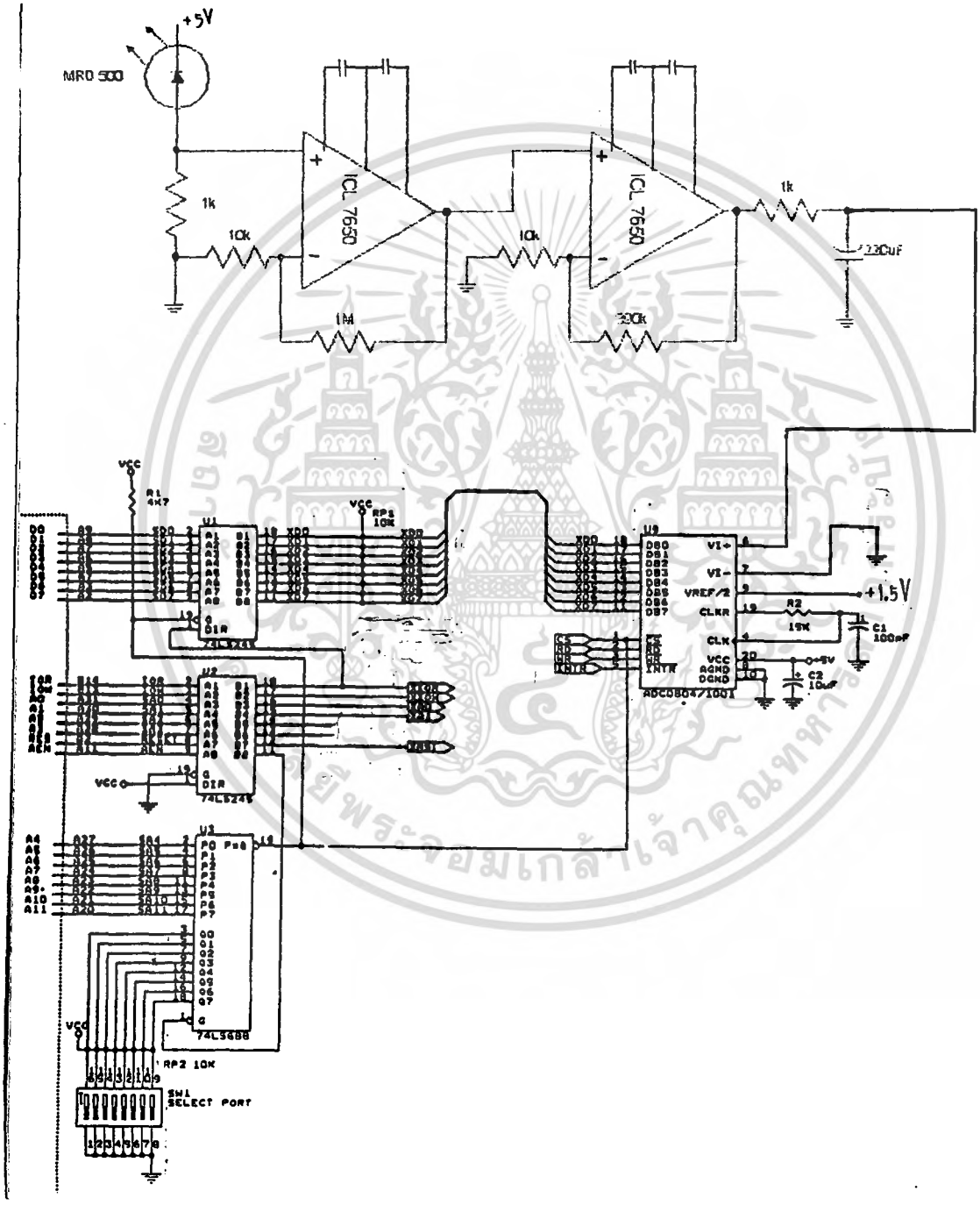


รูปที่ 4.2 แสดงระบบทั้งหมดอย่างสมบูรณ์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วถึงการเลือกชนิดอุปกรณ์และวงจร ในบทที่ 3 และในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงต่อจากบทที่แล้ว คือ จะเป็นการนำเอาอุปกรณ์และวงจรที่ได้รับการเลือกไว้แล้วนั้น มาทำการประกอบเข้าด้วยกันเป็นระบบ ซึ่งแสดงเป็น block diagram ได้ดังรูปที่ 4.2 โดยในรูปประกอบไปด้วย 8 ส่วน ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานในแต่ละส่วนประกอบกันได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มจากเมื่อจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟให้กับ เลเซอร์ไดโอด จะทำให้เลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงออกมา และแสงที่ออกมาจากเลเซอร์ไดโอด ก็จะถูก launch เข้าไปสู่เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่ขดอยู่ เมื่อแสงผ่านเส้นใยนำแสงแล้ว แสงก็จะถูกตรวจพบโดยตัวตรวจวัดความเข้มแสง (Photodiode) เมื่อปริมาณแสงมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจาก



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรการทำงานตั้งแต่ Photodiode ถึงวงจรถอดรหัสพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียของแสงที่เกิดจากการรบกวนเส้นใยนำแสงแต่ละครั้ง จะทำให้ความเข้มแสงเกิดการเปลี่ยนแปลง และสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงนี้ได้จาก Photodiode โดย Photodiode จะทำการเปลี่ยนจากสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แต่เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงออกมาได้นั้นมีขนาดเล็กมาก ๆ จนไม่สามารถนำมาต่อเข้ากับตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นดิจิตอล (ADC) ได้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการขยายสัญญาณขึ้นมาในระดับหนึ่ง เพื่อให้ต่อเข้ากับ ADC ได้ ซึ่งวงจรจาก Photodiode ไปจนถึงวงจรถอดรหัสพอร์ต ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.3

หลังจากได้สัญญาณตามขนาดที่ต้องการแล้ว ADC ก็จะทำการแปลงสัญญาณที่เข้ามาซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิท ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งไปตามสายบัสข้อมูล 8 เส้น เข้าสู่บัฟเฟอร์และผ่านเข้าไปยังคอมพิวเตอร์ตามลำดับ โดยที่วงจรถอดรหัสพอร์ตได้ทำการกำหนด address ไว้ที่ค่า 300H ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ว่างอยู่ เมื่อสัญญาณดิจิตอลจำนวน 8 บิท ได้ผ่านเข้าไปยังคอมพิวเตอร์ ต่อไปก็เป็นหน้าที่ของโปรแกรมที่ทำหน้าที่นำข้อมูลจากสัญญาณที่ได้มาทำการประมวลผลและเขียนกราฟออกมาแสดงยังจอ monitor โดยที่แกนตั้งจะเป็นแกนของโวลเตจหรือสัญญาณ และแกนนอนเป็นแกนของเวลา เพียงเท่านี้เราก็จะได้สัญญาณการหายใจที่แสดงโดยกราฟบนจอ monitor ซึ่งผลการทำงาน จะได้แสดงต่อไปในหัวข้อ 4.4

4.3 วิธีการใช้งานเครื่องตรวจวัดการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง

เมื่อได้ทราบถึงหลักการทำงานของระบบทั้งหมดแล้ว ต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงการใช้งาน โดยจะแสดงเป็นข้อๆ ต่อไปนี้

1. นำ I/O card มาเสียบบน slot ที่ว่างของเครื่องคอมพิวเตอร์

2. ทำการเสียบขั้วบน card เข้ากับกล่องวงจรขยาย แล้วทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

3. นำเส้นใยนำแสงที่ทำการขดแล้วใส่ในผ้ายืด แล้วทำการพันบริเวณรอบท้องเพื่อที่จะวัดอัตราการหายใจ

4. ทำการต่อขั้วที่มาจาก Photodiode เข้ากับกล่องวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสัญญาณการหายใจ

4.5 สรุป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดจะเป็นการทำงานของระบบที่ได้สร้างขึ้นมา และได้บอกถึงวิธีการใช้งานของเครื่องตรวจวัดการหายใจโดยใช้เส้นใยนำแสง สุดท้ายได้แสดงถึงผลการทดลองที่ได้ ในบทต่อไปซึ่งเป็นบทสุดท้ายจะได้กล่าวถึงสรุปผลการทำงาน ปัญหาที่พบ แนวทางการแก้ไขปัญหา การนำไปใช้งานและแนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและแนวทางในการพัฒนา

ในบทสุดท้ายนี้จะเป็นการกล่าวถึงการสรุปงานทั้งหมด รวมทั้งปัญหา และแนวทางในการพัฒนา โดยปัญหาที่จะกล่าวถึงจะได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหานั้นด้วย

5.1 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไข

ปัญหาหลักๆ ในโครงงานพิเศษนี้ จะมี 2 ปัญหาใหญ่ๆ คือ ปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวน และปัญหาในเรื่องแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์ไดโอดไม่โฟกัส โดยจะกล่าวถึงรายระเอียดดังต่อไปนี้

1. สัญญาณรบกวน (Noise) เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับวงจรอิเลคทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณต่ำๆ ทั่วไป ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้มีปัญหาอยู่ที่สัญญาณรบกวนจากภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้เราไม่สามารถนำเอาวงจรขยายใส่เข้าไปในการ์ดพร้อมกับวงจรอื่นๆได้ เราต้องทำการขยายให้เสร็จเสียก่อนที่จะนำสัญญาณที่ได้รับการขยายเรียบร้อยแล้ว ซึ่งมีขนาดโตพอสมควรมาทำการต่อเข้ากับการ์ด จะทำให้สัญญาณมีขนาดโตกว่าสัญญาณรบกวน และเมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) จะพบว่า สัญญาณจะมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนเมื่อแสดงผลออกทางบนจอ monitor นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวนที่มาจากไฟบ้าน (50Hz) ซึ่งสัญญาณรบกวนอันนี้ เราได้ทำการแก้ไขโดยการใช้กล่องเหล็กช่วยในการกันสัญญาณรบกวนที่เป็นไฟบ้านเข้ามารบกวนวงจรของเรา และได้ทำการติดตั้งวงจรกรองสัญญาณความถี่สูง และความถี่ต่ำ (50Hz) กันไว้อีกทีหนึ่งที่สัญญาณเอาท์พุทจะออกมาจากวงจรขยาย แต่ถึงอย่างไรก็ตาม สัญญาณที่ได้อาจมีสัญญาณรบกวนปนเข้ามาด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการรบกวนของสัญญาณ common mode และสัญญาณที่อยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการ์ดของเราเสียบอยู่ แต่เมื่อดูโดยรวมแล้วสัญญาณที่ต้องการมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนมากพอที่จะยอมรับได้ก็ถือว่าใช้ได้ในระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์ไดโอด แม้ว่าเราจะได้ทำการเลือกใช้เลเซอร์ไดโอดจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ก็ยังมีปัญหาตรงที่ว่า แสงที่ออกมาจากเลเซอร์ไม่โฟกัสตรงกับเส้นใยนำแสงที่จะทำการ launch เข้าไป ซึ่งมีผลทำให้สัญญาณที่ได้บนจอ monitor มีขนาดต่ำจนไม่สามารถทำการวัดได้ แม้ว่าจะมีความเข้มสูงและมีกำลังถึง 5 mW ทั้งนี้เนื่องมาจากเลนส์ที่อยู่ในเลเซอร์ไดโอดมีความยาวโฟกัสมากเกินไป ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้ได้ทำตัวต่อ connector ที่เชื่อมระหว่างเส้นใยนำแสงกับตัวแหล่งกำเนิดแสงมีความยาวที่สั้นกว่าตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ที่อยู่ในเลเซอร์ไดโอด แต่อย่างไรก็ตามแนวความคิดในการแก้ปัญหานี้ก็ได้เสนอขึ้นมาว่า อาจจะต้องทำการเปลี่ยนเลนส์ของเลเซอร์ไดโอดใหม่ให้มีขนาดโฟกัสสั้นๆ เพื่อสามารถ launch แสงส่วนใหญ่เข้าไปในเส้นใยนำแสง แม้ว่าจะมีบางส่วนที่เล็กน้อยเกิดการสูญเสียในระหว่างขั้นตอนการ launch บ้าง หรือทางแก้ไขอีกวิธีหนึ่งซึ่งอาจจะเกิดปัญหาในความไม่สะดวก คือทำการจัดอุปกรณ์ในการ launch แสง โดยใช้ขาตั้งจับเลเซอร์ไดโอด และให้เส้นใยนำแสงอยู่ในระยะโฟกัส และทำการ Fixed ตำแหน่งซึ่งไม่สามารถเลื่อนไปไหนมาไหนได้ โดยจะเกิดปัญหาตามมา คือ ความไม่สะดวกในการวัดแต่ละครั้ง อย่างไรก็ดีปัญหานี้ก็ได้ขอมรับในการแก้ไขอีกระดับหนึ่ง เพื่อให้สามารถทำการตรวจวัดสัญญาณได้

5.2 การนำไปใช้งานและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

จริงๆ แล้วโครงงานพิเศษนี้ได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ การตรวจโรคที่เกิดขึ้นกับระบบการหายใจหรือระบบการทำงานของปอด ซึ่งเราจะต้องทำการเก็บข้อมูลต้นแบบว่า โรคไหนมีลักษณะกราฟของการหายใจเป็นอย่างไร แตกต่างกันมากน้อยเท่าไร เมื่อเปรียบเทียบกับคนปกติแล้วเป็นอย่างไร เพศต่างกัน อายุต่างกัน จะมีผลต่อระบบการหายใจหรือระบบการทำงานของปอดหรือไม่ ซึ่งทั้งหมดนี้จำเป็นต้องรู้และต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนมากเพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลผล เพื่อให้เครื่องมือเรามีข้อมูลมากที่สุด เพื่อทำการตรวจวัดโรคได้ถูกต้องมากที่สุด โดยข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเก็บรวบรวมได้มากๆ นี้ จะนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงในการตรวจวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจหรือการทำงานของปอด และจะทำการตรวจโรคได้โดยวัดสัญญาณการหายใจของคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไข้เปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงที่ทำการเก็บรวบรวมมา โดยข้อมูลของผู้ที่ทำการตรวจวัดถ้าตรงกับข้อมูลที่อ้างอิงไว้ชนิดไหน ก็อาจจะสรุปได้ว่า ผู้ทำการตรวจวัดเป็นโรคชนิดเดียวกับข้อมูลที่อ้างอิงนั้น และจะพบว่า การวินิจฉัยโรคด้วยวิธีนี้จะมีความสะดวก และไม่สร้างความรำคาญให้กับคนไข้ ซึ่งในอนาคตก็ไม่แน่ว่าเครื่องมือชนิดนี้อาจมีส่วนช่วยในการทำงานของแพทย์ได้บ้าง หรืออาจช่วยชีวิตผู้ที่อยู่ห่างไกลไม่มีแพทย์หรือโรงพยาบาล ก็อาจนำเครื่องมือชนิดนี้ไปทำการวินิจฉัยโรค ซึ่งในอนาคตอาจจะได้ทำเป็นเครื่องมือวินิจฉัยโรคได้แล้ว ก็อาจจะออกใบสั่งยาได้ด้วย ซึ่งจะพบว่ามีประโยชน์มากทีเดียว ถ้าโรคที่ทำการวัดนั้นเกี่ยวข้องกับระบบการหายใจ หรือสัญญาณการหายใจมีความสัมพันธ์กับโรคที่ทำการตรวจวัด แต่กว่าจะใช้งานได้จริง (สามารถตรวจวัดโรคที่เกี่ยวกับระบบการหายใจ) ก็คงจะต้องได้รับการยอมรับจากนายแพทย์ หรือกระทรวงสาธารณสุข ว่าสามารถตรวจโรคได้โดยไม่มีความผิดพลาด คือ มีความแม่นยำมากๆ ทั้งนี้ถ้าหากทำการตรวจโรคผิดไป เครื่องมือนี้ก็อาจฆ่าคนทั้งชีวิตได้เหมือนกัน คือออกใบสั่งยาผิดพลาด ซึ่งกว่าจะถึงวันนั้นก็คงจะอีกนาน โดยคณะผู้จัดทำคงได้แต่หวังว่า สักวันหนึ่งคงจะได้เห็นเครื่องมือนี้เป็นประโยชน์ต่อชาวโลก

5.3 สรุป

แม้ว่าจะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในหัวข้อการนำไปใช้งาน และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต ซึ่งกล่าวมานั้นทั้งหมดเป็นเรื่องของอนาคต ซึ่งในปัจจุบันที่ทำได้เป็นเพียงแค่สามารถตรวจวัดสัญญาณการหายใจธรรมดา โดยยังไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลใดๆ เลย ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านเวลา แต่อย่างไรก็ตาม คณะผู้จัดทำได้หวังว่า คงจะมีผู้ทำการสืบสานเจตนารมณ์ของโครงงานพิเศษชิ้นนี้ให้สำเร็จต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ดร.เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์, *ปอดและการหายใจ*, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด

2. มยุรี หาญสุภานุสรณ์, *เครื่องตรวจวัดโดยใช้เส้นใยนำแสง*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537

3. วันชัย คุณากรวงศ์, บันทิต บัวบูชา, รัฐวุฒิ ประทุมราช และรุ่งแสง เครือไวศยวรรณ, *การคำนวณวงจรทรานซิสเตอร์*, หน้า 266-292, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

4. A.T. Augousti and A. Raza, *The development of a fibre optic respiratory plethysmograph (FORP)*, School of Applied Physics, Kingston University, Kingston, Surrey KT1 2EE

5. Eijj Toba, Sadamu Sekiguchi, and Toyonori Nishimatsu, *Noninvasive measurement system for human respiratory condition and body temperature*, Faculty of Textile of Science and Technology, Shinshu University, 3-5-1, Tokida, Ueda, 386 Japan, 1995

6. A. Kent Stiffler, *Design with Microprocessors for Mechanical Engineers*, McGraw-Hill, Inc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIY Kit 41. MINIATURE 5mW VISIBLE RED LASER DIODE MODULE

If you want to experiment with laser light then this is the way to do it. Buy the laser module, connect it to a 3.0 VDC source and there it is. NOTE: never look into the laser light. It can easily harm your eyes permanently. Do not shine it at a persons face.

Output power:	5 mW.
Wavelength:	670 nm, deep red. Wavelength is a function of temperature. At 0°C it is 665nm increasing in a linear fashion to 675nm at 40°C.
Collimating lens:	acrylic, aspheric, anti-reflective coated.
Operating voltage:	3.0 V DC. Do not go over 3.0V. You will just burn out the diode.
Operating current:	85mA.
Laser diode:	Hitachi HL6711G.
Case:	brass tube.
Dimensions:	cylinder 18.5mm x 11.5mm (diam.), 0.75" x 0.45".
Beam:	6mm at 5 meters
Beam diameter:	typically 4mm x 6mm.
Operating Temp	zero to 40 degrees Centigrade.

You can make your own laser pointer or security beam fence with the module, a press button switch and a battery holder supplied. Just add 2 x AA batteries.

LASER DIODES

Laser Diodes (LD) have become the most widely used type of lasers. They are found in CD players, video disks, CD-ROM, printers and supermarket checkout counters where they scan the bar code printed on your purchases to automate and speed-up check-out time. Only laser light can be used in these applications. Polychromatic light (multi-wavelength) cannot be used. Monochromatic light is required.

Compared to the older He-Ne lasers, LDs are smaller, cheaper and far less complicated (both in their own physical size and the support electronics to power them.) Standard LDs are made from gallium-aluminium-arsenide. They give laser light at 775nm which is in the near infra-red part of the spectrum. The newer LDs are made from indium-gallium-aluminium-phosphide which gives laser light at 665nm (red.) It is these visible red LD modules which are used in barcode readers. These readers scan the white and black bars of a barcode; the white bars reflect light which falls on a photodiode while the black bars absorb light. The contrast between reflected and absorbed light becomes greater as the wavelength becomes smaller. Wavelengths above about 780um cannot be used.

Most CD players, CD_ROM and video disks use 775nm LD modules. On a CD player this allows a distance between tracks of 1.9 um. This gives a total of 18,000 tracks on a 3.3cm wide CD recording surface. Now if smaller 660nm light could be used the number of tracks (and thus the playing time) could be increased by 18%. Blue laser light at 428nm and 523nm is now being looked at for the next generation of these consumer goods for even greater information storage densities - and playback times.

The actual emission surface of LDs is small - only 2.5 square mm. Light is not only emitted forward. About 5% is emitted backwards from its backplane. This falls onto a photodiode whose resistance varies in direct proportion to the intensity. This allows a feedback circuit controlled by the photodiode to regulate the current through the LD. Despite the fact that the photodiode is contained in the same housing the whole unit is referred to as the laser diode. Laser light from a LD is not produces in a narrow beam. A lens system is required to collimate the beam.

Efficient heat sinking is necessary since a temperature rise causes a decrease of optical output power.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

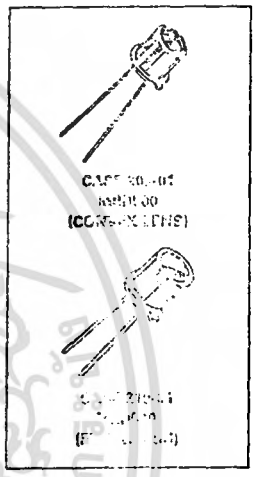
Photo Detectors
Diode Output

MRD500
MRD510

PHOTO DETECTORS
DIODE OUTPUT
PIN SILICON
250 MILLIWATTS
100 VOLTS

...designed for application in laser detection, light demodulation, detection of visible and near infrared light-emitting diodes, shaft or position encoders, switching and logic circuits, or any design requiring radiation sensitivity, ultra high-speed, and stable characteristics.

- Ultra Fast Response — (<1 ns Typ)
- High Sensitivity — MRD500 (1.2 μA/mW/cm^2 Min)
  MRD510 (0.3 μA/mW/cm^2 Min)
- Available With Convex Lens (MRD500) or Flat Glass (MRD510) for Design Flexibility
- Popular TO-18 Type Package for Easy Handling and Mounting
- Sensitive Throughout Visible and Near Infrared Spectral Range for Wide Application
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability



4

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	100	Volts
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	250 2.27	mW mW/°C
Operating Temperature Range	T_A	−65 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	−65 to +150	°C

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current (V_R = 20 V, R_L = 1 megohm) Note 2 T_A = 25°C T_A = 100°C	2 and 3	I_D	— —	— 14	2 —	nA
Reverse Breakdown Voltage (I_R = 10 μA)	—	$V_{(BR)R}$	100	200	—	Volts
Forward Voltage (I_F = 50 mA)	—	V_F	—	—	1.1	Volts
Series Resistance (I_F = 50 mA)	—	R_S	—	—	15	Ohms
Total Capacitance (V_R = 20 V, f = 1 MHz)	5	C_T	—	—	4	pF

OPTICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Light Current (V_R = 20 V) Note 1	MRD500 MRD510	1	I_L	6 1.5	9 2.1	— —	μA
Sensitivity at 0.8 μm (V_R = 20 V) Note 3	MRD500 MRD510	—	$S_{(\lambda = 0.8\ \mu m)}$	— —	6.6 1.5	— —	μA/mW/cm^2
Response Time (V_R = 20 V, R_L = 50 Ohms)		—	$t_{(resp)}$	—	1	—	ns
Wavelength of Peak Spectral Response		5	λ_S	—	0.8	—	μm

NOTES: 1. Radiation Flux Density (H) equal to 5 mW/cm^2 emitted from a tungsten source at a color temperature of 2870 K
2. Measured under dark conditions. (H = 0).
3. Radiation Flux Density (H) equal to 0.5 mW/cm^2 at 0.8 μm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

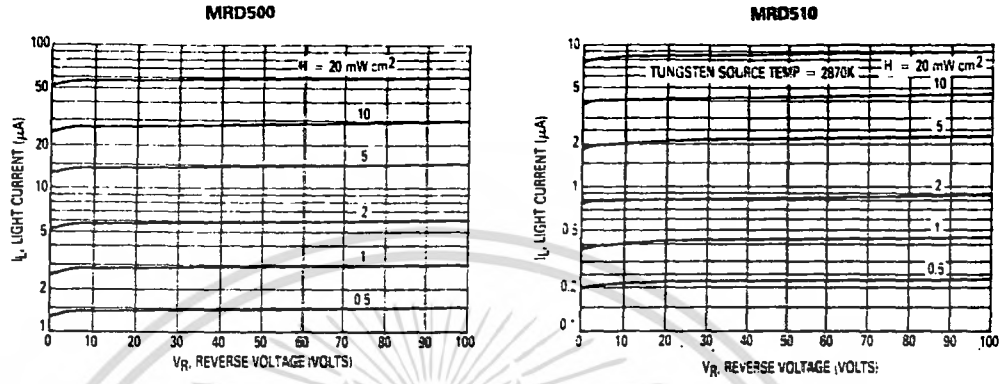

MRD500
MRD510

Figure 1. Irradiated Voltage — Current Characteristic

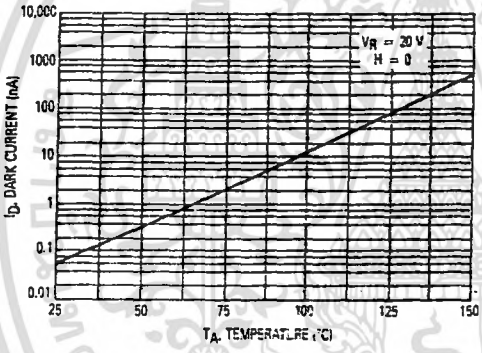


Figure 2. Dark Current versus Temperature

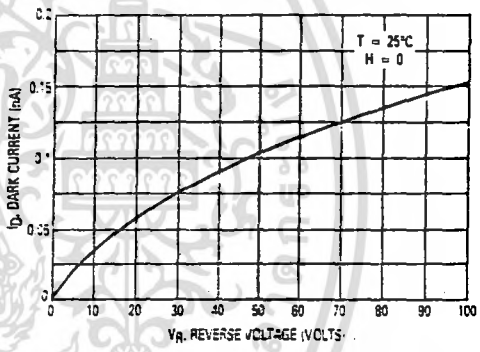


Figure 3. Dark Current versus Reverse Voltage

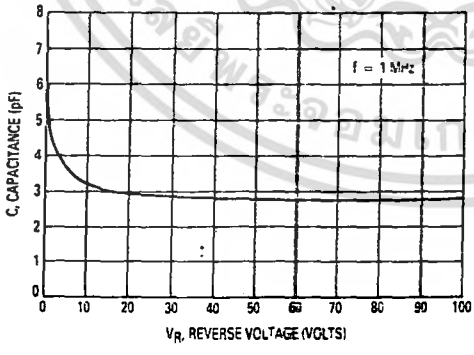


Figure 4. Capacitance versus Voltage

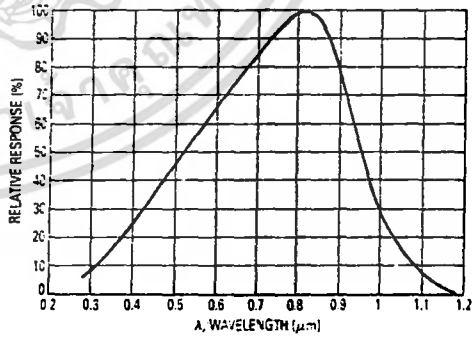


Figure 5. Relative Spectral Response

เพื่อการศึกษาเท่านั้น
ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น
อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

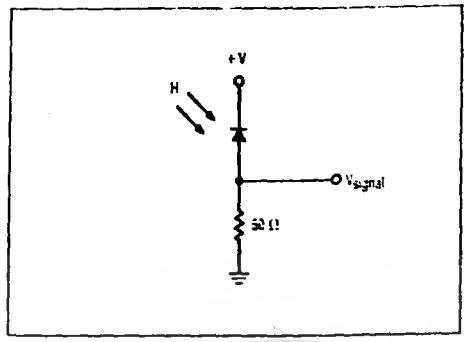
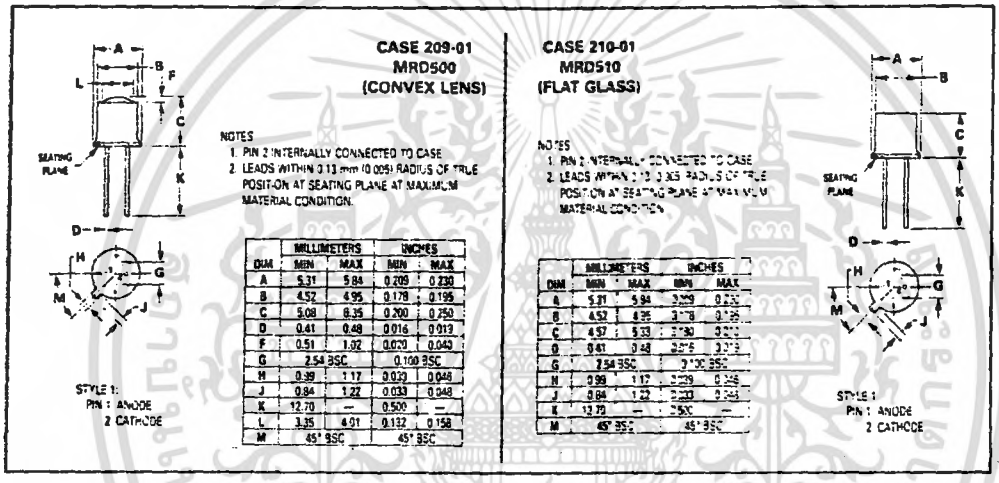


Figure 6. Typical Operating Circuit

OUTLINE DIMENSIONS



CASE 209-01
MRD500
(CONVEX LENS)

NOTES
1. PIN 2 INTERNALLY CONNECTED TO CASE.
2. LEADS WITHIN 0.13 mm (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	5.31	5.84	0.209	0.230
B	4.52	4.95	0.178	0.195
C	5.08	8.35	0.200	0.750
D	0.41	0.48	0.016	0.019
F	0.51	1.02	0.020	0.040
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.39	1.17	0.020	0.046
J	0.84	1.22	0.033	0.048
K	12.70	—	0.500	—
L	3.35	4.01	0.132	0.158
M	45° BSC		45° BSC	

STYLE 1:
PIN 1: ANODE
2 CATHODE

CASE 210-01
MRD510
(FLAT GLASS)

NOTES
1. PIN 2 INTERNALLY CONNECTED TO CASE.
2. LEADS WITHIN 0.13 mm (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	5.31	5.84	0.209	0.230
B	4.52	4.95	0.178	0.195
C	4.57	5.33	0.180	0.210
D	0.41	0.48	0.016	0.019
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.99	1.17	0.039	0.046
J	0.84	1.22	0.033	0.048
K	12.70	—	0.500	—
M	45° BSC		45° BSC	

STYLE 1:
PIN 1: ANODE
2 CATHODE

ICL7650
Chopper-Stabilized Operational Amplifier

INTERSIL

GENERAL DESCRIPTION

The ICL7650 chopper-stabilized amplifier is a high-performance device which offers exceptionally low offset voltage and input-bias parameters, combined with excellent bandwidth and speed characteristics. Intersil's unique CMOS approach to chopper-stabilized amplifier design yields a versatile precision component that can replace more expensive hybrid or monolithic devices.

The chopper amplifier achieves its low offset by comparing the inverting and non-inverting input voltages in a nulling amplifier, nulled by alternate clock phases. Two external capacitors are required to store the correcting potentials on the two amplifier nulling inputs; these are the only external components necessary.

The clock oscillator and all the other control circuitry is entirely self-contained, however the 14-pin version includes a provision for the use of an external clock, if required for a particular application. In addition, the ICL7650 is internally compensated for unity-gain operation.

FEATURES

- **Extremely Low Input Offset Voltage — 2μV**
- **Low Long-Term and Temperature Drifts of Input Offset Voltage**
- **Low DC Input Bias Current — 10pA (20pA 7650B)**
- **Extremely High Gain, CMRR and PSRR — Min 120dB**
- **High Slew Rate — 2.5V/μs**
- **Wide Bandwidth — 2MHz**
- **Unity-Gain Compensated**
- **Very Low Intermodulation Effects (Open Loop Phase Shift < 10°C @ Chopper Frequency)**
- **Clamp Circuit to Avoid Overload Recovery Problems and Allow Comparator Use**
- **Extremely Low Chopping Spikes at Input and Output**

ORDERING INFORMATION

PART	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7650CPA-1	0°C to +70°C	8-PIN Plastic
ICL7650BCPA-1	0°C to +70°C	8-PIN Plastic
ICL7650CPD	0°C to +70°C	14-PIN Plastic
ICL7650BCPD	0°C to +70°C	14-PIN Plastic
ICL7650CTV-1	0°C to +70°C	8-PIN TO-99
ICL7650BCTV-1	0°C to +70°C	8-PIN TO-99
ICL7650IJA-1	-25°C to +85°C	8-PIN CERDIP
ICL7650BIJA-1	-25°C to +85°C	8-PIN CERDIP

PART	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7650IJD	-25°C to +85°C	14-PIN CERDIP
ICL7650BIJD	-25°C to +85°C	14-PIN CERDIP
ICL7650ITV-1	-25°C to +85°C	8-PIN TO-99
ICL7650BITV-1	-25°C to +85°C	8-PIN TO-99
ICL7650MJD	-55°C to +125°C	14-PIN CERDIP
ICL7650BMJD	-55°C to +125°C	14-PIN CERDIP
ICL7650MTV-1	-55°C to +125°C	8-PIN TO-99
ICL7650BMTV-1	-55°C to +125°C	8-PIN TO-99

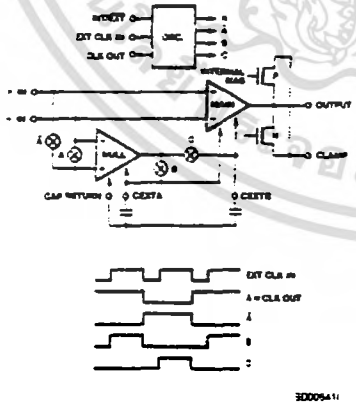


Figure 1: Functional Diagram

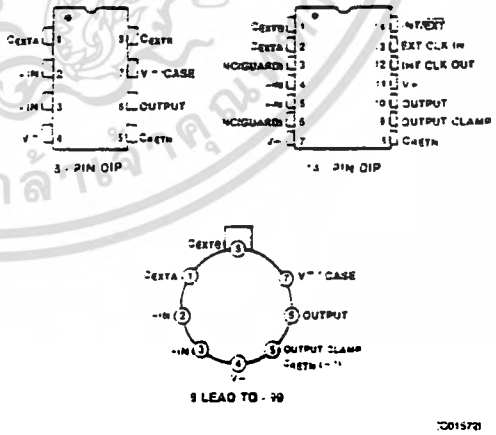


Figure 2: Pin Configuration

302061-003

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Total Supply Voltage (V^+ to V^-) ..... 18 Volts
Input Voltage ..... (V^+ + 0.3) to (V^- − 0.3) Volts
Voltage on oscillator control pins ..... V^- to V^-
except EXT CLOCK IN: ... (V^+ + 0.3) to (V^+ − 6.0) Volts
Duration of Output short circuit ..... indefinite
Current into any pin 10mA
— while operating (Note 4) 100μA

Cont. Total Power Dissipation (T_A = 25°C)
CERDIP Package 500mW
Plastic Package 375mW
TO-99 ..... 250mW
Storage Temp. Range ..... −65°C to 150°C
Operating Temp. Range ..... See Note 1
Lead Temperature (Soldering, 10sec) ..... 300°C

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: V^+ = +5V, V^- = −5V, T_A = +25°C, (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS 7650			LIMITS 7650B			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	T_A = +25°C −25°C < T_A < +85°C −55°C < T_A < +125°C		±2 ±5	±5 ±50		±2 ±5	±10.0 ±75	μV
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta T}$	Average Temp. Coefficient of Input Offset Voltage	−25°C < T_A < +85°C		0.1			0.1		μV/°C
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta t}$	Change in Input Offset Voltage With Time			100			100		nV/month
I_{BIAS}	Input Bias Current (doubles every 10°C) Polarity is + or − (Note 5)	T_A = +25°C 0°C < T_A < +70°C −25°C < T_A < +85°C		±1.5 ±35 ±100	±10		±1.5 ±35 ±100	±20	pA
I_{OS}	Input Offset Current (Note 5)	T_A = 25°C		0.5			0.5		pA
R_{IN}	Input Resistance			10^{12}			10^{12}		Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	R_L = 10kΩ	$1x10^6$	$5x10^6$		$1x10^6$	$5x10^6$		V/V
V_{OUT}	Output Voltage Swing (Note 3)	R_L = 10kΩ R_L = 100kΩ	±4.7	±4.85 ±4.95		±4.7	±4.85 ±4.95		V
CMVR	Common Mode Voltage Range		−5.0	−5.2 to −2.0	+1.5	−5.0	−5.2 to −2.0	+1.5	V
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	CMVR = −5V to +1.5	110	120		110	120		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	±3V to ±8V	120	130		120	130		dB
e_n	Input Noise Voltage	R_S = 100Ω f = 0 to 10Hz		2			2		μV_{p-p}
i_n	Input Noise Current	f = 10Hz		0.01			0.01		$pA/\sqrt{Hz}$
GBW	Unity Gain Bandwidth			2.0			2.0		MHz
SR	Slew Rate	C_L = 50pF, R_L = 10kΩ		2.5			2.5		V/μs
t_r	Rise Time			0.2			0.2		μs
	Overshoot			20			20		%
V^+ to V^-	Operating Supply Range		4.5		16	4.5		16	V
I_{SUPP}	Supply Current	no load		2.0	3.5		2.0	3.5	mA
f_{ch}	Internal Chopping Frequency	pins 12-14 open (DIP)	120	200	375	120	200	375	Hz
	Clamp ON Current (note 2)	R_L = 100kΩ	25	70	150	25	70	150	μA
	Clamp OFF Current (note 2)	−4.0V < V_{OUT} < +4.0V							pA

NOTES: 1. Operating temperature range for M series parts is −55°C to +125°C, for I series is −25°C to +85°C, for C series is 0°C to +70°C
2. See OUTPUT CLAMP under detailed description.
3. OUTPUT CLAMP not connected. See typical characteristic curves for output swing vs clamp current characteristics.
4. Limiting input current to ±100μA is recommended to avoid latchup problems. Typically 1mA is safe, however this is not guaranteed.
5. I_{OS} = 2 • I_{BIAS}

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

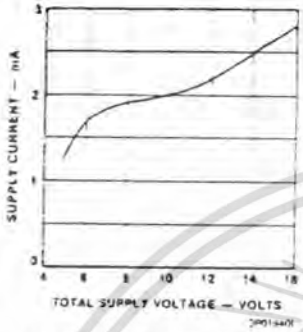
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7650

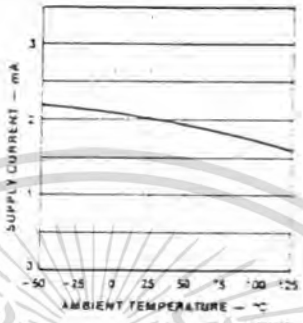
INTERSIL

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

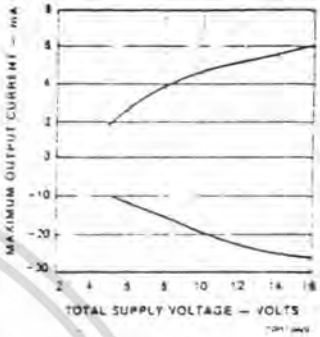
SUPPLY CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



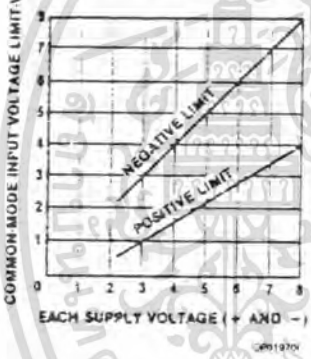
SUPPLY CURRENT vs. AMBIENT TEMPERATURE



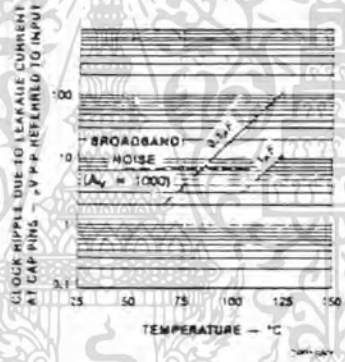
MAXIMUM OUTPUT CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



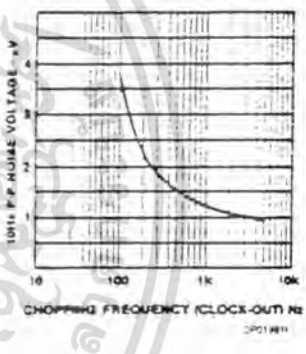
COMMON-MODE INPUT-VOLTAGE RANGE vs SUPPLY VOLTAGE



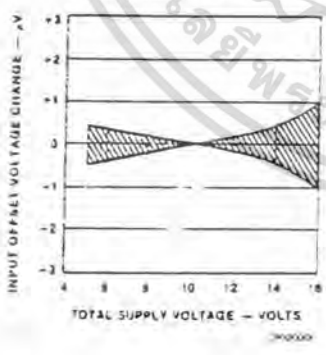
CLOCK RIPPLE REFERRED TO THE INPUT vs. TEMPERATURE



0.1Hz P-P NOISE VOLTAGE vs. CHOPPING FREQUENCY

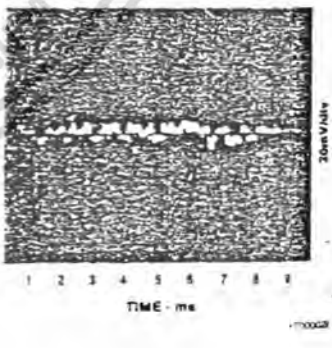


INPUT OFFSET VOLTAGE CHANGE vs. SUPPLY VOLTAGE



INPUT OFFSET VOLTAGE vs. CHOPPING FREQUENCY

OUTPUT WITH ZERO INPUT: GAIN = 1000; BALANCED SOURCE IMPEDANCE = 10KΩ

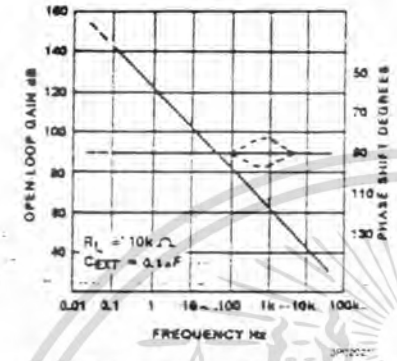


Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

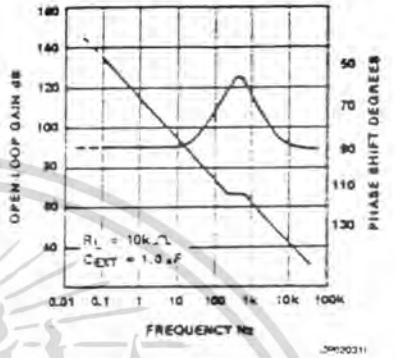
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (CONT.)

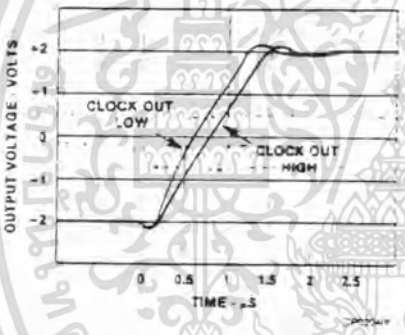
OPEN LOOP GAIN AND PHASE SHIFT vs. FREQUENCY



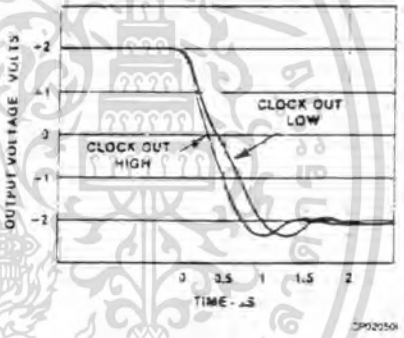
OPEN LOOP GAIN AND PHASE SHIFT vs. FREQUENCY



VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE*

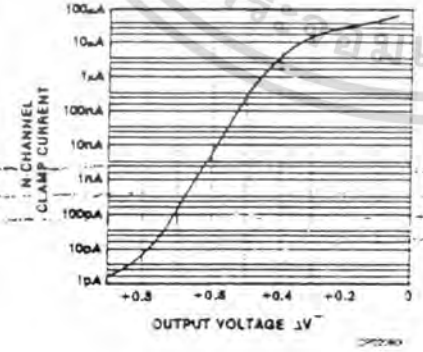


VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE*

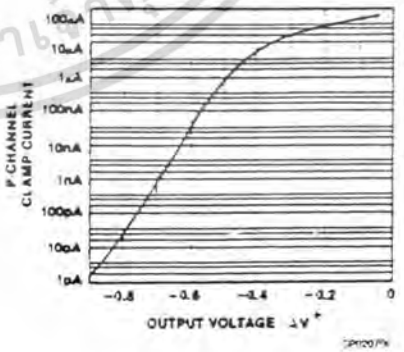


* THE TWO DIFFERENT RESPONSES CORRESPOND TO THE TWO PHASES OF THE CLOCK.

N-CHANNEL CLAMP CURRENT vs. OUTPUT VOLTAGE



P-CHANNEL CLAMP CURRENT vs. OUTPUT VOLTAGE



Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7650

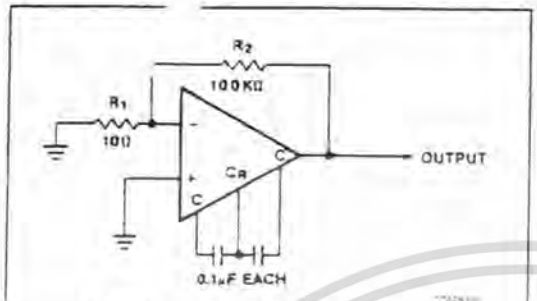


Figure 3: ICL7650/B Test Circuit

DETAILED DESCRIPTION

Amplifier

The functional diagram shows the major elements of the ICL7650. There are two amplifiers, the main amplifier, and the nulling amplifier. Both have offset-null capability. The main amplifier is connected continuously from the input to the output, while the nulling amplifier, under the control of the chopping oscillator and clock circuit, alternately nulls itself and the main amplifier. The nulling connections, which are MOSFET gates, are inherently high impedance, and two external capacitors provide the required storage of the nulling potentials and the necessary nulling-loop time constants. The nulling arrangement operates over the full common-mode and power-supply ranges, and is also independent of the output level, thus giving exceptionally high CMRR, PSRR, and A_{VOL}.

Careful balancing of the input switches, and the inherent balance of the input circuit, minimizes chopper frequency charge injection at the input terminals, and also the feedforward-type injection into the compensation capacitor, which is the main cause of output spikes in this type of circuit.

Intermodulation

Previous chopper-stabilized amplifiers have suffered from intermodulation effects between the chopper frequency and input signals. These arise because the finite AC gain of the amplifier necessitates a small AC signal at the input. This is seen by the zeroing circuit as an error signal, which is chopped and fed back, thus injecting sum and difference frequencies and causing disturbances to the gain and phase vs. frequency characteristics near the chopping frequency. These effects are substantially reduced in the ICL7650 by feeding the nulling circuit with a dynamic current, corresponding to the compensation capacitor current, in such a way as to cancel that portion of the input signal due to finite AC gain. Since that is the major error contribution to the ICL7650, the intermodulation and gain/phase disturbances are held to very low values, and can generally be ignored.

Capacitor Connection

The null/storage capacitors should be connected to the C_{EXTA} and C_{EXTB} pins, with a common connection to the C_{RETN} pin. This connection should be made directly by either a separate wire or PC trace to avoid injecting load current IR drops into the capacitive circuitry. The outside foil, where available, should be connected to C_{RETN}.

Output Clamp

The OUTPUT CLAMP pin allows reduction of the overload recovery time inherent with chopper-stabilized amplifiers. When tied to the inverting input pin, or summing junction, a current path between this point and the OUTPUT pin occurs just before the device output saturates. Thus uncontrolled input differential inputs are avoided, together with the consequent charge build-up on the correction-storage capacitors. The output swing is slightly reduced.

Clock

The ICL7650 has an internal oscillator giving a chopping frequency of 200Hz, available at the CLOCK OUT pin on the 14-pin devices. Provision has also been made for the use of an external clock in these parts. The INT/EXT pin has an internal pull-up and may be left open for normal operation, but to utilize an external clock this pin must be tied to V^- to disable the internal clock. The external clock signal may then be applied to the EXT. CLOCK IN pin. At low frequencies, the duty cycle of the external clock is not critical, since an internal divide-by-two provides the desired 50% switching duty cycle. However, since the capacitors are charged only when EXT CLK IN is HIGH, a 50-60% positive duty cycle is favored for frequencies above 500Hz to ensure that any transients have time to settle before the capacitors are turned OFF. The external clock should swing between V^+ and GROUND for power supplies up to ±5V, and between V^+ and V^- +6V for higher supply voltages. Note that a signal at about 400Hz will be present at the EXT CLK IN pin with INT/EXT high or open. This is the internal clock signal before the divider.

In those applications where a strobe signal is available, an alternate approach to avoid capacitor misbalancing during overload can be used. If a strobe signal is connected to EXT CLK IN so that it is low during the time that the overload signal is applied to the amplifier, neither capacitor will be charged. Since the leakage at the capacitor pins is quite low at room temperature, the typical amplifier will drift less than 10μV/sec, and relatively long measurements can be made with little change in offset.

BRIEF APPLICATION NOTES

Component Selection

The two required capacitors, C_{EXTA} and C_{EXTB}, have optimum values depending on the clock or chopping frequency. For the preset internal clock, the correct value is 0.1μF, and to maintain the same relationship between the chopping frequency and the nulling time constant this value should be scaled approximately in proportion if an external clock is used. A high-quality film-type capacitor such as mylar is preferred, although a ceramic or other lower-grade capacitor may prove suitable in many applications. For quickest settling on initial turn-on, low dielectric absorption capacitors (such as polypropylene) should be used. With ceramic capacitors, several seconds may be required to settle to 1μV.

Static Protection

All device pins are static-protected by the use of input diodes. However, strong static fields and discharges should be avoided, as they can cause degraded piece junction characteristics, which may result in increased input-leakage currents.

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

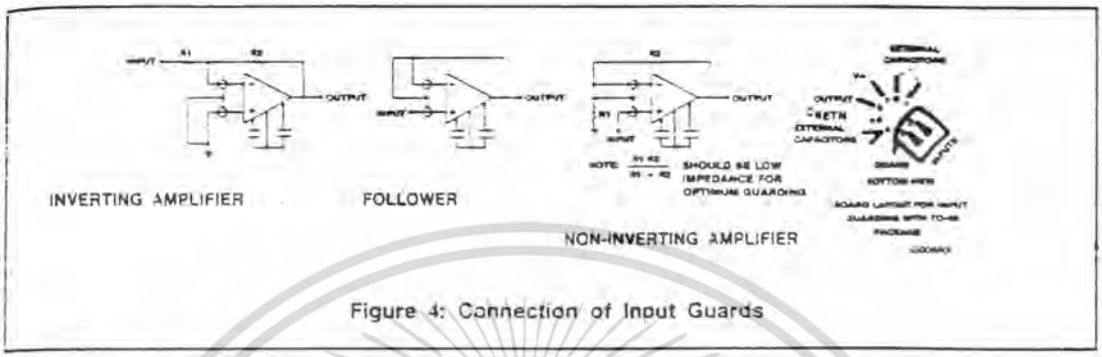


Figure 4: Connection of Input Guards

Latchup Avoidance

Junction-isolated CMOS circuits inherently include a parasitic 4-layer (p-n-p-n) structure which has characteristics similar to an SCR. Under certain circumstances this junction may be triggered into a low-impedance state, resulting in excessive supply current. To avoid this condition, no voltage greater than 0.3V beyond the supply rails should be applied to any pin. In general, the amplifier supplies must be established either at the same time or before any input signals are applied. If this is not possible, the drive circuits must limit input current flow to under 1mA to avoid latchup, even under fault conditions.

Output Stage/Load Driving

The output circuit is a high-impedance type (approximately 18kΩ), and therefore with loads less than this value, the chopper amplifier behaves in some ways like a transconductance amplifier whose open-loop gain is proportional to load resistance. For example, the open-loop gain will be 17dB lower with a 1kΩ load than with a 10kΩ load. If the amplifier is used strictly for DC, this lower gain is of little consequence, since the DC gain is typically greater than 120dB even with a 1kΩ load. However, for wideband applications, the best frequency response will be achieved with a load resistor of 10kΩ or higher. This will result in a smooth 6dB/octave response from 0.1Hz to 2MHz, with phase shifts of less than 10° in the transition region where the main amplifier takes over from the null amplifier.

Thermo-Electric Effects

The ultimate limitations to ultra-high precision DC amplifiers are the thermo-electric or Peltier effects arising in thermocouple junctions of dissimilar metals, alloys, silicon, etc. Unless all junctions are at the same temperature, thermoelectric voltages typically around 0.1μV/°C, but up to tens of μV/°C for some materials, will be generated. In order to realize the extremely low offset voltages that the chopper amplifier can provide, it is essential to take special precautions to avoid temperature gradients. All components should be enclosed to eliminate air movement, especially that caused by power-dissipating elements in the system. Low thermoelectric-coefficient connections should be used where possible and power supply voltages and power dissipation should be kept to a minimum. High-impedance loads are preferable, and good separation from surrounding heat-dissipating elements is advisable.

Guarding

Extra care must be taken in the assembly of printed circuit boards to take full advantage of the low input currents of the ICL7650. Boards must be thoroughly cleaned with TCE or alcohol and blown dry with compressed air. After cleaning, the boards should be coated with epoxy or silicone rubber to prevent contamination.

Even with properly cleaned and coated boards, leakage currents may cause trouble, particularly since the input pins are adjacent to pins that are at supply potentials. This leakage can be significantly reduced by using guarding to lower the voltage difference between the inputs and adjacent metal runs. Input guarding of the 8-lead TO-99 package is accomplished by using a 10-lead pin circle, with the leads of the device formed so that the holes adjacent to the inputs are empty when it is inserted in the board. The guard, which is a conductive ring surrounding the inputs, is connected to a low impedance point that is at approximately the same voltage as the inputs. Leakage currents from high-voltage pins are then absorbed by the guard.

The pin configuration of the 14-pin dual in-line package is designed to facilitate guarding, since the pins adjacent to the inputs are not used (this is different from the standard 741 and 101A pin configuration, but corresponds to that of the LM108).

Pin Compatibility

The basic pinout of the 8-pin device corresponds, where possible, to that of the industry-standard 8-pin devices, the LM741, LM101, etc. The null-storing external capacitors are connected to pins 1 and 8, usually used for offset null or compensation capacitors, or simply not connected. The output-clamp pin (5) is similarly used. In the case of the OP-05 and OP-07 devices, the replacement of the offset-null pot, connected between pins 1 and 8 and V^-, by two capacitors from those pins to V^-, will provide easy compatibility. As for the LM108, replacement of the compensation capacitor between pins 1 and 8 by the two capacitors to V^- is all that is necessary. The same operation, with the removal of any connection to pin 5, will suffice for the LM101, μA748, and similar parts.

The 14-pin device pinout corresponds most closely to that of the LM108 device, owing to the provision of "NC" pins for guarding between the input and all other pins. Since this device does not use any of the extra pins, and has no provision for offset-nulling, but requires a compensation capacitor, some changes will be required in layout to convert it to the ICL7650.

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7650

TYPICAL APPLICATIONS

Clearly the applications of the ICL7650 will mirror those of other op. amps. Anywhere that the performance of a circuit can be significantly improved by a reduction of input-offset voltage and bias current, the ICL7650 is the logical choice. Basic non-inverting and inverting amplifier circuits are shown in Figures 5 and 6. Both circuits can use the output clamping circuit to enhance the overload recovery performance. The only limitations on the replacement of other op amps by the ICL7650 are the supply voltage (±8V max.) and the output drive capability (10kΩ load for full swing). Even these limitations can be overcome using a simple booster circuit, as shown in Figure 7, to enable the full output capabilities of the LM741 (or any other standard device) to be combined with the input capabilities of the ICL7650. The pair form a composite device, so loop gain stability, when the feedback network is added, should be watched carefully.

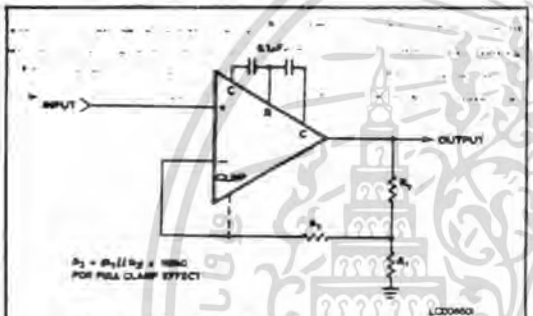


Figure 5: Non Inverting Amplifier With (Optional Clamp)

NOTE: $R_1//R_2$ INDICATES THE PARALLEL COMBINATION OF R_1 AND R_2

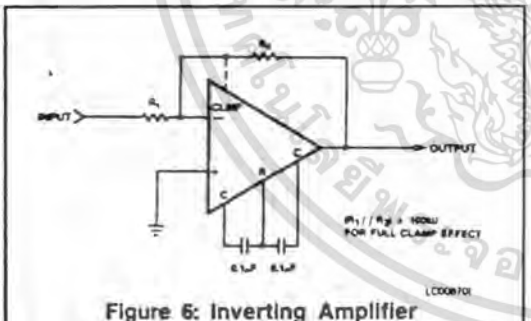


Figure 6: Inverting Amplifier With (Optional) Clamp

NOTE: $R_1//R_2$ INDICATES THE PARALLEL COMBINATION OF R_1 AND R_2

Figure 6 shows the use of the clamp circuit to advantage in a zero-offset comparator. The usual problems in using a chopper stabilized amplifier in this application are avoided, since the clamp circuit forces the inverting input to follow the input signal. The threshold input must tolerate the output clamp current ≈ V_{IN}/R without disturbing other portions of the system.

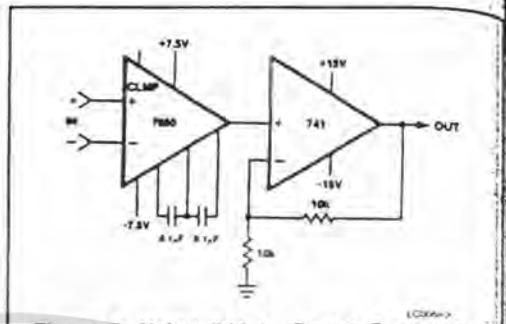


Figure 7: Using 741 to Boost Output Drive Capacity

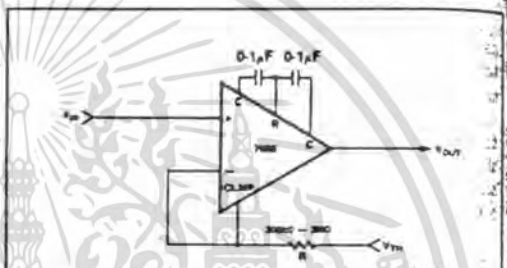


Figure 8: Low Offset Comparator

Normal logarithmic amplifiers are limited in dynamic range in the voltage-input mode by their input-offset voltage. The built-in temperature compensation and convenience features of the ICL8048 can be extended to a voltage-input dynamic range of close to 6 decades by using the ICL7650 to offset-null the ICL8048, as shown in Figure 8. The same concept can also be used with such devices as the HA2500 or HA2600 families of op amps to add very low offset voltage capability to their very high slew rates and bandwidths. Note that these circuits will also have their DC gains, CMRR, and PSRR enhanced.

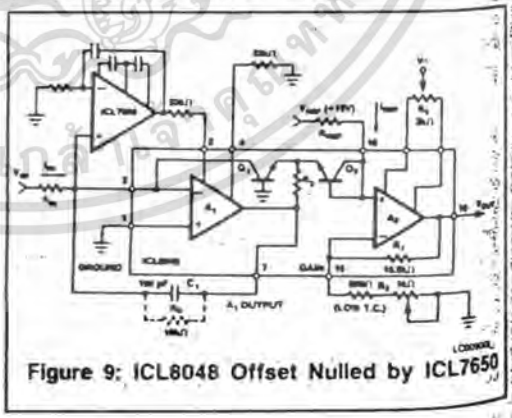


Figure 9: ICL8048 Offset Nulled by ICL7650

FOR FURTHER APPLICATIONS ASSISTANCE, SEE A053 AND R017

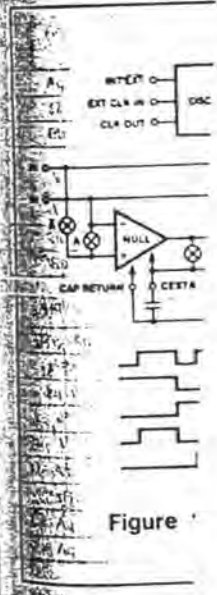
Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

INTERSIL

ICL7652
Chopper-Stabi
Operational Ar

GENERAL DESCRIPT

The ICL7652 chopper-sta
pically low input offset volta
respect to time and tempera
ICL7650 but offers improv
wider common-mode input
and slew rate are reduced
INTERSIL's unique CMC
circuitry is user-transparent
ional chopper amplifier p
fects, chopping spikes, an
The chopper amplifier ac
ng the inverting and non-in
amplifier, nulled by alterna
pacitors are required to
the two amplifier nulling in
components necessary.
The clock oscillator an
ntirely self-contained, ho
a provision for the use of
particular application. In
compensated for unity-g



Figure

All typical value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7660
CMOS Voltage Converter

INTERSIL

GENERAL DESCRIPTION

The Intersil ICL7660 is a monolithic CMOS power supply circuit which offers unique performance advantages over previously available devices. The ICL7660 performs supply voltage conversion from positive to negative for an input range of +1.5V to +10.0V, resulting in complementary output voltages of −1.5V to −10.0V. Only 2 non-critical external capacitors are needed for the charge pump and charge reservoir functions. The ICL7660 can also be connected to function as a voltage doubler and will generate output voltages up to +18.6V with a +10V input. Note that an additional diode is required for V_{SUPPLY} > 6.5V.

Contained on chip are a series DC power supply regulator, RC oscillator, voltage level translator, and four output power MOS switches. A unique logic element senses the most negative voltage in the device and ensures that the output N-channel switch source-substrate junctions are not forward biased. This assures latchup free operation.

The oscillator, when unloaded, oscillates at a nominal frequency of 10kHz for an input supply voltage of 5.0 volts. This frequency can be lowered by the addition of an external capacitor to the "OSC" terminal, or the oscillator may be overdriven by an external clock.

The "LV" terminal may be tied to GROUND to bypass the internal series regulator and improve low voltage (LV) operation. At medium to high voltages (+3.5 to +10.0 volts), the LV pin is left floating to prevent device latchup.

FEATURES

- **Simple Conversion of +5V Logic Supply to ±5V Supplies**
- **Simple Voltage Multiplication (V_{OUT} = (−) nV_{IN})**
- **99.9% Typical Open Circuit Voltage Conversion Efficiency**
- **98% Typical Power Efficiency**
- **Wide Operating Voltage Range 1.5V to 10.0V**
- **Easy to Use — Requires Only 2 External Non-Critical Passive Components**

APPLICATIONS

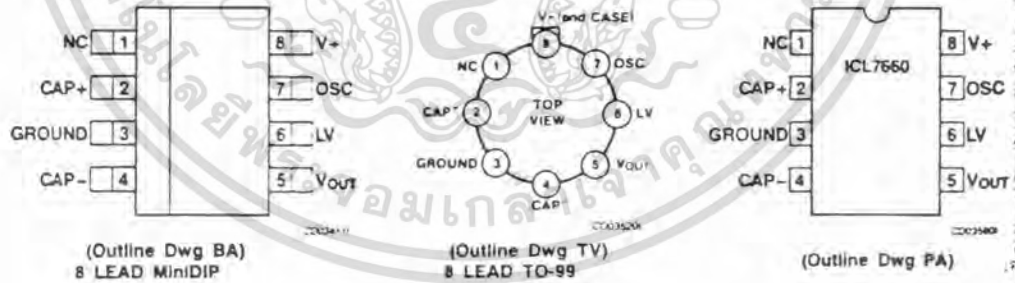
- **On Board Negative Supply for Dynamic RAMs**
- **Localized μ-Processor (8080 Type) Negative Supplies**
- **Inexpensive Negative Supplies**
- **Data Acquisition Systems**

ORDERING INFORMATION

PART NUMBER	TEMP. RANGE	PACKAGE
ICL7660CTV	0° to +70°C	TO-99
ICL7660CBA	0°C to +70°C	8 PIN SOIC
ICL7660CPA	0° to +70°C	8 PIN MINI DIP
ICL7660MTV*	−55° to +125°C	TO-99
ICL7660/D	-	DICE**

*Add /883B to part number if 883B processing is required.

**Parameter min/max limits guaranteed at 25°C only for DICE orders.



(Outline Dwg BA)
8 LEAD MiniDIP

(Outline Dwg TV)
8 LEAD TO-99

(Outline Dwg PA)

Figure 1: Pin Configurations

302063-003

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V Logic Supply to

ion (V_{OUT} = (−) nV_{IN})
uit Voltage Conversion

ency
Range 1.5V to 10.0V
Only 2 External
ponents

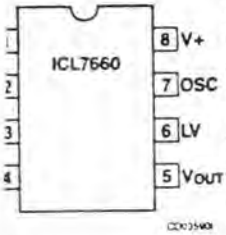
ly for Dynamic RAMs
080 Type) Negative

pplies
s

TION

NGE	PACKAGE
0°C	TO-99
70°C	8 PIN SOIC
0°C	8 PIN MINI DIP
125°C	TO-99
	DICE**

processing is required.
eed at 25°C only for DICE orders.



(Outline Dwg PA)

302063-003

ICL7660

INTERSIL

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage 10.5V
LV and OSC Input Voltage
(Note 1) ..... −0.3V to (V^- +0.3V) for V^+ < 5.5V
(V^+ −5.5V) to (V^+ +0.3V) for V^+ > 5.5V
Current into LV (Note 1) ..... 20μA for V+ > 3.5V
Output Short Duration (V_{SUPPLY} ≤ 5.5V) ..... Continuous
Power Dissipation (Note 2)
ICL7660CTV 500mW
ICL7660CPA 300mW
ICL7660MTV 500mW

Operating Temperature Range
ICL7660M ..... −55°C to +125°C
ICL7660C ..... 0°C to +70°C
Storage Temperature Range ..... −65°C to +150°C
Lead Temperature
(Soldering, 10sec) ..... 300°C

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

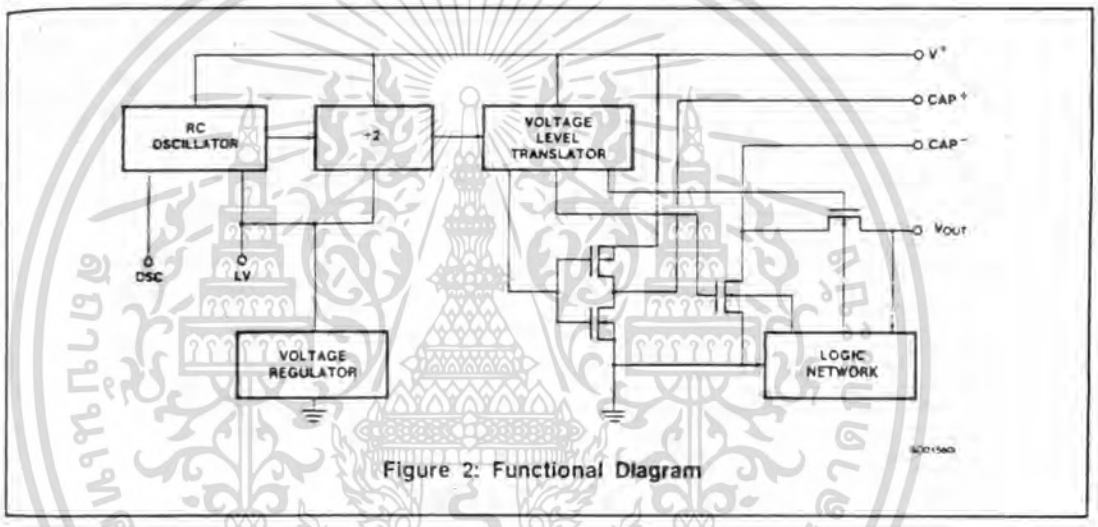


Figure 2: Functional Diagram

OPERATING CHARACTERISTICS

V^+ = 5V, T_A = 25°C, C_{OSC} = 0, Test Circuit Figure 3 (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
I^+	Supply Current	R_L = ∞		170	500	μA
V^+_{H1}	Supply Voltage Range – Hi	0°C ≤ T_A ≤ 70°C, R_L = 10kΩ, LV Open	3.0		6.5	V
	(D_X out of circuit) (Note 3)	−55°C ≤ T_A ≤ 125°C, R_L = 10kΩ, LV Open	3.0		5.0	V
V^+_{L1}	Supply Voltage Range – Lo (D_X out of circuit)	MIN ≤ T_A ≤ MAX, R_L = 10kΩ, LV to GROUND	1.5		3.5	V
V^+_{H2}	Supply Voltage Range – Hi (D_X in circuit)	MIN ≤ T_A ≤ MAX, R_L = 10kΩ, LV Open	3.0		10.0	V
V^+_{L2}	Supply Voltage Range – Lo (D_X in circuit)	MIN ≤ T_A ≤ MAX, R_L = 10kΩ, LV to GROUND	1.5		3.5	V

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7660

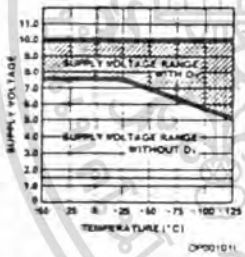
OPERATING CHARACTERISTICS (CONT.)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
R_{OUT}	Output Source Resistance	I_{OUT} = 20mA, T_A = 25°C		55	100	Ω
		I_{OUT} = 20mA, 0°C ≤ T_A ≤ +70°C			120	Ω
		I_{OUT} = 20mA, −55°C ≤ T_A ≤ +125°C (Note 3)			150	Ω
		V^+ = 2V, I_{OUT} = 3mA, LV to GROUND 0°C ≤ T_A ≤ +70°C			300	Ω
		V^+ = 2V, I_{OUT} = 3mA, LV to GROUND, −55°C ≤ T_A ≤ +125°C, D_X in circuit (Note 3)			400	Ω
f_{OSC}	Oscillator Frequency			10		kHz
P_{EI}	Power Efficiency	R_L = 5kΩ	95	98		%
$V_{OUT\ EI}$	Voltage Conversion Efficiency	R_L = ∞	97	99.9		%
Z_{OSC}	Oscillator Impedance	V^+ = 2 Volts		1.0		MΩ
		V = 5 Volts		100		kΩ

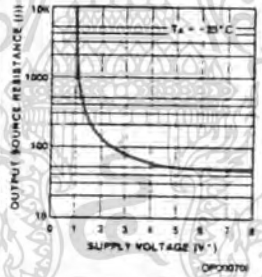
Notes: 1. Connecting any input terminal to voltages greater than V+ or less than GROUND may cause destructive latchup. It is recommended that no inputs from sources operating from external supplies be applied prior to "power up" of the ICL7660.
2. Derate linearly above 50°C by 5.5mW/°C.
3. ICL7660M only.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 3)

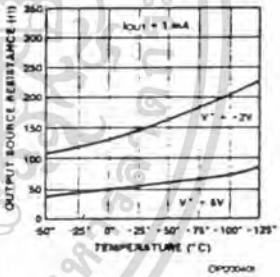
OPERATING VOLTAGE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE



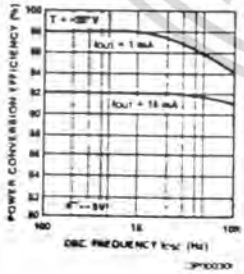
OUTPUT SOURCE RESISTANCE AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



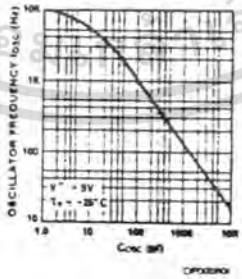
OUTPUT SOURCE RESISTANCE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE



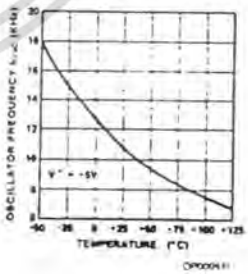
POWER CONVERSION EFFICIENCY AS A FUNCTION OF OSC. FREQUENCY



FREQUENCY OF OSCILLATION AS A FUNCTION OF EXTERNAL OSC. CAPACITANCE



UNLOADED OSCILLATOR FREQUENCY AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

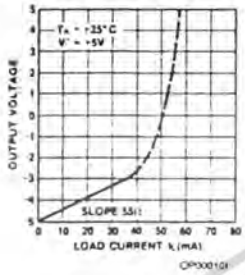


Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

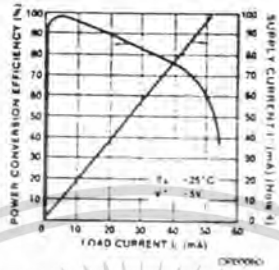
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (CONT.)

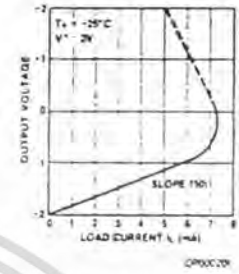
OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF OUTPUT CURRENT



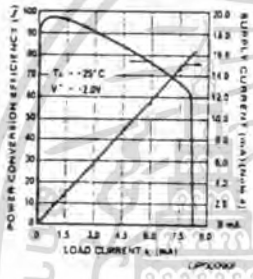
SUPPLY CURRENT & POWER CONVERSION EFFICIENCY AS A FUNCTION OF LOAD CURRENT



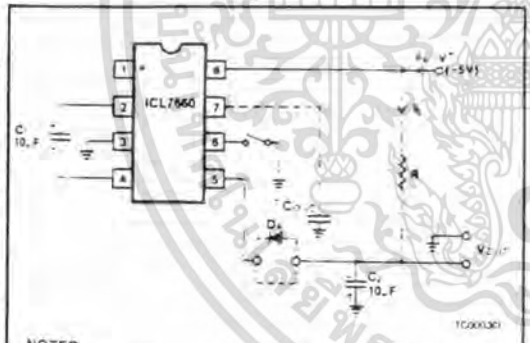
OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF OUTPUT CURRENT



SUPPLY CURRENT & POWER CONVERSION EFFICIENCY AS A FUNCTION OF LOAD CURRENT



NOTE 4. These curves include in the supply current that current fed directly into the load R_L from V^+ (see Figure 3). Thus, approximately half the supply current goes directly to the positive side of the load, and the other half, through the ICL7660, to the negative side of the load. Ideally, $V_{OUT} \cong 2\ V_{IN}$, $I_S \cong 2\ I_L$, so $V_{IN} \cdot I_S \cong V_{OUT} \cdot I_L$.



NOTES:

1. For large values of C_{OSC} (> 1000pF) the values of C_1 and C_2 should be increased to 100μF.
2. D_X is required for supply voltages greater than 6.5V @ $-55°C \le T_A \le +70°C$, refer to performance curves for additional information.

Figure 3: ICL7660 Test Circuit

DETAILED DESCRIPTION

The ICL7660 contains all the necessary circuitry to complete a negative voltage converter, with the exception of 2 external capacitors which may be inexpensive 10μF polarized electrolytic types. The mode of operation of the device may be best understood by considering Figure 4, which shows an idealized negative voltage converter. Capacitor C_1 is charged to a voltage, V^+, for the half cycle when switches S_1 and S_3 are closed. (Note: Switches S_2 and S_4 are open during this half cycle.) During the second half cycle of operation, switches S_2 and S_4 are closed, with S_1 and S_3 open, thereby shifting capacitor C_1 negatively by V^+ volts. Charge is then transferred from C_1 to C_2 such that the voltage on C_2 is exactly V^+, assuming ideal switches and no load on C_2. The ICL7660 approaches this ideal situation more closely than existing non-mechanical circuits.

In the ICL7660, the 4 switches of Figure 4 are MOS power switches; S_1 is a P-channel device and S_2, S_3 & S_4 are N-channel devices. The main difficulty with this approach is that in integrating the switches, the substrates of S_3 & S_4 must always remain reverse biased with respect to their sources, but not so much as to degrade their "ON" resistances. In addition, at circuit startup, and under output short circuit conditions ($V_{OUT} = V^+$), the output voltage must be sensed and the substrate bias adjusted accordingly. Failure to accomplish this would result in high power losses and probable device latchup.

This problem is eliminated in the ICL7660 by a logic network which senses the output voltage (V_{OUT}) together with the level translators, and switches the substrates of S_3 & S_4 to the correct level to maintain necessary reverse bias.

The voltage regulator portion of the ICL7660 is an integral part of the anti-latchup circuitry, however its inherent voltage drop can degrade operation at low voltages.

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7660

OPERATIN'

operation the "LV" pin disabling the regulator. volts the LV terminal proof operation, and

SYMBOLIZATION

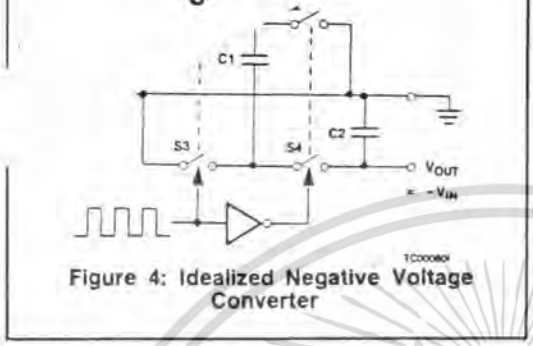


Figure 4: Idealized Negative Voltage Converter

THEORETICAL POWER EFFICIENCY CONSIDERATIONS

In theory a voltage converter can approach 100% efficiency if certain conditions are met:

A The drive circuitry consumes minimal power.

B The output switches have extremely low ON resistance and virtually no offset.

C The impedances of the pump and reservoir capacitors are negligible at the pump frequency.

The ICL7660 approaches these conditions for negative voltage conversion if large values of C_1 and C_2 are used.

ENERGY IS LOST ONLY IN THE TRANSFER OF CHARGE BETWEEN CAPACITORS IF A CHANGE IN VOLTAGE OCCURS. The energy lost is defined by:

$$E = 1/2\ C_1\ (V_1^2 - V_2^2)$$

where V_1 and V_2 are the voltages on C_1 during the pump and transfer cycles. If the impedances of C_1 and C_2 are relatively high at the pump frequency (refer to Figure 4) compared to the value of R_L, there will be a substantial difference in the voltages V_1 and V_2. Therefore it is not only desirable to make C_2 as large as possible to eliminate output voltage ripple, but also to employ a correspondingly large value for C_1 in order to achieve maximum efficiency of operation.

DO'S AND DON'TS

1. Do not exceed maximum supply voltages.
2. Do not connect LV terminal to GROUND for supply voltages greater than 3.5 volts.
3. Do not short circuit the output to V^+ supply for supply voltages above 5.5 volts for extended periods, however, transient conditions including startup are okay.
4. When using polarized capacitors, the + terminal of C_1 must be connected to pin 2 of the ICL7660 and the + terminal of C_2 must be connected to GROUND.
5. Add diode D_X as shown in Figure 3 for high-voltage, elevated temperature applications.
6. Add capacitor (~ 0.1μF, disc) from pin 8 to ground to limit rate of rise of input voltage to approximately 2V/μs.

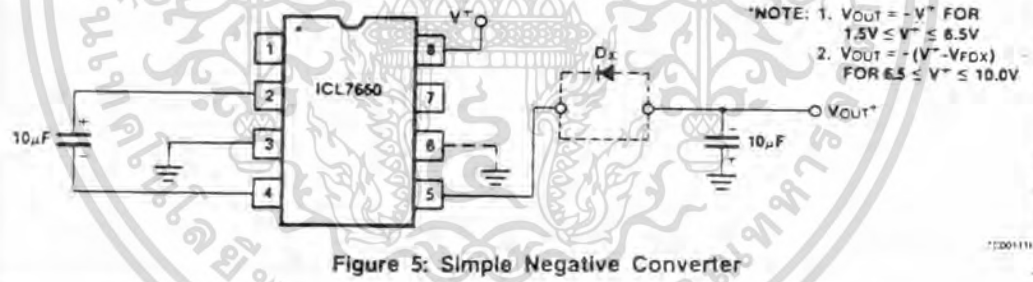


Figure 5: Simple Negative Converter

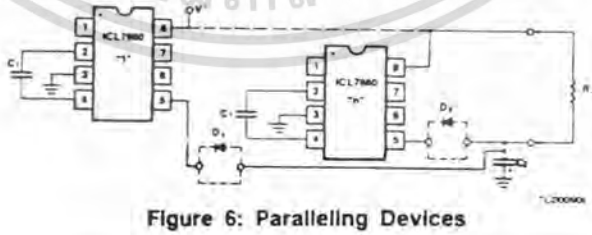


Figure 6: Paralleling Devices

Note All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

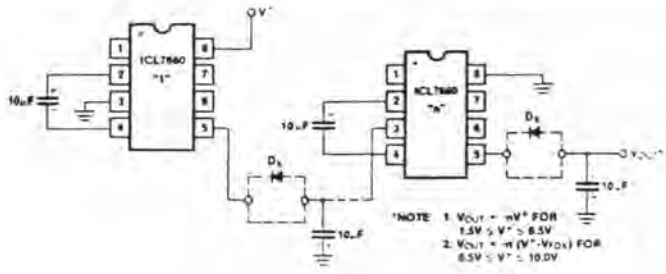


Figure 7: Cascading Devices for Increased Output Voltage

CONSIDERATIONS FOR HIGH VOLTAGE & ELEVATED TEMPERATURE

The ICL7660 will operate efficiently over its specified temperature range with only 2 external passive components (storage & pump capacitors), provided the operating supply voltage does not exceed 6.5 volts at +70°C and 5.0 volts at +125°C. Exceeding these maximums at the temperatures indicated may result in destructive latchup of the ICL7660. (Ref: Graph "Operating Voltage Vs. Temperature")

Operation at supply voltages of up to 10.0 volts over the full temperature range without danger of latchup can be achieved by adding a general purpose diode in series with the ICL7660 output, as shown by "D_X" in the circuit diagrams. The effect of this diode on overall circuit performance is the reduction of output voltage by one diode drop (approximately 0.6 volts).

TYPICAL APPLICATIONS

Simple Negative Voltage Converter

The majority of applications will undoubtedly utilize the ICL7660 for generation of negative supply voltages. Figure 5 shows typical connections to provide a negative supply where a positive supply of +1.5V to +10.0 volts is available. Keep in mind that pin 6 (LV) is tied to the supply negative (GND) for supply voltages below 3.5 volts, and that diode D_X must be included for proper operation at higher voltages and/or elevated temperatures.

The output characteristics of the circuit in Figure 5 are those of a nearly ideal voltage source in series with 55 ohms. Thus for a load current of −10mA and a supply voltage of +5 volts, the output voltage will be −4.3 volts. The dynamic output impedance due to the capacitor impedances is approximately $1/\omega C$, where:

$$C = C_1 = C_2$$

$$\text{which gives } \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f_{PUMP} \times 10^{-5}} \cong 3 \text{ ohms}$$

for C = 10µF and f_{PUMP} = 5kHz (1/2 of oscillator frequency)

Paralleling Devices

Any number of ICL7660 voltage convertors may be paralleled to reduce output resistance. The reservoir capacitor, C_2, serves all devices while each device requires its own pump capacitor, C_1. The resultant output resistance would be approximately:

$$R_{OUT} = \frac{R_{OUT} \text{ (of ICL7660)}}{n \text{ (number of devices)}}$$

Cascading Devices

The ICL7660 may be cascaded as shown to produce larger negative multiplication of the initial supply voltage. However, due to the finite efficiency of each device, the practical limit is 10 devices for light loads. The output voltage is defined by:

$$V_{OUT} = -n\ (V_{IN}).$$

where n is an integer representing the number of devices cascaded. The resulting output resistance would be approximately the weighted sum of the individual ICL7660 R_{OUT} values.

Changing the ICL7660 Oscillator Frequency

It may be desirable in some applications, due to noise or other considerations, to increase the oscillator frequency. This is achieved by overdriving the oscillator from an external clock, as shown in Figure 8. In order to prevent possible device latchup, a 1kΩ resistor must be used in series with the clock output. In a situation where the designer has generated the external clock frequency using TTL logic, the addition of a 10kΩ pullup resistor to V^+ supply is required. Note that the pump frequency with external clocking, as with internal clocking, will be 1/2 of the clock frequency. Output transitions occur on the positive-going edge of the clock.

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

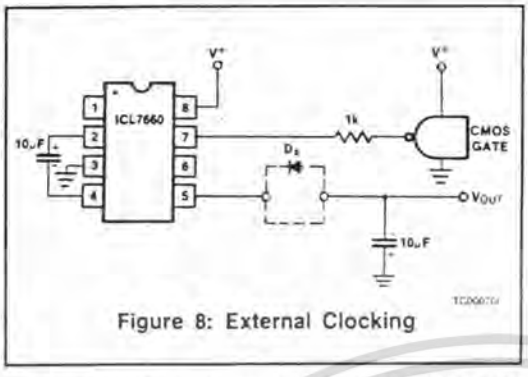


Figure 8: External Clocking

It is also possible to increase the conversion efficiency of the ICL7660 at low load levels by lowering the oscillator frequency. This reduces the switching losses, and is shown in Figure 9. However, lowering the oscillator frequency will cause an undesirable increase in the impedance of the pump (C_1) and reservoir (C_2) capacitors; this is overcome by increasing the values of C_1 and C_2 by the same factor that the frequency has been reduced. For example, the addition of a 100pF capacitor between pin 7 (Osc) and V^+ will lower the oscillator frequency to 1kHz from its nominal frequency of 10kHz (a multiple of 10), and thereby necessitate a corresponding increase in the value of C_1 and C_2 (from 10µF to 100µF).

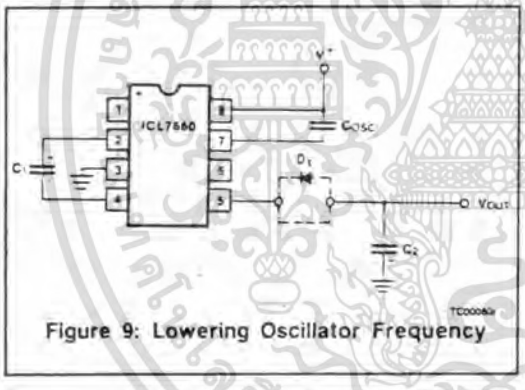


Figure 9: Lowering Oscillator Frequency

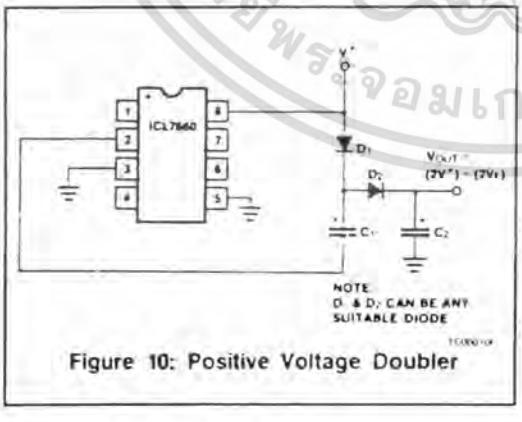


Figure 10: Positive Voltage Doubler

Positive Voltage Doubling

The ICL7660 may be employed to achieve positive voltage doubling using the circuit shown in Figure 10. In this application, the pump inverter switches of the ICL7660 are used to charge C_1 to a voltage level of $V^+ - V_F$ (where V_F is the supply voltage and V_F is the forward voltage drop of diode D_1). On the transfer cycle, the voltage on C_1 plus the supply voltage (V^+) is applied through diode D_2 to capacitor C_2. The voltage thus created on C_2 becomes $(2V^+) - (2V_F)$ or twice the supply voltage minus the combined forward voltage drops of diodes D_1 and D_2.

The source impedance of the output (V_{OUT}) will depend on the output current, but for $V^+ = 5$ volts and an output current of 10mA it will be approximately 60 ohms.

Combined Negative Voltage Conversion and Positive Supply Doubling

Figure 11 combines the functions shown in Figures 5 and 10 to provide negative voltage conversion and positive voltage doubling simultaneously. This approach would be, for example, suitable for generating +9 volts and −5 volts from an existing +5 volt supply. In this instance capacitors C_1 and C_3 perform the pump and reservoir functions respectively for the generation of the negative voltage, while capacitors C_2 and C_4 are pump and reservoir respectively for the doubled positive voltage. There is a penalty in this configuration which combines both functions, however, in that the source impedances of the generated supplies will be somewhat higher due to the finite impedance of the common charge pump driver at pin 2 of the device.

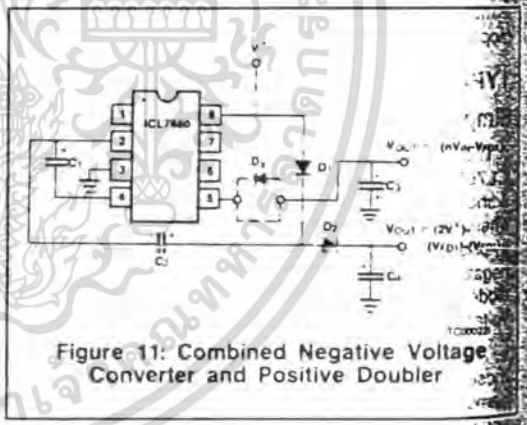


Figure 11: Combined Negative Voltage Converter and Positive Doubler

Voltage Splitting

The bidirectional characteristics can also be used to split a higher supply in half, as shown in Figure 12. The combined load will be evenly shared between the two sides, and a high value resistor to the LV pin ensures start-up. Because the switches share the load in parallel, the output impedance is much lower than in the standard circuits, and higher currents can be drawn from the device. By using this circuit, and then the circuit of Figure 7, +15V can be converted (via +7.5, and −7.5) to a nominal −15V, although with rather high series output resistance (~250Ω).

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

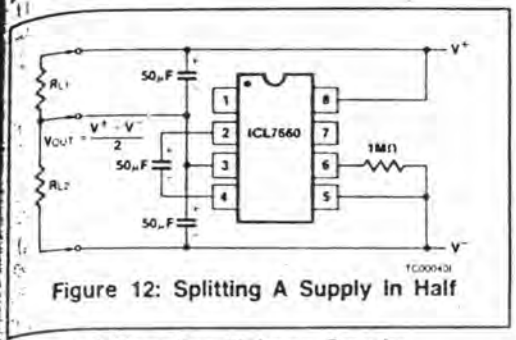


Figure 12: Splitting A Supply In Half

Regulated Negative Voltage Supply

In some cases, the output impedance of the ICL7660 can be a problem, particularly if the load current varies substantially. The circuit of Figure 13 can be used to overcome this by controlling the input voltage, via an ICL7611 low-power CMOS op amp, in such a way as to maintain a nearly constant output voltage. Direct feedback is inadvisable, since the ICL7660's output does not respond instantaneously to change in input, but only after the switching delay. The circuit shown supplies enough delay to accommodate the 7660, while maintaining adequate feedback. An increase in pump and storage capacitors is desirable, and the values shown provides an output impedance of less than 5Ω to a load of 10mA.

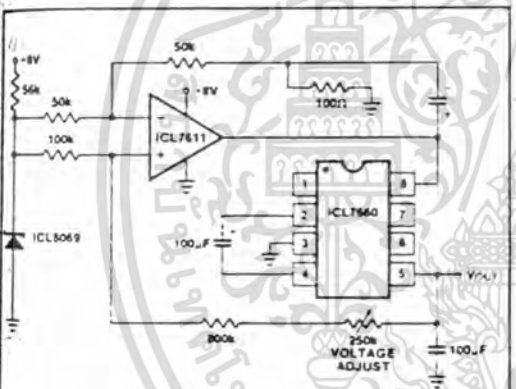


Figure 13: Regulating the Output Voltage

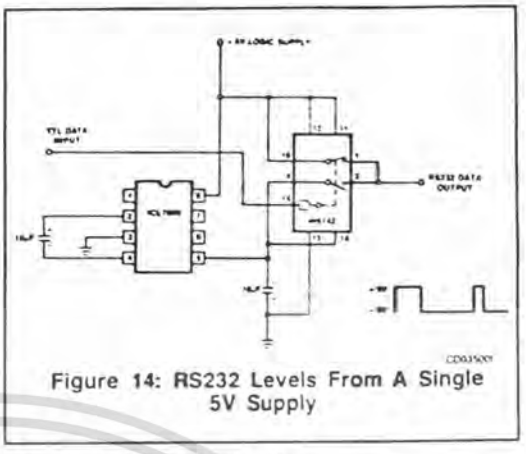


Figure 14: RS232 Levels From A Single 5V Supply

OTHER APPLICATIONS

Further information on the operation and use of the ICL7660 may be found in A051 "Principals and Applications of the ICL7660 CMOS Voltage Converter" by Peter Bradshaw and Dave Bingham.

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

ET-PCDIO

ETT CO.,LTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET-DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD

ET-DIO CARD

ลักษณะทั่วๆไปของ ET-DIO CARD

ET-DIO CARD เป็นลักษณะของ PC CARD ใช้เชื่อมต่อกับเครื่อง PC เพื่อขยายระบบอินพุทและเอ้าท์พุท ให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้นซึ่ง ET-DIO CARD สามารถที่จะรับสัญญาณอินพุทและให้สัญญาณเอ้าท์พุทออกมาได้ทั้งในรูปของ Analog และ Digital ทำให้มีความอ่อนตัวในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆได้มากยิ่งขึ้น ซึ่ง ET-DIO CARD มีอุปกรณ์ร่วมและมีจุดเด่นๆ ของตัวมันเองดังนี้คือ

- มี ไอซี 8255 (Programmable Pheripheral Interface) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะใช้โปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุทและเอ้าต์พุทตามความต้องการของผู้ใช้เองได้ทั้งหมด 3 พอร์ต หรือ 24 บิต I/O ในรูปของสัญญาณ Digital นั่นเอง

- มี ไอซี 8253 (Programmable Interval Timer) จำนวน 1 ตัว ทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบฐานเวลาต่างๆ ได้มากมาย เช่น

1. โปรแกรมให้ทำงานเป็นวงจรสร้างฐานเวลาแบบต่างๆ
2. โปรแกรมให้เป็นวงจรนับแบบต่างๆ
3. โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณ Interrupt ให้เครื่อง PC
4. โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณ Square Wave
5. โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างความถี่

ซึ่ง IC 8253 นี้ มีโครงสร้างภายในให้ใช้งานถึง 3 แชนแนล และแต่ละแชนแนล ทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มี ไอซี ADC (Analog to Digital Converter) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ ADC0804 (8 บิต) หรือ ADC1001(10 บิต) ซึ่งทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับ หรือการวัดสัญญาณหรือรับสัญญาณอินพุทในรูปของสัญญาณ Analog ได้ 1 channal ซึ่งขนาดของสัญญาณ Analog ที่รับเข้ามาสามารถที่จะรับได้โดยตรงสูงถึง 5VDC หรือมากกว่าโดยเพิ่มวงจรขยายย่านวัดเข้าไปอีกเล็กน้อย ทำให้ ET-DIO CARD สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณต่างๆได้มากมายเช่น

1. เครื่องวัดแรงดัน
2. เครื่องวัดกระแส
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดความต้านทาน
5. เครื่องวัดความจุ

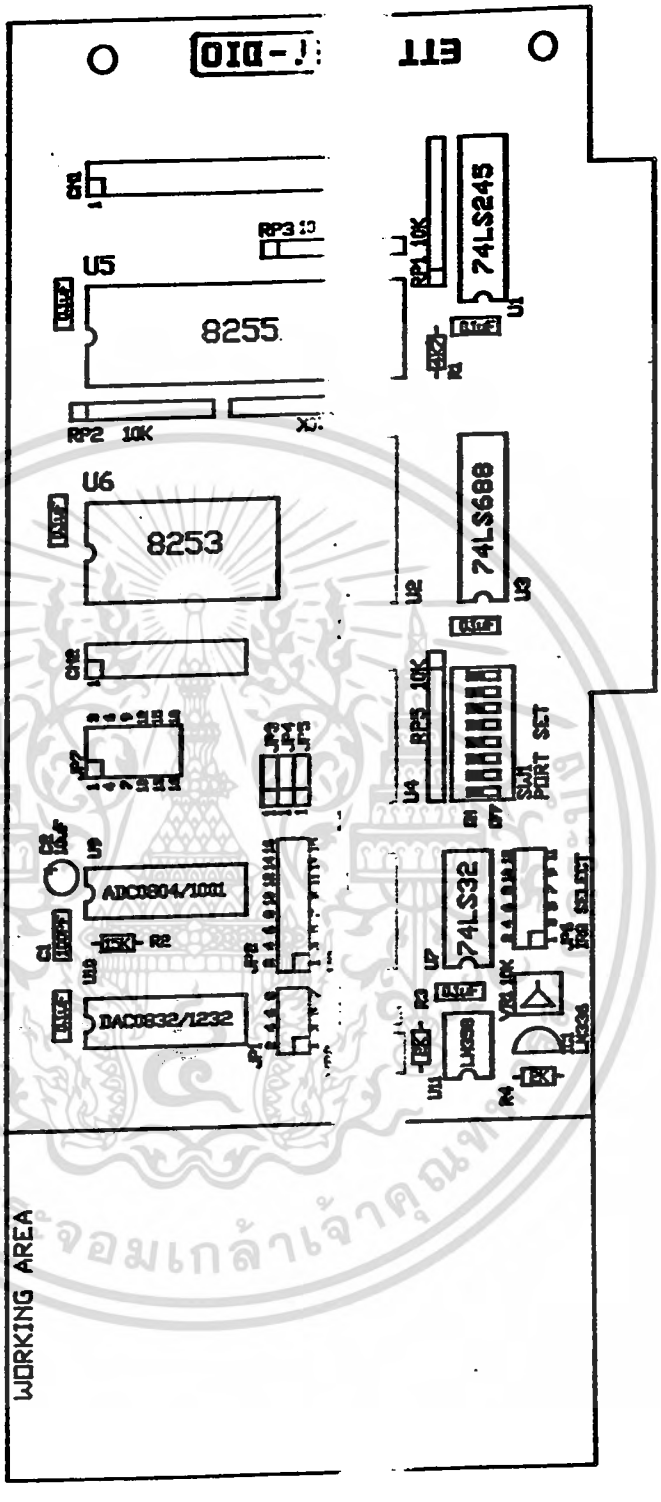
ซึ่งผลของการวัดแบบต่างๆ สามารถที่จะนำมาเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลหรือแสดงผลในรูปแบบอื่นๆได้ตามต้องการโดยผู้ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมเอง

- มีไอซี DAC (Digital to Analog Converter) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ DAC0832 (8 บิต)หรือ DAC1232 (12 บิต) ซึ่งเลือกได้โดยการ Set Jumper JP1 (ดูรายละเอียดเรื่องการ Setup Jumper) ทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยส่งสัญญาณในรูปของ Analog ออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งขนาดของสัญญาณ Analog มีวงจร OP - AMP เพื่อขยายขนาดของสัญญาณอยู่แล้วซึ่งผู้ใช้สามารถปรับขนาดของสัญญาณได้ตั้งแต่ 0 V - 10.66 VDC

- มีวงจรถอดรหัสตำแหน่งของพอร์ตที่จะใช้งาน ทำให้สะดวกในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพอร์ต ที่จะใช้งานได้ง่ายโดยการ SET DIP-SWITCH ทำให้มีความอ่อนตัวในการใช้งาน และสามารถที่จะนำ ET-DIO CARD ต่อร่วมกับเครื่อง PC ได้มากกว่า 1 CARD โดยกำหนดพอร์ตใช้งานที่แตกต่างกัน (ดูรายละเอียดเพิ่ม-เติมเรื่องการ DECODE PORT)

- มี Working Arear มากถึง 5 CM x 9 CM ทำให้มีพื้นที่ว่างใช้งานมากยิ่งขึ้นจึงทำให้ผู้ใช้ สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานต่อวงจรหรือเพิ่มเติมอุปกรณ์ต่างๆได้มากมายและสะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ DECODE PORT

ตำแหน่งของพอร์ต บน ET-DIO CARD จะใช้ IC TTL 74LS688 (U3) 74LS139 (U4) 74LS32 (U7) SWITCH DIP-8 (SW1) ต่อร่วมกันเป็นวงจร DECODE PORT โดยใช้ SWITCH1 เป็นตัวกำหนดเบอร์ พอร์ต ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยใน ET-DIO CARD จะใช้ตำแหน่งของพอร์ต ทั้งหมด 12 พอร์ต คือ

XX0H = Port PA ของ 8255
XX1H = Port PB ของ 8255
XX2H = Port PC ของ 8255
XX3H = Port Control ของ 8255
XX4H = Port Counter0 ของ 8253
XX5H = Port Counter1 ของ 8253
XX6H = Port Counter2 ของ 8253
XX7H = Port Control ของ 8253
XX8H = Port Control ของ DAC
XX9H = Port Control ของ DAC
XXAH = Port Control ของ ADC
XXBH = Port Control ของ ADC

เราสามารถที่จะกำหนดเบอร์พอร์ต ได้โดยการกำหนดระดับ Logic ให้กับตำแหน่ง ADDRESS นั้นๆ ตามความต้องการ ซึ่งบน ET-DIO CARD สามารถที่จะกำหนดระดับของ Logic ให้กับตำแหน่ง ADDRESS ใดๆ โดยใช้ SWITCH1 ซึ่งหาก ON SWITCH จะได้ระดับ Logic "0" หาก OFF SWITCH จะได้ระดับ Logic "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น ถ้าเราต้องการกำหนดตำแหน่ง Port ADDRESS เป็น 300H สามารถที่จะทำได้ดังนี้คือ

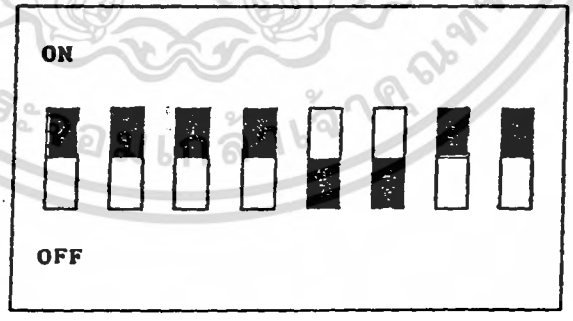
1.กำหนดระดับ Logic ให้กับ ADDRESS ต่างๆ ให้เท่ากับ 300H คือ

A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	0	1	1	0	0	0	0	X	X	X	X

3 0 0

จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง Port 300H เราต้องให้ Logic "1" กับตำแหน่ง ADDRESS A8,A9 และต้องให้ Logic "0" กับ ADDRESS A11,A10,A7, A6,A5,A4 (ซึ่ง A4 - A11 ถูกต่อไว้กับ Dip-Switch SW1) ส่วน A0 - A3 ถูก DECODE ด้วยไอซี 74LS139 อีกทีหนึ่ง ดังนั้น SW1 จึงมีหน้าเลือก ADDRESS เพียงสองหลักเท่านั้น

2.SET SWITCH เพื่อกำหนด Logic ให้ตำแหน่ง ADDRESS ตามข้อ 1

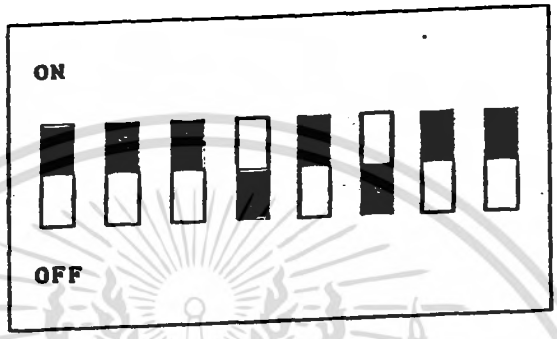


A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการกำหนดตำแหน่ง ADDRESS 280H จะได้

A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	0	1	0	1	0	0	0	X	X	X	X
2				8				0			



A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11

ซึ่งเมื่อเรากำหนดให้ ET-DIO CARD มีค่าตำแหน่งเท่าได้แล้วการใช้งานอุปกรณ์ใดๆ บน ET-DIO CARD ต้องอ้างตำแหน่งนั้นๆเสมอ เช่น เรากำหนดให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ตำแหน่ง 300H (ON SWITCH ที่ตำแหน่ง 1,2,3,4,7,8 และ OFF SWITCH ที่ตำแหน่ง 5,6) จะมีผลทำให้เบอร์ Port เป็นดังนี้คือ

300H = Port PA ของ 8255
301H = Port PB ของ 8255
302H = Port PC ของ 8255
303H = Port Control ของ 8255
304H = Port Counter0 ของ 8253
305H = Port Counter1 ของ 8253
306H = Port Counter2 ของ 8253
307H = Port Control ของ 8253
308H = Port Control ของ DAC
309H = Port Control ของ DAC
30AH = Port Control ของ ADC
30BH = Port Control ของ ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I/O Address Map

Hex Range	Usage
000H - 00FH	DMA Chip 8237A-5
020H - 021H	Interrupt 8259A
040H - 043H	Timer 8253-5
060H - 063H	PPI 8255A-5
080H - 083H	DMA Page Registers
0AX*	NMI Mask Register
0CX	Reserved
0EX	Reserved
200H - 20FH	Game Control
210H - 217H	Expansion Unit
220H - 24FH	Reserved
278H - 27FH	Reserved
2F0H - 2F7H	Reserved
2F8H - 2FFH	Asynchronous Communications (Secondary)
300H - 31FH	Prototype Card
320H - 32FH	Fixed Disk
378H - 37FH	Printer
380H - 38CH**	SDLC Communication
380H - 389H**	Binary Synchronous Communications (Sec.)
3A0H - 3A9H	Binary Synchronous Communications (Pri.)
3B0H - 3BFH	IBM Monochrom Display/Printer
3C0H - 3CFH	Reserved
3D0H - 3DFH	Color/Graphics
3E0H - 3E7H	Reserved
3F0H - 3F7H	Diskette
3F8H - 3FFH	Asynchronous Communications (Primary)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน 8255 (Programmable Pheripheral Interface)

ไอซี 8255 (Programmable Pheripheral Interface) เป็นไอซี ประกอบด้วยพอร์ตใช้งานถึง 3 พอร์ตและ พอร์ตควบคุม (CONTROL PORT) อีก 1 พอร์ต รวมเป็น 4 พอร์ต ซึ่งไอซี 8255 สามารถที่จะโปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุทและเอ้าท์พุทได้ทั้ง 3 พอร์ต หรือ 24 บิต I/O โดยการกำหนดที่พอร์ตควบคุม (CONTROL PORT) ซึ่งการโปรแกรมเพียงแต่ส่งค่า Control Word Code ไปให้พอร์ตควบคุมเพื่อกำหนดการทำงานของ 8255 ซึ่งมีรายละเอียดและตัวอย่างการโปรแกรมดังนี้คือ

D0 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C ล่าง (PC0 - PC3) คือ
ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input
ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

D1 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต B (PB0 - PB7) คือ
ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input
ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

D2 ใช้สำหรับกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต C ล่างและพอร์ต B คือ
ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 0
ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 1

D3 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C บน (PC4 - PC7) คือ
ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input
ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

D4 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต A (PA0 - PA7) คือ
ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input
ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

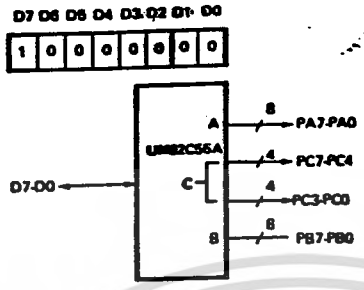
D6,D5 ใช้สำหรับกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต C บนและพอร์ต A คือ
ถ้าเป็น 00 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 0
ถ้าเป็น 01 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 1
ถ้าเป็น 1X หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 2

D7 ใช้สำหรับกำหนด MODE SET FLAG คือ
ถ้าเป็น 1 หมายถึง ACTIVE ซึ่งต้องกำหนดให้บิทนี้เป็น 1 เสมอ
ถ้าเป็น 0 หมายถึง NON-ACTIVE

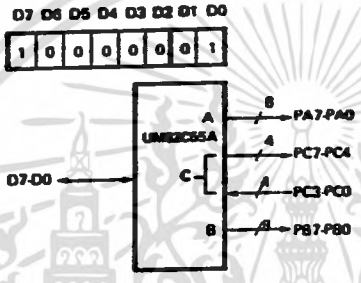
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 0 Configurations

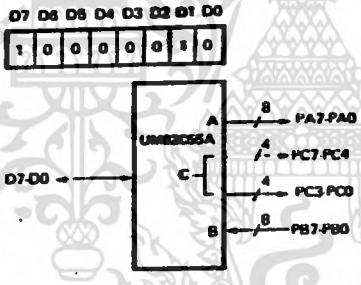
CONTROL WORD #0



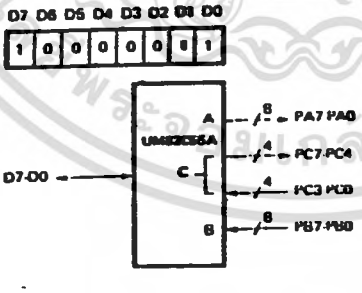
CONTROL WORD #1



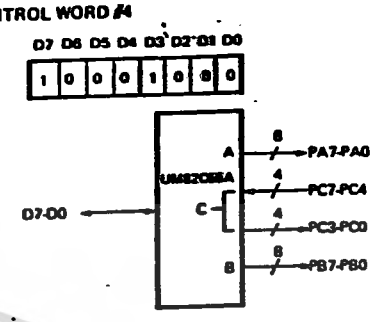
CONTROL WORD #2



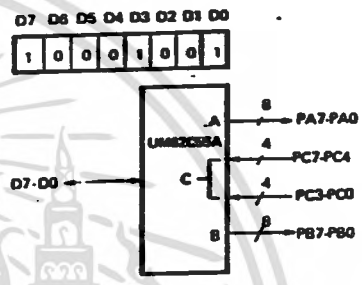
CONTROL WORD #3



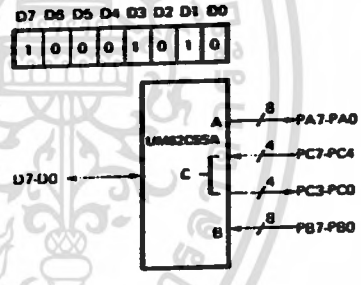
CONTROL WORD #4



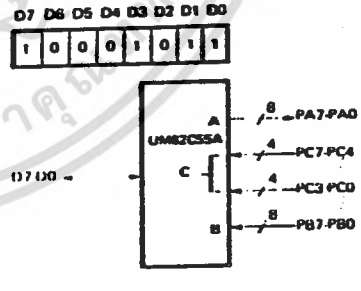
CONTROL WORD #5



CONTROL WORD #6

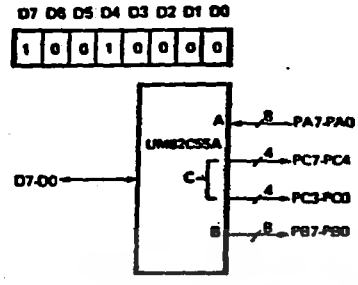


CONTROL WORD #7

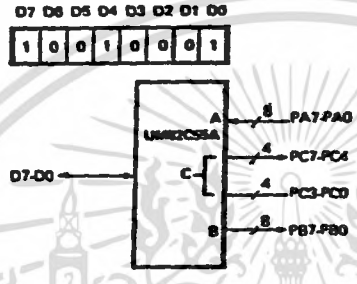


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

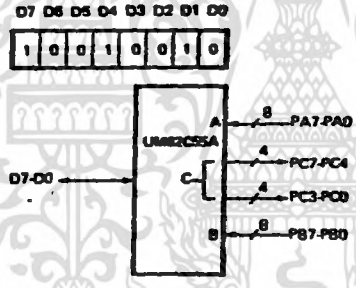
CONTROL WORD #8



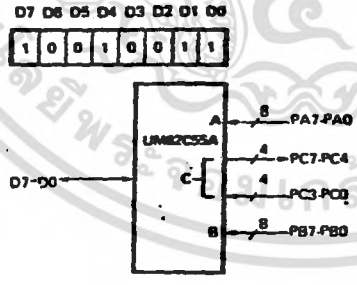
CONTROL WORD #9



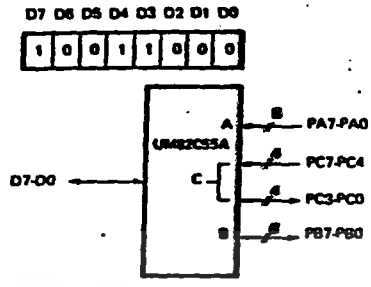
CONTROL WORD #10



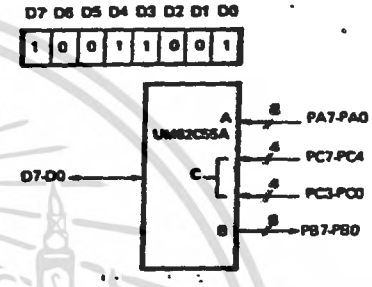
CONTROL WORD #11



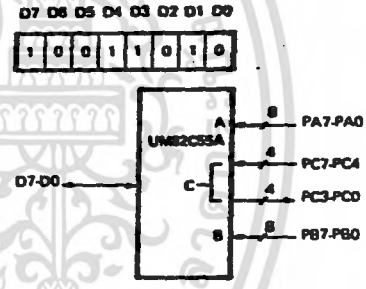
CONTROL WORD #12



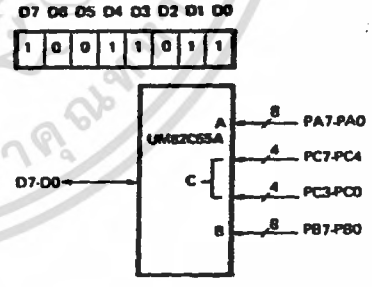
CONTROL WORD #13



CONTROL WORD #14



CONTROL WORD #15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น เราต้องการให้ทั้ง 3 พอร์ต ของ 8255 (PA,PB,PC) เป็นเอ้าท์พุททั้งหมดจะได้ Control Word Code ดังนี้คือ

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

8 0

ดังนั้นจะได้ Control Word Code = 80H

เมื่อได้ Control Word Code แล้วการโปรแกรมให้ 8255 ทำงานตาม Control Word Code ก็เพียงแต่ส่งค่า Control Word Code ไปยังพอร์ตควบคุม (Control Port) การโปรแกรมจะทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น เราเลือกแอดเดรสของ ET-DIO CARD ไว้ที่ 300Hจะได้ตำแหน่งพอร์ต ดังนี้คือ

300H = Port PA ของ 8255
301H = Port PB ของ 8255
302H = Port PC ของ 8255
303H = Port Control ของ 8255

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ DECODE PORT)

การโปรแกรมทำได้โดยการส่งค่า Control Word Code (ในที่นี้คือ 80H) ให้พอร์ตควบคุม (ในที่นี้คือ 303H)

ตัวอย่างการโปรแกรมด้วยภาษา PASCAL คือ

```
Port[$303] := $80;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน 8253 (Programmable Interval Timer)

ไอซี 8253 (Programmable Interval Timer)เป็น ไอซีซึ่งประกอบด้วย พอร์ตใช้งาน 3 พอร์ต และพอร์ตควบคุมการทำงาน (Control Port) อีก 1 พอร์ต รวมเป็น 4 พอร์ต ซึ่ง 8253 เหมาะสำหรับการใช้งานในด้านฐานเวลาต่างๆซึ่งมีอินพุท 2 อินพุท (CLK และ GATE) และเอาท์พุท 1 เอาท์พุท (OUT) ต่อ 1 แชนแนล ซึ่งใน 8253 มีให้ใช้งานถึง 3 แชนแนล และแต่ละแชนแนลยังแยกการทำงานกันอย่างอิสระ 8253 แต่ละแชนแนลสามารถเลือกการทำงานได้ 6 โหมด การโปรแกรมให้ 8253 ทำงานในโหมดใดนั้นทำได้โดยการส่งค่า Control Word ให้กับ Register Mode Control (Port Control 8253) ซึ่งมีรายละเอียดการโปรแกรมดังนี้คือ

บิท	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
หน้าที่	SC1	SC0	RL1	RL0	M2	M1	M0	BCD

บิท D7,D6 (SC1,SC0) :
Select Counter ใช้สำหรับเลือกแชนแนลที่ต้องการ คือ

SC1	SC0	แชนแนลที่ถูกเลือก
0	0	แชนแนล 0
0	1	แชนแนล 1
1	0	แชนแนล 2
1	1	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิท D5,D4 (RL1,RL0) :

Read/load ใช้สำหรับกำหนดไบท์ในการอ่าน/เขียนข้อมูล

RL1	RL0	หน้าที่
0	0	ทำการแลทช์ค่าในรีจิสเตอร์-เค้าน์เตอร์
0	1	อ่าน/เขียน เฉพาะข้อมูลใน 8 บิท ล่าง (LSB)
1	0	อ่าน/เขียน เฉพาะข้อมูลใน 8 บิท บน (MSB)
1	1	อ่าน/เขียน ข้อมูลทั้ง 16 บิทโดยเริ่มจาก 8 บิท ล่างก่อน จากนั้นจึงอ่าน/เขียนข้อมูลใน 8 บิทบน

บิท D3,D2,D1(M2,M1,M0) :

Mode ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานของ 8253 คือ

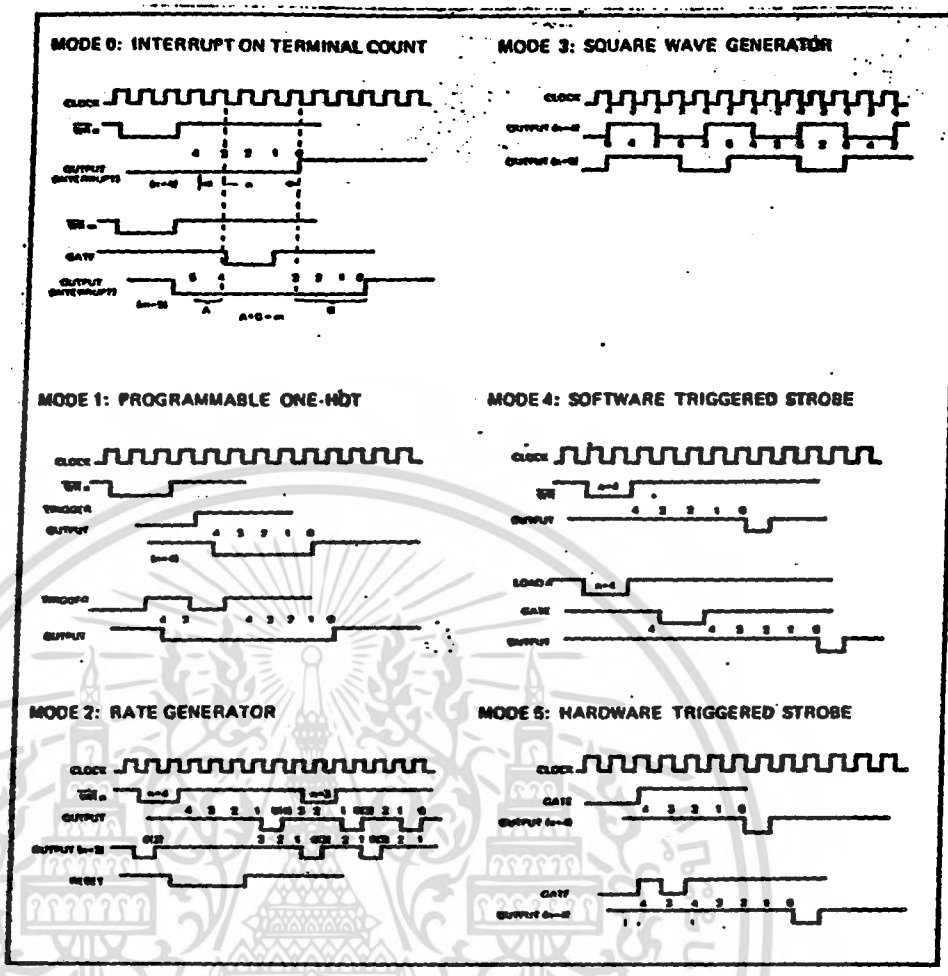
M2	M1	M0	โหมดการทำงาน
0	0	0	โหมด 0 : Interrupt On Terminal
0	0	1	โหมด 1 : Programmable One-Shot
x	1	0	โหมด 2 : Rate Generator
x	1	1	โหมด 3 : Square Wave Generator
1	0	0	โหมด 4 : Software Trigger Stobe
1	0	1	โหมด 5 : Hardware Trigger Stobe

BCD : ใช้กำหนดการลดค่าข้อมูลในรีจิสเตอร์เค้าน์เตอร์ กล่าวคือ

ถ้าเป็น 1 ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์เค้าน์เตอร์จะถูกลดลงแบบ BCD

ถ้าเป็น 0 ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์เค้าน์เตอร์จะถูกลดลงแบบ Binary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UM8253 Timing Diagrams

ตัวอย่างเช่น เราต้องการให้แชนแนล 0 ทำงานในโหมด 0 (Interrupt) จะได้ Control Word ดังนี้คือ

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

ดังนั้นจะได้ Control Word = 10H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงหมายเลขและการใช้งานอินเตอร์รัพต์

หมายเลข Int.	การใช้งาน
$0	สงวนไว้สำหรับกรณีหารด้วยศูนย์
$1	สงวนไว้เพื่อการทำงานจังหวะเดียว (สำหรับ DEBUG)
$2	Hard Ware Interrupt แบบ NMI (Parity Error)
$3	สงวนไว้สำหรับจุด Break point
$4	สงวนไว้สำหรับกรณีเลขล้นหลัก (Overflow)
$5	สำหรับพิมพ์หน้าจอ (Print Screen)
$6	สงวนไว้
$7	สงวนไว้
$8	อินเตอร์รัพต์ตามเวลา (IRQ0)
$9	อินเตอร์รัพต์ทางฮาร์ดแวร์ของคีย์บอร์ด (IRQ1)
$A	สงวนไว้สำหรับฮาร์ดแวร์ (IRQ2)
$B	สงวนไว้สำหรับช่องการสื่อสารหมายเลข 2 (IRQ3)
$C	สงวนไว้สำหรับช่องการสื่อสารหมายเลข 1 (IRQ4)
$D	อินเตอร์รัพต์สำหรับฮาร์ดดิสค์ (IRQ5)
$E	อินเตอร์รัพต์สำหรับดิสเก็ตต์ (IRQ6)
$F	สงวนไว้
$10	สำหรับควบคุมการแสดงผลหน้าจอ
$11	ตรวจสอบอุปกรณ์ในระบบ
$12	ตรวจสอบขนาดของหน่วยความจำ
$13	สำหรับควบคุมและการอ่านเขียนดิสเก็ตต์
$14	สำหรับการรับส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรม
$15	สำหรับติดต่อกับเทปคาสเซต์ (เฉพาะไอบีเอ็มพีซี)
$16	รับข้อมูลจากคีย์บอร์ด
$17	ส่งข้อมูลออกไปที่เครื่องพิมพ์
$18	เรียก ROM BASIC
$19	บูตสแตร์ปจุดเริ่มต้นของการเรียก DOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงหมายเลขและการใช้งานอินเตอร์รัพต์ ต่อ

$1A	เวลาของวัน
$1B	สงวนไว้สำหรับการหยุดทำงานโดยคีย์บอร์ด
$1C	สงวนไว้สำหรับการหยุดทริกเวลา
$1D	การอ่านพารามิเตอร์สำหรับแสดงผลบนจอ
$1E	การอ่านพารามิเตอร์ของดิสเก็ตต์
$1F	สำหรับสร้างอักขระกราฟิก

การใช้งาน ADC (Analog To Digital Converter)

ไอซี ADC0804 เป็นไอซี ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุทในรูปของ Analog แล้วเปลี่ยนเป็น Digital เพื่อส่งให้ CPU ประมวลผล ซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อ (Interface) กับอุปกรณ์ภายนอกที่ให้สัญญาณเป็น Analog ซึ่ง ET-DIO CARD สามารถรับสัญญาณ Analog ได้โดยตรงถึง 5 VDC หรือมากกว่า โดยผู้ใช้เพียงเพิ่มเติมวงจรขยายย่านวัด เช่นเดียวกับเครื่องวัดทั่วๆไป ซึ่งขนาดของสัญญาณ Analog ที่รับเข้ามานั้น สามารถกำหนดแถบความกว้าง (Range) ของสัญญาณได้โดยการควบคุมขนาดของ VI- และ Vref/2 ซึ่ง VI- จะเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นหรือค่าต่ำสุดของสัญญาณที่รับเข้ามาโดยบน ET-DIO CARD ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดย JP4 คือถ้า Short JP4 ที่ตำแหน่ง 1-2 (Ground) จะทำให้สัญญาณเริ่มต้นจาก 0V จนถึง Maximum (ไม่ควรเกิน 5V) แต่ถ้าผู้ใช้ Short JP4 ที่ตำแหน่ง 2-3 จุดเริ่มต้นของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณ VI- จากภายนอกที่ต่อมาจาก Connector CN2 ซึ่งผู้ใช้ต้องกำหนดเองซึ่งโดยปรกติแล้วต้องมีค่ามากกว่า 0V แต่ต่ำกว่า Vref/2 เสมอ ส่วนสัญญาณ Vref/2 จะเป็นตัวกำหนดขนาดสูงสุดของสัญญาณที่รับเข้ามา (Maximum) นั่นคือ

ถ้าสัญญาณ Analog ที่รับเข้ามามีค่าเป็น2เท่าของ Vref/2 จะได้ DATA = FFH
ถ้าสัญญาณ Analog ที่รับเข้ามามีค่าเป็น1เท่าของ Vref/2 จะได้ DATA = 7FH
ถ้าสัญญาณ Analog ที่รับเข้ามามีค่าเท่ากับ VI- จะได้ DATA = 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของ DATA ที่มีต่อขนาดของสัญญาณจะเป็นเชิงเส้นตลอด (Linear) ซึ่งขนาดของสัญญาณ Vref/2 ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดย JP5 กล่าวคือถ้าผู้ใช้ Short ที่ตำแหน่ง 1-2 จะได้ Vref/2 = 2.50V ถ้า Short ที่ตำแหน่ง 2-3 ขนาดของสัญญาณ Vref/2 จะขึ้นอยู่กับขนาดที่ผู้ใช้กำหนดเองจากภายนอกที่ต่อมาจาก Connectot CN2 ซึ่งขนาดของ Vref/2 ที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาต้องมีค่ามากกว่า 0V และไม่ควรเกิน 2.50V ด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้เลือก VI- เท่ากับ 0V (JP4 Short ที่ตำแหน่ง 1-2) และเลือก Vref/2 เท่ากับ 2.50V (JP5 Short ที่ตำแหน่ง 1-2) แล้ว จะได้ว่าช่วงของสัญญาณ Analog Input จะต้องอยู่ระหว่าง 0V - 5.0Vเท่านั้นซึ่งความละเอียดของแต่ละช่วงสัญญาณที่รับเข้ามามีความละเอียดถึง 256 ระดับ นั่นคือ

ถ้าสัญญาณ Analog Input มีค่าเท่ากับ 0V จะได้ DATA เท่ากับ 00H
ถ้าสัญญาณ Analog Input มีค่าเท่ากับ 2.50V จะได้ DATA เท่ากับ 7FH
ถ้าสัญญาณ Analog Input มีค่าเท่ากับ 5.0V จะได้ DATA เท่ากับ FFH

ดังนั้นจะได้ความละเอียดของสัญญาณ = (5V - 0V) / 256
= 0.0195 V

หรืออาจกล่าวได้ว่า ผู้ใช้สามารถรับสัญญาณได้ตั้งแต่ 0V - 5.0V โดยมีความแตกต่างของแต่ละช่วง (Step)เป็น 0.0195V

หรืออีกกรณีหนึ่งคือ หากผู้ใช้เลือก VI- เท่ากับ 0.50V จากภายนอกซึ่งต่อเข้ามาทาง Connector CN2 (JP4 Short ที่ตำแหน่ง 2-3) และเลือก Vref/2 เท่ากับ 1.50V (JP5 Short ที่ตำแหน่ง 2-3) แล้ว จะได้ว่าช่วงของสัญญาณ Analog Input จะต้องอยู่ระหว่าง 0.50V - 3.50V นั่นเอง

สำหรับ Ic A to D บน ET-DIO CARD สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ทั้งหมด 2 โหมดการทำงาน โดยการเลือกที่ Jumper JP2 คือ

- โหมดทำงานปรกติ (Free Run Mode)
- โหมดอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Mode)

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ SET-UP และปรับแต่ง ET-DIO CARD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน DAC (Digital To Analog Converter)

ไอซี DAC มีลักษณะการทำงานที่ตรงกันข้ามกับไอซี ADC กล่าวคือมันจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ Digital ให้เป็นสัญญาณ Analog ซึ่งนิยมใช้งานในด้านการควบคุมต่างๆ ซึ่งบน ET-DIO CARD มีไอซี DAC ให้ใช้งาน 1 ตัว โดยสามารถที่จะเลือกใช้ได้ 2 เบอร์ คือ DAC0832 (8 Bits) หรือ DAC1232 (12 Bits) ตัวใดตัวหนึ่งโดยการเลือกที่ Jumper JP1

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ SET-UP และการปรับแต่ง ET-DIO CARD)

ซึ่งการควบคุมขนาดของสัญญาณ Analog Output นั้นทำได้โดยการส่งค่า DATA ออกไปยังพอร์ตควบคุมของไอซี DAC (Port Control DAC) ซึ่งอัตราส่วนของขนาดสัญญาณ Analog Output ที่ได้นั้นจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้น (Linear) นั่นคือ

ถ้าส่งค่า DATA ค่า FFH จะได้ขนาดสัญญาณ Output สูงสุด
ถ้าส่งค่า DATA ค่า 7FH จะได้ขนาดสัญญาณ Output ครึ่งหนึ่ง
ถ้าส่งค่า DATA ค่า 00H จะได้ขนาดสัญญาณ Output ต่ำสุด

ซึ่งขนาดของสัญญาณ Analog Output นั้นมีความละเอียดถึง 256 ค่า จากย่านความกว้างของสัญญาณทั้งหมด (Range) หรือคำนวณได้จากสูตร

ความละเอียดของช่วงสัญญาณ = (Vmax-Vmin) / 256

ตัวอย่างเช่น ต้องการขนาดสูงสุดของสัญญาณ 10 V โดยให้ขนาดต่ำสุดของสัญญาณเป็น 0V จะได้ความละเอียดของสัญญาณเป็น 0.039 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ SETUP และการปรับแต่งต่างๆเกี่ยวกับ ET-DIO CARD

JP1 DAC Select ใช้สำหรับเลือกเบอร์ของไอซี DAC (U10) ว่าจะใช้ไอซี DAC ขนาด 8 bits (DAC0832) หรือ 12 bits (DAC1232) โดยมีวิธีการ SET ดังนี้คือ

เบอร์ของไอซี DAC	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP1			
DAC0832 8 bits	OPEN 1 - 2	OPEN 3 - 4	SHORT 5 - 6	SHORT 7 - 8
DAC1232 12 bits	SHORT 1 - 2	SHORT 3 - 4	OPEN 5 - 6	OPEN 7 - 8

JP2 ADC Select Mode ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานของไอซี ADC ว่าจะให้ทำงานในโหมดปกติ (Free Run) หรือโหมดอินเทอร์รัพท์ (Interrupt) โดยมีวิธีการ SET ดังนี้คือ

Mode	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP2							
FREE RUN Mode	OPEN 1-2	OPEN 3-4	OPEN 5-6	OPEN 7-8	SHORT 9-10	SHORT 11-12	SHORT 13-14	SHORT 15-16
INTERRUPT Mode	SHORT 1-2	SHORT 3-4	SHORT 5-6	SHORT 7-8	OPEN 9-10	OPEN 11-12	OPEN 13 14	OPEN 15-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP3 Interrupr Select ใช้เลือกแหล่งกำเหนิดสัญญาณ Interrupt โดยเลือกว่าจะใช้สัญญาณ Interrupt จาก ADC หรือ 8253 โดยมีวิธีการดังนี้คือ

Interrupt Source	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP1	
Interrupt จาก ADC	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3
Interrupt จาก 8253	OPEN 1 - 2	SHORT 2 - 3

JP4 Vi- Select ใช้เลือก Vi- ให้ ADC โดยเลือกระหว่างให้ Vi- ของ ADC = 0 V (GROUND) หรือ Vi- จากภายนอกที่ต่อเข้ามทาง CN2

VI- Select Source	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP4	
0V Reference (Ground)	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3
External Reference	OPEN 1 - 2	SHORT 2 - 3

เอกสารนี้จัดทำขึ้นที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP5 Vref/2 Select ใช้สำหรับเลือกแรงดันอ้างอิง (Vref/2) ให้กับ ADC ระหว่างแรงดันอ้างอิงมาตรฐาน 2.50 VDC บน ET-DIO เอง หรือแรงดันอ้างอิงจากภายนอกซึ่งต่อเข้ามาทาง CN2

Vref/2 Select Source	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP5	
2.50V Reference (Internal)	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3
External Reference	OPEN 1 - 2	SHORT 2 - 3

** หมายเหตุ Vref ถ้าเลือกจากภายนอกต้องควบคุมไม่ให้เกิน 2.50 V ด้วย **

JP6 Interrupt Number Select ใช้สำหรับเลือกเบอร์ของสัญญาณ Interrupt ที่ต้องการจะส่งให้เครื่อง PC. มีรายละเอียดดังนี้คือ

เบอร์ Interrupt	JP6 Short	เบอร์ Interrupt	JP6 Short
IRQ 2	11 - 12	IRQ 5	5 - 6
IRQ 3	1 - 2	IRQ 6	7 - 8
IRQ 4	3 - 4	IRQ 7	9 - 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP7 8253 SET-UP ในส่วนของ JP7 ใช้เลือกสัญญาณให้ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 2 กลุ่มสัญญาณด้วยกันคือ กลุ่มสัญญาณ OUTPUT และกลุ่มสัญญาณ GATE ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

กลุ่มของสัญญาณ OUTPUT ใช้เลือกว่าจะให้สัญญาณ OUTPUT ของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 OUTPUT (OUT0,OUT1และOUT2) ออกไปใช้งานควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ ภายนอกหรือส่งสัญญาณไป Interrupt เครื่อง PC การ SET ทำได้ดังนี้คือ

Channal Output	OUT = IRQ. Signal Jumper JP7 SET		OUT = EXT. Signal Jumper JP7 SET	
Channal 0 (OUT0)	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3	SHORT 2 - 3	OPEN 1 - 2
Channal 1 (OUT1)	SHORT 4 - 5	OPEN 5 - 6	SHORT 5 - 6	OPEN 4 - 5
Channal 2 (OUT2)	SHORT 7 - 8	OPEN 8 - 9	SHORT 8 - 9	OPEN 7 - 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มของสัญญาณ GATE ใช้เลือกว่าจะให้สัญญาณ GATE ของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 Channal (GATE0,GATE1และGATE2) ทำงานตลอดเวลาตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามาเพียงอย่างเดียว (เหมาะที่จะใช้กับกรณีที่โปรแกรมให้ 8253 ทำงานสร้างสัญญาณ Interrupt หรือโหมดอื่นๆที่ไม่ต้องการการควบคุมจากภายนอก) หรือจะให้สัญญาณ GATE ถูกควบคุมจากสัญญาณภายนอก การ SET ทำได้ดังนี้คือ

Channal Output	GATE = VCC. Signal Jumper JP7 SET		GATE = EXT. Signal Jumper JP7 SET	
Channal 0 (GATE0)	SHORT 10 - 11	OPEN 11 - 12	SHORT 11 - 12	OPEN 10 - 11
Channal 1 (GATE1)	SHORT 13 - 14	OPEN 14 - 15	SHORT 14 - 15	OPEN 13 - 14
Channal 2 (GATE2)	SHORT 16 - 17	OPEN 17 - 18	SHORT 17 - 18	OPEN 16 - 17

CN1 เป็น Connector ขนาด 34 Pin มาตรฐาน ETT ใช้เป็นจุดเชื่อมของสัญญาณ อินพุต/เอ้าต์พุท ระหว่าง 8255 และ อุปกรณ์ภายนอก

CN2 เป็น Connector ขนาด 20 Pin ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อของสัญญาณ ระหว่าง 8253 ,ADCและDAC กับอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งแรงดันอ้างอิง (2.50V บน ET-DIO CARD)

ET-DIO CARD มีวงจรควบคุมแรงดันอ้างอิงซึ่งประกอบอยู่ในตัวเรียบร้อยแล้วซึ่งใช้ไอซี LM336 เป็นอุปกรณ์หลักโดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR1) เป็นตัวปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งขนาดของแรงดันอ้างอิงนี้กำหนดให้มีขนาด = 2.50V โดยใช้เป็นค่าแรงดันอ้างอิง ของไอซี DAC และไอซี ADC ซึ่งการปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิงนี้ทำได้โดยการใช้โวล์ทมิเตอร์วัดเทียบระหว่าง GND และจุดกำเนิดแรงดันอ้างอิง 2.50V (ขา 8 ของ DAC0832 หรือ ขา 1 ของ JP5) แล้วทำการปรับ VR1 จนได้แรงดัน 2.50 VDC พอดี

** หมายเหตุ ** ถ้าค่าแรงดันอ้างอิงนี้ไม่เที่ยงตรงจะมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับไอซี DAC และไอซี ADC อาจทำให้ผลการวัดต่างๆได้ค่าที่ผิดพลาดตามไปด้วย

การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ Analog

สัญญาณ Analog ที่ได้จาก IC D to A มีวงจร OP-AMP. เพื่อทำการขยายให้มีขนาดของสัญญาณสูงขึ้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานด้านต่างๆได้ดีขึ้น ซึ่งขนาดของสัญญาณนี้สามารถกำหนดและปรับแต่งได้ตั้งแต่ 0V = 10.6V โดยประมาณ การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ Analog ของ D to A ทำได้โดย

1. กำหนดค่าของสัญญาณสูงสุดที่ต้องการใช้
2. ส่งค่า DATA = FFH ให้ Port Control ของ DAC (XX8 OR XX9)
3. ปรับ VR2 ให้ได้ขนาดของสัญญาณตามต้องการ

** หมายเหตุ ** การปรับขนาดของสัญญาณ Analog ต้องทำหลังจากปรับแต่ง แรงดันอ้างอิง Vref 2.50VDC เรียบร้อยแล้วจึงจะได้ผลที่แน่นอน

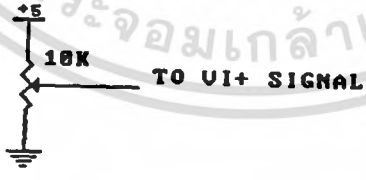
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโปรแกรม

โปรแกรมที่ 1 เป็นตัวอย่างโปรแกรมทดลอบการทำงานของไอซี 8255โดยกำหนดให้ไอซี 8255 ทำงานในโหมด 0 และกำหนดให้ทุกพอร์ต (PA,PB และPC)เป็นเอ้าท์พุททั้งหมดทุกบิท การขับเอ้าท์พุทของไอซี 8255 ในโปรแกรมนี้ใช้แสดงผลโดยหลอดแสดงผล LED ในรูปลักษณะของไฟวิ่งการทดสอบโปรแกรมผู้ใช้ต้องต่อหลอดแสดงผล LEDและตัวต้านทานตามวงจร

การทำงานของโปรแกรม เริ่มจากการควบคุมให้หลอดแสดงผล LED ติด-ดับในลักษณะของไฟวิ่งแบบต่างๆ โดยทำทีละพอร์ต คือ เริ่มจากพอร์ต PA ก่อนเมื่อเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนไปพอร์ต PB และพอร์ต PC ตามลำดับ

โปรแกรมที่ 2 เป็นโปรแกรมทดสอบการทำงานของไอซี ADC ซึ่งกำหนดให้ไอซี ADC ทำงานเป็น DC โวลท์มิเตอร์ โดยใช้จอภาพของเครื่อง PC เป็นตัวแสดงผลค่าตัวเลขที่วัดได้จากไอซี ADC การทดสอบโปรแกรมผู้ใช้ต้องต่อแรงดันไฟตรงขนาด 5 โวลท์และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ตามวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรแกรม เริ่มจากการอ่านค่าของแรงดันไฟตรงที่ไอซี ADC รับเข้ามาและเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางดิจิตอลแล้ว และนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณและแสดงผลค่าที่รับเข้ามาทางจอภาพของเครื่อง PC การทดสอบให้ปรับค่าของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ที่ผู้ใช้ต่อไว้ตามวงจรทดลองซึ่งจอภาพของเครื่อง PC จะแสดงค่าแรงดันตามการปรับของผู้ใช้

แนวทางการพัฒนาโปรแกรม จากตัวอย่างโปรแกรมนี้ผู้ใช้สามารถนำโครงสร้างโปรแกรมไปดัดแปลงและพัฒนา เพื่อใช้งานในด้านอื่นๆได้อีกมากมาย เช่น การวัดค่าอุณหภูมิ การวัดค่ากระแส การวัดค่าความจุ การวัดค่าความต้านทาน โดยดัดแปลงรูปแบบการแสดงผล และสูตรในการคำนวณต่างๆให้เหมาะสมกับแต่ละงาน

หมายเหตุ ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อประกอบการทดลองดังนี้

1. กำหนด VI- เป็น 0V (JP4 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2)
2. กำหนด Vref/2 เป็น 2.50V (JP5 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2)

โปรแกรมที่ 3 เป็นโปรแกรมทดลอบการทำงานของไอซี DAC โดยกำหนดให้ไอซี DAC ทำหน้าที่เป็นเครื่องจ่ายแรงดันโดยให้ผู้ใช้เติมค่าแรงดันที่ต้องการเป็นตัวเลขให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-5V ซึ่งหากผู้ใช้เติมค่าแรงดันไม่ตรงตามกำหนดหรือค่าที่ไม่ตรงกันความเป็นจริงแล้วโปรแกรมจะจัดการปรับให้ใกล้เคียงมากที่สุด ซึ่งการทดสอบโปรแกรมทำได้โดยใช้ DC โวลท์มิเตอร์ตั้งย่านการวัดไว้ที่ประมาณ 10VDC วัดระหว่างสัญญาณ ANALOG (ขา 14 ของ CN2)เทียบกับกราวด์ ซึ่งก่อนการทดสอบต้องปรับค่า Vmax (สัญญาณ ANALOG)ให้ได้ 5V เสียก่อน (ดูรายละเอียดเรื่องการปรับแต่ง ET-DIO CARD)

การทำงานของโปรแกรม เริ่มจากการรับค่าตัวเลขที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาและตรวจสอบค่าว่าตรงตามเงื่อนไขหรือไม่พร้อมทั้งปรับค่าให้อยู่ในเงื่อนไข แล้วจึงทำการคำนวณค่าเพื่อส่งให้กับไอซี DAC ซึ่งไอซี DAC จะรับค่าที่ได้นี้และเปลี่ยนเป็นแรงดันส่งออกไปภายนอก

แนวทางการพัฒนาโปรแกรม จากตัวอย่างโปรแกรมนี้ผู้ใช้สามารถนำโครงสร้างโปรแกรมไปดัดแปลงและพัฒนา เพื่อใช้งานในด้านอื่นๆได้อีกมากมาย เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมกระแส หรืออื่นๆ โดยดัดแปลงรูปแบบการแสดงผล และสูตรในการคำนวณต่างๆให้เหมาะสมกับแต่ละงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Program TestDAC;
{ โปรแกรมทดสอบการทำงานของ Ic DAC  โดยให้ Ic DAC ทำงานเป็น
  เครื่องจ่ายแรงดัน และกำหนดให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ Port 300H }
Uses crt;
Var     WantOut,StepOut,OutValue    : real;
        OutPort,StepReal            : integer;
        Quit                        : boolean;
        Ch                          : char;
Const
        Step      = 5/256;

Begin
  Repeat
    Clrscr;
    Quit := False;
    writeln('                    โปรแกรมตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน ET-DIO CARD');
    writeln;
    writeln('              ตัวอย่างการนำ ET-DIO CARD ใช้งานเป็นเครื่องจ่ายแรงดัน');
    writeln;
      write('กรุณาใส่ค่าแรงดันที่ต้องการส่งออกเป็นตัวเลข (0..5) : ');
      Read(WantOut);
      If WantOut < 0 then
        Begin
          WantOut := 0;
          writeln('ค่าแรงดันต่ำกว่าพิกัดที่เครื่องจะสามารถทำได้');
          writeln('เครื่องจะทำการเปลี่ยนเป็นค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้');
        End;
      If WantOut>5 Then
        Begin
          WantOut := 5;
          writeln('ค่าแรงดันสูงกว่าพิกัดที่เครื่องจะสามารถทำได้');
          writeln('เครื่องจะทำการเปลี่ยนเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้');
        End;
    writeln;
    StepOut  := WantOut/Step; { คำนวณค่า Step ที่ต้องใช้ }
    StepReal := Round(StepOut); { คำนวณค่า Step จริงที่เป็นไปได้ }
    OutPort  := StepReal-1;
    OutValue := StepReal * Step; { คำนวณค่าแรงดันที่ส่งออกจริง }
    writeln('ค่าแรงดันที่ต้องการส่งออก          =  ',WantOut:5:2,' โวลท์');
    writeln('ความละเอียด ต่อ Step              =  ',Step:5:2,' โวลท์');
    writeln('ค่าแรงดันที่ได้จริง                =  ',OutValue:5:2,' โวลท์');
    Port[$308] := OutPort; { ส่งค่าข้อมูลที่จะออกให้ Port Control DAC }
    writeln;
    writeln('กรุณากดคีย์ใดๆ เพื่อทำงานต่อ หรือกดคีย์ "Esc" เพื่อยกเลิกการทำงาน');
    Ch := Readkey;
    If Ch = #27 then Quit := True
    else Quit := False;
  until Quit;
  end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
:ogram  TestADC;
 เปรแกรมทดสอบการทำงานของ Ic ADC โดยให้ Ic ADC ทำงานเป็น
 DC Volt Meter และกำหนดให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ Port 300H }

:es crt;

:r
   AdjustIn :  integer;
   InValue  :  real;


:gin
 Clrscr;
 Repeat
  AdjustIn := port[$30A];          { อ่านค่าการวัดจาก Ic ADC }
  InValue  := AdjustIn * (5/256);  { คำนวณผลการวัดเพื่อแสดงผลหน้าจอ }
  gotoxy(20,2);write(' โปรแกรมตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน ET-DIO CARD ');
  gotoxy(17,4);write(' ตัวอย่างการนำ ET-DIO CARD ใช้งานเป็น DC Volt Meter ');
  gotoxy(5,10);write(' กรุณาปรับ Volume เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน');
  gotoxy(5,15);write(' ผลการวัดค่าแรงดันที่ป้อนเข้ามามีค่าเป็น : ');
  textattr := 15;
  highvideo;
  gotoxy(48,15);write('[',InValue:4:1,' VDC ]');
  textattr := 11;
  normvideo;
  gotoxy(26,19);writeln('กรุณา กดคีย์ใดๆ เพื่อยกเลิกการทดสอบ');
  delay(200);
 until keypressed;
:d.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Program  TestOut8255;
{ ทดสอบการทำงานของ  Ic 8255  โดยให้ Ic 8255  ขับหลอดแสดงผล LED
  เป็นโปรแกรมไฟวิ่ง ทั้ง 3 Port โดยให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ Port 300H }

Uses  Crt;

Var     StepPort  : integer;
        StepOut   : integer;

Type    DataOut    = Array [1..24] of integer;
        PortNo     = Array [1..3] of integer;

Const   OutValue : DataOut = ($01,$02,$04,$08,$10,$20,$40,$80,
                              $C0,$E0,$F0,$F8,$FC,$FE,$FF,$7E,
                              $3C,$18,$00,$18,$3C,$7E,$FF,$00);

                                { กำหนดการ ติด-ดับ ของ LED ทั้ง 8 Bits }

        OutPort  : PortNo  = ($300,$301,$302);

Begin
  Port[$303] := $80;  { กำหนด Control Word Code ให้ Control Port
                        ของ 8255 โดยกำหนดให้เป็น OUTPUT ทั้ง 3 Port }

  For StepPort := 1 to 3 do
    Begin
        For StepOut := 1 to 24 do
        Begin
          Port[OutPort[StepPort]] := OutValue[StepOut];
          Delay(100);
        End;
    End;
End.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำแนะนำในการประกอบ

1. ตรวจสอบความเรียบร้อยของแผ่นวงจร
2. ใส่อุปกรณ์ตามลำดับ คือ ตัวต้านทาน,ตัวเก็บประจุ,SOCKET ไอซี
3. ตัวเก็บประจุต้องใส่ให้ถูกตามขั้วด้วย
4. การบัดกรีให้ทำเฉพาะด้านล่างเพียงด้านเดียว ด้านบนไม่ต้องบัดกรี
5. เมื่อเรียบร้อยแล้วให้ใส่ไอซีลงใน SOCKET ระวังอย่าให้ผิดตำแหน่งหรือกลับหัว
6. ประกอบแผ่นเหล็กยึดแผ่นวงจรให้เรียบร้อยถูกต้อง

รายการอุปกรณ์ ET-DIO CARD

- IC 8255	1 ตัว	- SOCKET IC 40 PIN	1 ตัว
- IC 8253	1 ตัว	- SOCKET IC 24 PIN	1 ตัว
- IC ADC0804(ADC1001)	1 ตัว	- SOCKET IC 20 PIN	5 ตัว
- IC DAC0832(DAC1232)	1 ตัว	- SOCKET IC 16 PIN	1 ตัว
- IC 74LS688	1 ตัว	- SOCKET IC 14 PIN	2 ตัว
- IC 74LS245	2 ตัว	- SOCKET IC 8 PIN	1 ตัว
- IC 74LS139	1 ตัว	- HEADER 34 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC 74LS32	1 ตัว	- HEADER 20 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC 74LS04	1 ตัว	- HEADER 16 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC LM358N	1 ตัว	- HEADER 12 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC LM336	1 ตัว	- HEADER 8 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- CAPACITOR 10uF/16V	1 ตัว	- HEADER 3 PIN (1 แถว)	3 ตัว
- CAPACITOR 0.1uF/50V	10 ตัว	HEADER 18 PIN (3 แถว)	1 ตัว
- CAPACITOR 100pF/50V	1 ตัว	- JUMPER	21 ตัว
- RESISTOR 15K	1 ตัว	- VARIABLE RES. 10K	2 ตัว
- RESISTOR 2K	2 ตัว	SIP RES. 10K 9PIN	5 ตัว
- RESISTOR 4K7	1 ตัว	- DIP SWITCH 8 วงจร	1 ตัว
- แผ่นวงจร	1 แผ่น	แผ่นเหล็กยึดแผ่นวงจร	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS

DESCRIPTION	MIN	MAX	UNITS
INPUT LOGIC LOW	- 0.5	0.8	VOLT
INPUT LOGIC HIGH	2.0	5.5	VOLT
OUTPUT LOGIC LOW	-	0.45	VOLT
OUTPUT LOGIC HIGH	2.4	5.0	VOLT
FREQUENCY INPUT	-	2.6	MHz
ANALOG INPUT (VI+)	0	5	VOLT
ANALOG OUTPUT	0.1	10.67	VOLT
VREF/2 (DAC)	-	2.50	VOLT
VREF/2 (ADC)	0.1	2.50	VOLT
VI-	0.0	5.0	VOLT

VCC : + 5V
: + 12V
: - 12V
: GND

SIZE : HALF SLOT (9 X 17 CM)
: WORKING AREA (9 X 5 CM)
: TOTAL AREA (9 X 22 CM)

DIGITAL I/O : 3 PORT (24 BITS I/O 8255)

TIMER/COUNTER : 3 CHANNAL (8253)

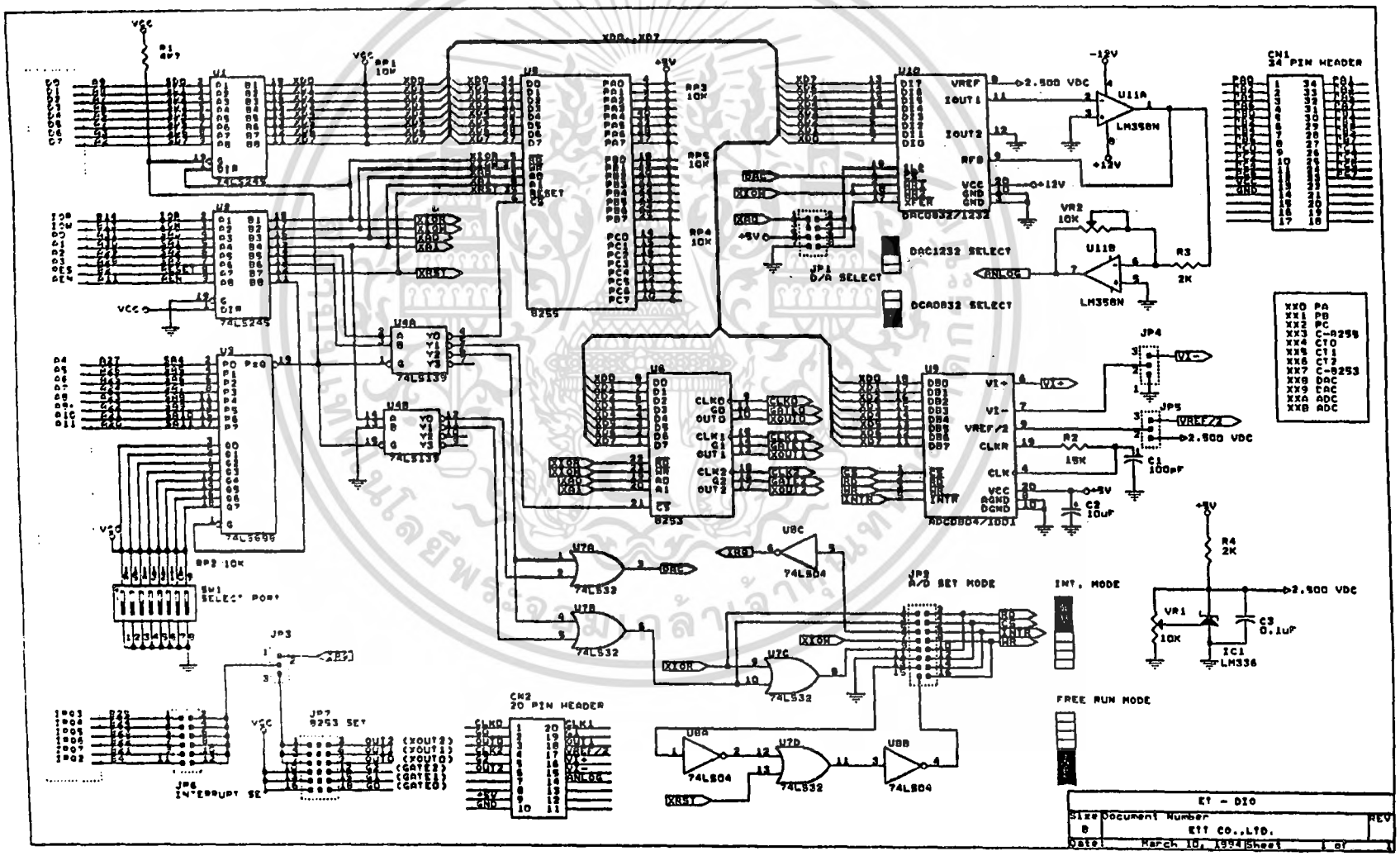
ANALOG INPUT : 1 CHANNAL (ADC 8 BITS OR 10 BITS OPTION)

ANALOG OUTPUT : 1 CHANNAL (DAC 8 BITS OR 12 BITS OPTION)

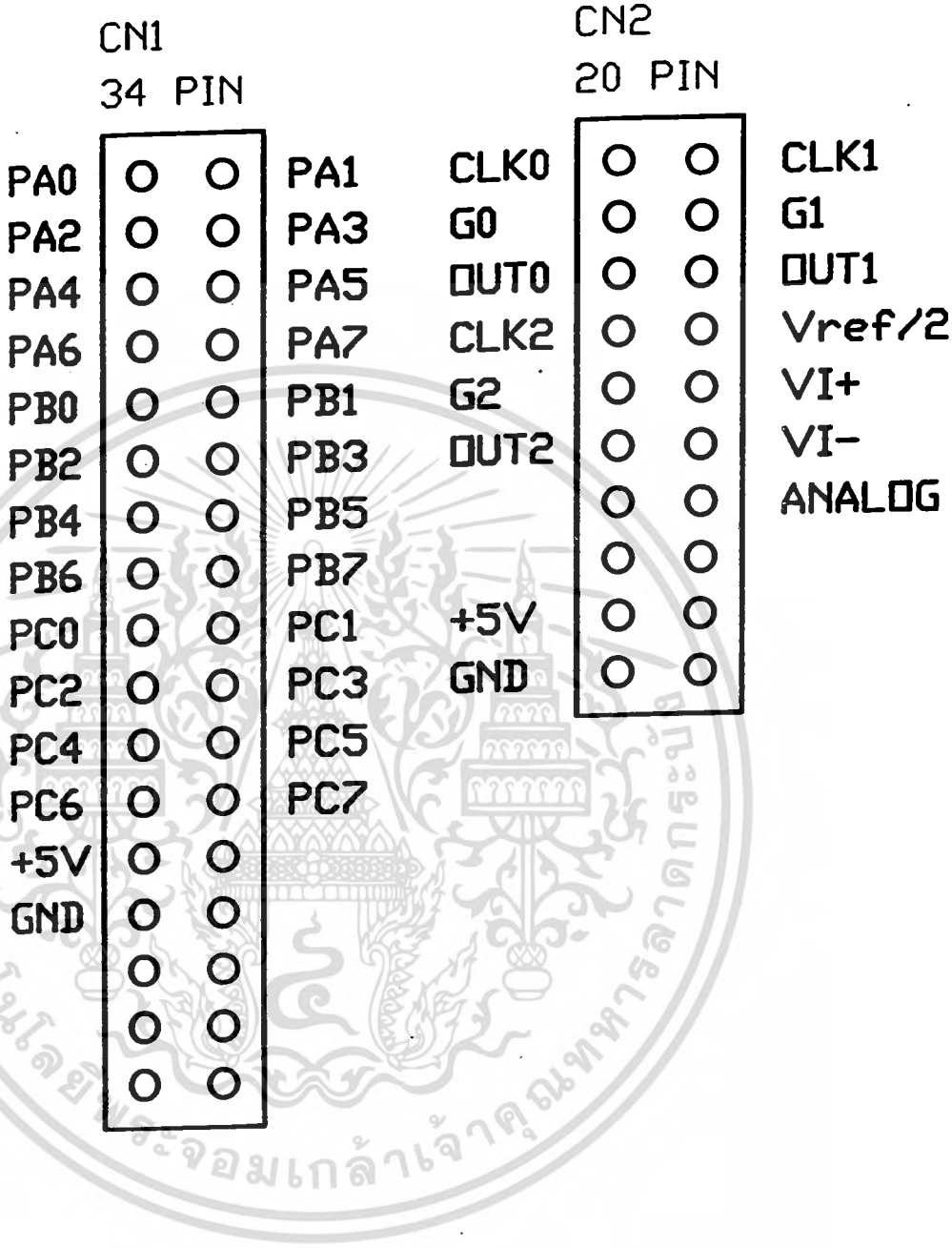
CONNECTOR : 34 PIN X 1 (HEADER 17 PIN X 2 ROW)
20 PIN X 1 (HEADER 10 PIN X 2 ROW)

DEVICE PORT : 8 POSITION DIP SWITCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CN1
34 PIN HEADER
CN2
20 PIN HEADER
DAC1232 SELECT
DCAD832 SELECT
JP1
D/A SELECT
JP2
A/D SET MODE
INT. MODE
FREE RUN MODE
SW1
SELECT PORT
JP6
INTERRUPT SE
JP7
8253 SET
XX0 PA
XX1 PB
XX2 PC
XX3 C-8255
XX4 CT0
XX5 CT1
XX6 CT2
XX7 C-8253
XX8 DAC
XX9 DAC
XXA ADC
XXB ADC
ET - DIO
Size
B
Document Number
ETT CO.,LTD.
REV
Date: March 10, 1994
Sheet 1 of 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้